

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

(Trabajo de Grado)

ALEJANDRO JARAMILLO CÓRDOBA

Director:

Ing. Gustavo Alonso Chica, MSc

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES Y REGULACIÓN TIC
BOGOTÁ, 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sobre todas las cosas,
A mis padres por su incansable motivación,
A mi esposa por su amor,
comprensión y paciencia,
A mi bebé recién nacido
Como el mayor regalo de Dios
Y motivo para ser cada día mejor,
A la Universidad Santo Tomás,
Por ayudarme a tener una visión
Holística de las Telecomunicaciones,
Al Ingeniero Gustavo Chica por su tiempo
Y disposición para sacar adelante
El presente trabajo de grado.

CONTENIDO

ACRÓNIMOS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE TABLAS	8
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO.....	12
1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3.3 Alcance.....	16
2. LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA.....	17
2.1 CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN EN COLOMBIA.....	17
2.2 GENERALIDADES DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	18
2.3 ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE Y SU ADOPCIÓN EN EL MUNDO.....	19
2.4 ORGANISMOS REGULADORES DEL SERVICIO DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA	25
2.5 ACUERDOS EN MATERIA TÉCNICA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA.....	27
2.6 PROCESO DE ADOPCIÓN DEL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA.....	27
2.7 OPERADORES DE TELEVISIÓN RADIODIFUNDIDA EN COLOMBIA.....	31
2.8 MODELO DE PRESTACIÓN DE SERVICIO POR CADA MULTIPLEX	32
2.9 PLAN DE DESPLIEGUE DE RED Y APAGÓN ANALÓGICO.....	33
2.10 ESTADO ACTUAL DEL DESPLIEGUE DE LAS REDES TDT EN COLOMBIA Y NECESIDAD DE ARMONIZACIÓN	35
3. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ARMONIZACIÓN DE LAS REDES DE TDT EN COLOMBIA.....	39
3.1 FASE 1	41
3.2 FASE 2	41

3.3	FASE 3	42
3.4	FASE 4	44
4.	DETERMINACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA LA ARMONIZACIÓN DE LAS REDES NACIONALES DE TDT EN COLOMBIA.	52
4.1	LA TOMA DE DECISIONES.	52
4.2	EL ANÁLISIS DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO.....	53
4.3	DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN A IMPLEMENTAR EN LA ARMONIZACIÓN DE LAS REDES DE TDT EN COLOMBIA”	60
5.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA SELECCIÓN REALIZADA.	83
5.1	MODELO JERÁRQUICO.....	83
5.2	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	86
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
6.1	CONCLUSIONES	96
6.2	RECOMENDACIONES.....	97
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	99

ACRÓNIMOS

AAC (Advanced Audio Coding)

ACIEM (Asociación Colombiana de Ingenieros)

AHP (Analytic Hierarchy Process)

ANE (Agencia Nacional del Espectro)

ANP (Proceso Analítico de Red)

ANTV (Autoridad Nacional de Televisión)

ATSC (Advanced Television Systems Committee)

BOCR (Benefit, Opportunity, Cost and Risk)

CCNP (Consortio Canales Nacionales Privados)

CNTV (Comisión Nacional de Televisión)

COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

CPN (Canales Públicos Nacionales)

CRC (Comisión de Regulación de Comunicaciones)

DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística)

DRM (Digital Rights Management)

DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast)

DTMB-A (Radiodifusión Multimedia Digital Terrestre Avanzada)

DTT (Digital Terrestrial Television)

DVB-T/T2 (Digital Video Broadcasting – Terrestrial)

EBU (European Broadcasting Union)

EPG (Electronic Program Guide)

ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

IBOPE (Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística)

IDEN (Integrated Digital Enhanced Network)

ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting)

ISDB-Tb (Versión Brasileira del ISDB-T)

ISDTV (Sistema Internacional de Televisión Digital)

ISO (International Organization for Standardization)

JPEG (Join Photographics Expert Group)

LTE (Long Term Evolution)

MBA (Master of Business Administration)

MCDA (Multi Criteria Decision Analysis)

MPEG (Moving Picture Experts Group)

OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico)

OFDM (OFDMA, del inglés Orthogonal Frequency-Division Multiple Access)

PAJ (Proceso Analítico Jerárquico)

RTVC (Radio Televisión Nacional de Colombia)

SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisión Digital)

SFN (Red de frecuencia única)

SIC (Superintendencia de industria y comercio)

TDC (Transformada discreta del coseno)

T-DMB (Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting)

TDT (Televisión Digital Terrestre)

TS (Transport Stream)

TV (Televisión)

UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones)

UHD (Ultra High Definition)

VCEG (Video Coding Experts Group)

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Clasificación de televisión en Colombia	17
Figura 2.2. Resumen de los organismos reguladores del servicio de TV en Colombia	26
Figura 2.3. Resumen del proceso de adopción del estándar de Televisión Digital Terrestre en Colombia.....	30
Figura 2. 4. Modelo de Prestación del Servicio por cada Multiplex (1), (39), [45].	33
Figura 2. 5. Resultado Mediciones Realizadas por R&S	38
Figura 3.1. Fases del Método Delphi [50].....	40
Figura 3.2. Descomposición de Atributos (Diferenciando Niveles). Adaptado de [52]	44
Figura 4.1. Jerarquía del modelo AHP	57
Figura 5.1. Árbol de Decisión. Fuente: Expert Choice	84
Figura 5.2. Pesos de los Niveles y Subniveles. Fuente: Expert Choice.....	85
Figura 5.3. Resultado Modo distributivo. Fuente: Simulador	85
Figura 5.4. Resultado Modo ideal. Fuente: Simulador.....	86
Figura 5.5. Análisis de sensibilidad Modo Distributivo. Fuente: Simulador	86
Figura 5.6. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Técnico. Fuente: Simulador .	87
Figura 5.7. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Jurídico. Fuente: Simulador .	88
Figura 5.8. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Económico. Fuente: Simulador	88
Figura 5.9 .Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Político. Fuente: Simulador ..	88
Figura 5.10. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Social. Fuente: Simulador ..	89
Figura 5.11. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Ambiental. Fuente: Simulador	89
Figura 5.12. Comparación entre 0,5 dB vs 0 dB.....	92
Figura 5.13. Comparación entre 1.5 dB vs 0 dB.....	92
Figura 5.14. Comparación entre 3 dB vs 0 dB.....	93
Figura 5.15. Comparación entre 1.5 dB vs 0 dB.....	93
Figura 5.16. 3 Comparación entre dB vs 0.5 dB.....	94
Figura 5.17. Comparación entre 3 dB vs 1.5 dB.....	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Objetivos de cubrimiento ciudades capitales IBOPE	13
Tabla 1.2. Objetivos de cubrimiento ciudades No Capitales IBOPE	13
Tabla 1.3. Objetivos de cubrimiento ciudades Capitales No IBOPE.....	14
Tabla 2. 1. Cuadro Comparativo Estandares de TDT.....	22
Tabla 2.2. Listado de Canales de Televisión Analógica.	31
Tabla 2.3. Estructura de las redes de TV analógica.	32
Tabla 2.4. Plan de Cobertura TDT	34
Tabla 2. 5. Cuadro Comparativo Potencias Instaladas en las estaciones de TDT.....	36
Tabla 3.1. Tabla Valoración Directa de Likert.....	42
Tabla 3. 2. Criterios encontrados con el método BOCR-DELPHI	51
Tabla 4.1. Tabla para valoración directa de Saaty	58
Tabla 4.2. Índice de consistencia aleatorio (RI) en función de la dimensión de la matriz .	59
Tabla 4.3. Resumen de selección de alternativas	61
Tabla 4.4. Selección de expertos.....	61
Tabla 4.5. Niveles de criterios seleccionados.....	63
Tabla 4.6. Matriz de dominancia	70
Tabla 4.7. Matriz de dominancia con índices de dominancia	71
Tabla 4.8. Ponderación Final de los Criterios Según Niveles	72
Tabla 4.9. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Técnico	73
Tabla 4.10. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Jurídico/ Regulatorio	73
Tabla 4.11. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Económico	74
Tabla 4.12. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Político.....	74
Tabla 4.13. Ponderación Final de los Criterios del Nivel social	75
Tabla 4.14. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Ambiental.....	75
Tabla 4.15. Valoración de las alternativas.....	76
Tabla 4.16. Matriz de decisión	77
Tabla 4.17. Cálculo de la Prioridad Global (Método Distributivo).....	79
Tabla 4.18. Cálculo de la Prioridad Global (Método Ideal)	80
Tabla 5. 1. Análisis de Sensibilidad Modo Distributivo < a 10%	89
Tabla 5. 2. Análisis de Sensibilidad para el Modo Distributivo > a 10%.....	90
Tabla 5. 3. Análisis de Sensibilidad Modo Ideal > a 10%	91

RESUMEN

Las decisiones complejas corresponden a aquellas decisiones que se deben tomar con menos regularidad y normalmente suelen comprometer recursos económicos altos, por lo cual, se hace necesario contar con el debido soporte a través del uso de herramientas y técnicas, el establecimiento de criterios y la evaluación respectiva dentro del contexto del problema. En otras palabras, el empleo de métodos de toma de decisiones complejas busca justificar la selección de una alternativa, realizado un análisis comparativo, donde el evaluador se enfrenta a una decisión no programada, debido a que es una situación estratégica, no recurrente y de gran impacto socioeconómico que requiere juicios subjetivos.

En este caso de estudio, se propone aplicar el método AHP al problema de seleccionar la mejor alternativa para el establecimiento de los niveles de potencia de transmisión de las estaciones de los Canales Públicos Nacionales en función de la armonización de potencias de las redes de transmisión nacionales de TDT en Colombia, debido a que a pesar de que los operadores de TDT en Colombia han cumplido con la normatividad aplicable vigente, en la actualidad se presentan diferentes condiciones para el acceso a los servicios de TDT por parte de los usuarios en Colombia.

Estas diferencias en las condiciones de acceso a los servicios de TDT, en donde para acceder a los servicios del operador público (RTVC) se requieren utilizar antenas exteriores, mientras que para acceder a los servicios del operador privado (CCNP) simplemente se requieren utilizar antenas interiores, podría implicar que el usuario no pueda o pierda el interés para acceder a todos los servicios, principalmente a los de los Canales Públicos Nacionales.

PALABRAS CLAVES

AHP, Armonización, CCNP, DVB-T2, RTVC, TDT.

INTRODUCCIÓN

La extinta Comisión Nacional de Televisión (CNTV), a través del Acuerdo No.004 de 22 de diciembre de 2011, actualizó el estándar de Televisión Digital Terrestre (TDT) DVB-T2 en Colombia. A su vez, la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), mediante la resolución 4047 de 2012 [1], establece las condiciones técnicas mínima para la implementación de la red de transmisión, de conformidad con la norma ETSI TR 101 190 V1.3.2 [2], y la recomendación EBU-TECH 3348 [3]. Sin embargo, la determinación del tipo de cobertura, *Indoor/Outdoor*, se dejó a discrecionalidad de los operadores de TV.

El servicio público de televisión es uno de los servicios de telecomunicaciones más usados en Colombia, en donde actualmente el 98% de los hogares cuenta por lo menos con un televisor, de los cuales el 67% de ellos tienen un sintonizador integrado para acceder al servicio de Televisión Digital Terrestre (TDT). Así mismo se estima que en Colombia el 20% de los usuarios del servicio consideran como uno de los principales problemas para acceder a los servicios de TDT, la necesidad de utilizar una antena especial [4].

Actualmente, finalizada la tercera y séptima fase de despliegue de la TDT por parte de los operadores de TV pública Radio Televisión Nacional de Colombia (RTVC) y privada Consorcio Canales Nacionales Privados (CCNP), respectivamente, se han podido evidenciar en la práctica y mediante mediciones de campo, dificultades para que los usuarios puedan acceder a la señal de los Canales Públicos Nacionales comparada con la facilidad en el acceso de la señal de los Canales Nacionales Privados.

Por lo anterior, en el presente documento se presenta el estado del arte de la TDT en Colombia, a partir del estado actual del despliegue de las redes pública y privada, así como de la regulación aplicable vigente. De igual manera, se identifican las implicaciones técnicas, jurídicas / regulatorias, económicas, políticas, sociales y ambientales, que deben tenerse en cuenta para modificar las estaciones de RTVC ya desplegadas, con el fin de establecer los niveles de potencia de transmisión de las estaciones de los Canales Públicos Nacionales comparadas con las de los Canales Nacionales Privados, de manera tal que

pueda garantizársele a los usuarios de la TDT similares condiciones en el acceso al servicio, con independencia del prestador del mismo.

Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad empleando el software Expert Choice, mediante el cual se puede evidenciar la robustez del modelo y de la alternativa seleccionada al no modificar el orden de la selección al realizar variaciones de hasta un 50% en el peso de los criterios.

1. MARCO GENERAL DEL PROYECTO

Mediante el presente trabajo de grado se realiza un análisis para realizar una propuesta de Armonización de los niveles de potencia de las estaciones primarias de los operadores público y privado nacional del servicio de Televisión Digital Terrestre (TDT). El análisis es realizado empleando el método del proceso analítico jerárquico (PAJ) correspondiente a una de las técnicas más robustas de la toma de decisiones. A través del presente documento se puede evidenciar la manera en que han sido desarrollados los diferentes objetivos planteados, mediante los cuales se opta por el título de Magíster en Ingeniería de Telecomunicaciones y Regulación TIC de la Universidad Santo Tomás.

En concordancia con lo anterior, en el presente capítulo se contextualiza el trabajo realizado, describiendo su título, planteando el problema, los objetivos, así como su alcance.

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO

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.

1.2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La extinta Comisión Nacional de Televisión (CNTV), mediante el Acuerdo No. 008 del 22 de diciembre de 2010 adoptó el estándar europeo DVB-T para la prestación del servicio de Televisión Digital Terrestre (TDT) en Colombia [5]. No obstante, en virtud de los avances tecnológicos que en ese momento experimentaba la TDT en todo el mundo, la CNTV actualizó el estándar de TDT al DVB-T2, mediante el Acuerdo 004 de 2011 [6].

Por su parte, la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), mediante la resolución 4047 de 2012, estableció las condiciones técnicas mínimas para los receptores de TDT, así como las características técnicas mínimas de las redes de TDT en Colombia bajo el mencionado estándar, con base en normas y/o recomendaciones aplicables al mismo, especialmente con la normas ETSI EN 302 755, ETSI TS 102 831, UIT-R BT.1877-1 y EBU-TECH 3348 [1].

De igual manera, el artículo 2.2 de la Resolución 4047 de 2012 de la CRC, estableció que las obligaciones de cobertura de los operadores de TDT en Colombia son para recepción fija en tejado, sin embargo y con el fin de fortalecer la plataforma de TDT, la extinta CNTV realizó unas mesas de trabajo para la implementación de la TDT en el país, donde se encontraban representantes de los Canales Públicos Nacionales así como de los Canales Privados Nacionales, en las cuales acordaron que la planificación de las redes debía tener en cuenta recepción de tipo *portable indoor* [7] al menos para las ciudades IBOPE [8] [9]. Las Tablas 1.1, 1.2, 1.3 muestran los diferentes objetivos de cubrimiento.

Tabla 1.1. Objetivos de cubrimiento ciudades capitales IBOPE [9]

No.	Tipo Ciudad	Ciudad	Objetivo Cubrimiento RTVC	Objetivo Cubrimiento CCNP
1	Ciudades Capitales IBOPE	Bogotá	Indoor	Indoor
2		Medellín	Indoor	Indoor
3		Cali	Indoor	Indoor
4		Barranquilla	Indoor	Indoor
5		Bucaramanga	Indoor	Indoor
6		Cúcuta	Indoor	Indoor
7		Pereira	Indoor	Indoor
8		Armenia	Indoor	Indoor
9		Manizales	Indoor	Indoor
10		Santa Marta	Indoor	Indoor
11		Cartagena	Indoor	Indoor

Tabla 1.2. Objetivos de cubrimiento ciudades No Capitales IBOPE [9]

No.	Tipo Ciudad	Ciudad	Objetivo Cubrimiento RTVC	Objetivo Cubrimiento CCNP
1	Ciudades No Capitales IBOPE	Bello	Indoor	Indoor
2		Dosquebradas	Indoor	Indoor
3		Envigado	Indoor	Indoor
4		Floridablanca	Indoor	Indoor
5		Girón	Indoor	Indoor
6		Itagüí	Indoor	Indoor
7		Los Patios	Indoor	Indoor
8		Palmira	Indoor	Indoor
9		Soacha	Indoor	Indoor
10		Soledad	Indoor	Indoor
11		Turbaco	Outdoor	Indoor
12		Yumbo	Indoor	Indoor

Tabla 1.3. Objetivos de cubrimiento ciudades Capitales No IBOPE. [9]

No.	Tipo Ciudad	Ciudad	Objetivo Cubrimien to RTVC	Objetivo Cubrimiento CCNP
1	Ciudades NO IBOPE - Capitales de Departamento	Arauca	Outdoor	Outdoor
2		Florencia	Outdoor	Indoor
3		Ibagué	Indoor	Indoor
4		Inírida	Outdoor	Outdoor
5		Leticia	Indoor	Outdoor
6		Mitú	Outdoor	Outdoor
7		Mocoa	Indoor	Outdoor
8		Montería	Outdoor	Outdoor
9		Neiva	Indoor	Outdoor
10		Pasto	Indoor	Outdoor
11		Popayán	Outdoor	Outdoor
12		Puerto Carreño	Outdoor	Outdoor
13		Quibdó	Outdoor	Outdoor
14		Riohacha	Outdoor	Outdoor
15		San Andrés	Indoor	Outdoor
16		San José del Guaviare	Outdoor	Outdoor
17		Sincelejo	Outdoor	Outdoor
18		Tunja	Outdoor	Outdoor
19		Valledupar	Outdoor	Outdoor
20		Villavicencio	Indoor	Outdoor
21		Yopal	Outdoor	Outdoor

A pesar de lo anterior, el despliegue de las redes de TDT en Colombia se ha realizado de manera desarticulada, toda vez que cada uno de los operadores ha establecido sus niveles de potencia y su modo de recepción [9], lo cual desde el punto de vista del usuario, se ha podido evidenciar que existen grandes dificultades para la sintonización de la señal de TDT de los CPN, por lo cual, en algunos casos, ha sido necesaria la instalación de antenas exteriores (típicamente antenas tipo yagui de 11dBd de ganancia) en mástiles improvisados (típicamente guaduas hasta de 20m), mientras que, para sintonizar la señal de los CNP, simplemente se debe utilizar una antena de interiores (típicamente antenas de 2dBd de ganancia).

Por todo lo anterior, se hace necesario realizar la Armonización de las Redes de TDT en el país, que permita garantizar a los usuarios del servicio de TDT igualdad en las condiciones de acceso al mismo, con independencia del prestador del servicio. Para lo cual, se debe seleccionar la mejor alternativa que permita realizar una propuesta a la Autoridad Nacional

de Televisión y/o a Radio Televisión Nacional de Colombia para implementar un Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Proponer un modelo jerárquico para la Armonización de las Redes de Televisión Digital Terrestre (TDT) pública y privada en Colombia, buscando minimizar sus implicaciones desde el punto de vista técnico, económico, regulatorio, político y social.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Definir desde el punto de vista de la literatura y las mediciones técnicas realizadas el estado actual de las redes de TDT en Colombia.
2. Identificar las variables y criterios que se deben tener en cuenta desde el punto de vista técnico, económico, regulatorio, político y social, para minimizar las implicaciones que pueden generar la implementación del plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia.
3. Seleccionar la mejor alternativa que permita armonizar las redes de TDT en Colombia, utilizando las variables y criterios identificados, mediante la implementación del método de toma de decisiones multi-criterio AHP.
4. Validar la selección realizada mediante un análisis de sensibilidad que permita verificar la robustez de la alternativa seleccionada

1.3.3 Alcance

La presente investigación se basará en la innovación, su resultado principal es la selección de la mejor alternativa, de conformidad con el análisis multicriterio realizado, para realizar una propuesta para la eventual implementación de un Plan de Armonización de las Redes primarias de transmisión pública y privada nacional de TDT en Colombia.

La investigación no incluye predicciones de cobertura ni mediciones de intensidad de campo, el análisis comparativo será realizado a partir de la información pública y/o privada a la que se tenga acceso, respecto de las estaciones primarias de las redes de transmisión nacionales de TDT.

El alcance de la investigación no incluye el estudio de las diferentes topologías de red, cálculos de interferencias, ni la replanificación de la red de los canales públicos y/o privados nacionales.

2. LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA

A través de este capítulo, se pretende identificar el estado actual de la Televisión Digital Terrestre. A continuación, se hace una clasificación del servicio de televisión en Colombia, se caracterizan los estándares de televisión digital terrestre, se documenta el proceso de adopción del estándar de TDT en Colombia y su estado de despliegue. Finalmente, se documenta la necesidad de armonizar las redes de Televisión Digital Terrestre en Colombia.

2.1 CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO DE TELEVISIÓN EN COLOMBIA

La ley 182 del año 1995, reglamentó el servicio de televisión en Colombia, formuló sus políticas de desarrollo, creó la Comisión Nacional de Televisión, estableció las normas de contratación de estos servicios y reestructuró algunas entidades del sector, entre otras disposiciones. En su Título III, estableció la clasificación del servicio de televisión, el cual fue modificado parcialmente por los Artículos 4 y 24 de la Ley 335 de 1996 [10], [11]. A continuación, la Figura 2.1. Presenta y resume la clasificación actual de la televisión en Colombia.

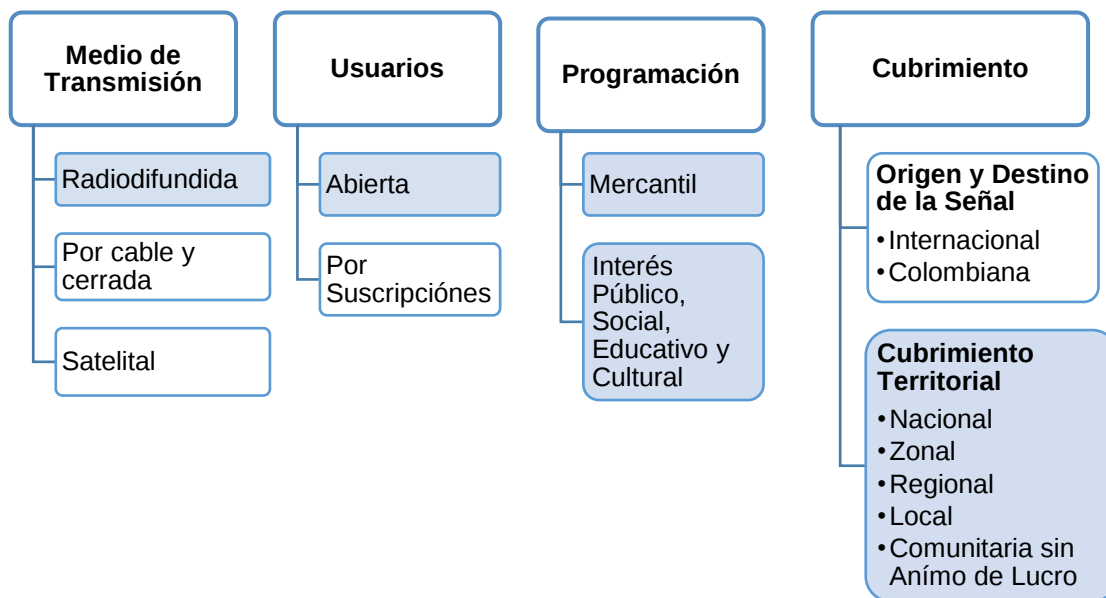


Figura 2.1. Clasificación de televisión en Colombia

Se aprecia con claridad que esta clasificación viene dada desde el punto de vista del medio de transmisión utilizado, la forma como llega a los usuarios, la programación y el cubrimiento.

2.2 GENERALIDADES DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

A pesar de que en los años 80 los televisores se utilizaban en algunos casos como monitores de computadores, por varios lustros, la televisión y la transmisión de datos han tomado caminos muy parecidos pero independientes. No obstante, en la actualidad los computadores y la televisión están convergiendo de manera tal que para algunos usuarios es difícil distinguir entre los dos medios, toda vez que las tarjetas de televisión que se encuentran disponibles hoy en día para los computadores, permite que estos últimos terminen convertidos en televisores.

Se puede decir que el inicio de la Televisión Digital Terrestre se dio a partir de 1992, mediante el establecimiento del estándar JPEG (Join Photographics Expert Group) a través del cual se especifica el algoritmo mediante el cual una imagen es comprimida en un flujo de bytes y es descomprimida nuevamente en una imagen, pero en un archivo diferente al utilizado inicialmente, utilizando la transformada discreta del coseno (TDC) [12].

Posteriormente en 1993, empleando también la TDC se crearon estos estándares MPEG-1 y MPEG-2, el primero con el fin de lograr reproducir cuadros de movimiento a tasas de 1,5 Mbps, utilizando el CD para almacenar los datos, mientras que el segundo permite que la señal de televisión digital cuya tasa original es de 270 Mbps pueda ser comprimida entre 2 y 6 Mbps, así mismo este códec permite que de los 1.5 Mbps que corresponde a un porcentaje de datos de la señal de audio estéreo descomprimida, pueda ser reducida de 400 a 100Kbps, típicamente a 192 Kbps [13] .

Actualmente, han sido liberados nuevos estándares para la codificación de señales audiovisuales, entre los cuales sobresalen el formato de codificación avanzada MPEG-4 parte 10 más conocido como H.264, y el MPEG-H parte 2 más conocido como H.265. La liberación de estos estándares ha sido relativamente más rápido, toda vez que los mismos fueron creados de manera conjunta entre el VCEG (Video Coding Experts Group de la ITU-T) y el MPEG (Moving Picture Experts Group de la ISO/IEC) [14].

Con el uso de estos estándares de compresión, se hizo posible combinar varios programas de audio y video en una única señal de datos que posteriormente puede ser decodificada

en lo que originalmente era una señal que ocupaba un canal con un ancho de banda de 6MHz en la televisión analógica tradicional, realizando así un uso más eficiente del espectro radioeléctrico [15].

Así las cosas, se puede afirmar que los sistemas de televisión digital están compuestos por varios conceptos ya estandarizados, en los cuales se incluyen la codificación de video, la codificación de audio, los formatos de flujos de información, middleware y tecnologías de transmisión. Sus principales ventajas son el uso eficiente del espectro, la multicanalidad, la guía electrónica de programación (EPG) y la mejora en la calidad de audio y video [16], [12].

Aunado a lo anterior, se considera pertinente presentar la definición de TDT de conformidad con el Artículo Tercero del Acuerdo CNTV 002 de 2012, en la cual se establece que la Televisión Abierta Radiodifundida Digital es aquella que “llega al usuario desde la estación transmisora por medio del espectro electromagnético propagándose sin guía artificial , en donde el canal radioeléctrico se podrá multiplexar de manera que el operador puede emitir diferente programación para diferentes usuarios en el territorio nacional, en desarrollo de los beneficios que ofrece la tecnología digital” [17].

2.3 ESTÁNDARES DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE Y SU ADOPCIÓN EN EL MUNDO

En la actualidad existen alrededor de nueve estándares de Televisión Digital Terrestre, los cuales han sido desarrollados por los siguientes foros:

- A. ATSC 1.0/2.0/3.0:** Los estándares ATSC, cuyo desarrollo ha sido realizado por el Advanced Television Systems Committee (Comité de Sistemas de Televisión Avanzada), corresponden a un set de estándares que permiten la transmisión de servicios de televisión digital para diferentes medios de transmisión tales como la terrestre, el cable y el satélite. La variante ATSC 2.0 [18], de este estándar se considera como una optimización del ATSC 1.0 [19], especialmente para servicios de video, audio y datos interactivos. Estas dos variantes del ATSC, junto con una de las posibilidades de emplear el estándar chino DTMB, son los únicos estándares de Televisión Digital Terrestre con una única portadora (Single Carrier), lo cual ha sido muy cuestionado, toda vez que la recepción de múltiples trayectorias propias de la radio propagación son más tolerables a métodos de múltiples portadoras

(Multicarrier), como lo es la multiplexación de división por frecuencia ortogonal codificada (COFDM) [20].

En el año 2018 se realizó el lanzamiento oficial del estándar ATSC 3.0 [21], el cual a diferencia de sus estándares antecesores, está basado en modulación con múltiples portadoras (Multi Carrier OFDM), similar al DVB-T2 pero con mejoras sustanciales en cuanto a robustez, eficiencia espectral y una mayor flexibilidad para la selección de los parámetros de transmisión, donde se logra alcanzar la mayor tasa de datos de transmisión.

- B. DBV-T/T2:** Los estándares DVB, cuyo desarrollo ha sido realizado por el foro Digital Video Broadcasting (Difusión de Video Digital), corresponde a un set de estándares para la transmisión de televisión digital para diferentes medios de transmisión tales como terrestre, satélite, cable y transmisiones de televisión en movilidad.

El estándar DVB-T es el estándar de primera generación para la transmisión de Televisión Digital Terrestre mediante el cual se transmite la señal digital de video, audio y algunos datos de control, así como información adicional empaquetados en un flujo MPEG-2 conocido como Transport Stream (TS) [22].

El estándar DVB-T2 corresponde a un estándar de segunda generación del DVB-T, el cual fue promovido por el operador público del Reino Unido (British Broadcasting Corporation) cuyas diferencias radican en la posibilidad de obtener una tasa de datos entre 30 y 50% mayor comparada con la obtenida empleando el estándar DVB-T, al incorporar el códec MPEG-4 que permite una mejor compresión de video, entre otras mejoras orientadas a brindar servicios en movilidad, razón por la cual se incluyen anchos de banda de 1.7MHz [23].

- C. ISDB-T/Tb:** Los estándares de la familia ISDB, cuyo desarrollo ha sido realizado por Integrated Services Digital Broadcasting (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados), los cuales corresponden a un set de estándares para la transmisión de servicios de Televisión Digital para transmisión terrestre y por satélite. El estándar ISDB-T [24], solamente aprovechó la experiencia del ATSC 1.0 y del DVB-T para su creación. Este estándar utiliza el sistema de múltiple portadora COFDM, el códec

MPEG-2 empleado en la codificación de video, el códec AAC para el audio y adopta la encapsulación MPEG-2 TS para su trama de datos como en el estándar DVB-T, sin embargo a diferencia de este último, el sistema ISDB-T realiza una segmentación de banda, es decir, divide el ancho de banda disponible en 13 bloques de frecuencias llamados segmentos, en los cuales se pueden emplear esquemas de modulación y parámetros de codificación independientes [25].

Una variante de este estándar se conoce como el ISDTV (Sistema Internacional de Televisión Digital), SBTVD (Sistema Brasileiro de Televisión Digital) o simplemente ISDB-Tb (Versión Brasileña del ISDB-T) [26], estándar ampliamente adoptado en sur américa. La principal diferencia que existe entre el estándar original y esta adaptación brasileña radica en que esta última utiliza el MPEG-4/H.264 AVC para la codificación del video, establece Ginga [16] como plataforma de interactividad y especifica WiMAX [24], como su canal de retorno [16] , [27].

D. DTMB/-A: El estándar DTMB [28], Digital Terrestrial Multimedia Broadcast (Radiodifusión Multimedia Digital Terrestre), corresponde a un estándar de origen chino cuyo desarrollo fue realizado en la Universidad de Tsinghua en Pekín en 2006. Fue diseñado con el propósito de dar soporte tanto a los servicios en entornos fijos como en movilidad. Emplea el método de modulación TD-COFDM (Multiplex por División de Frecuencias Ortogonales Codificadas en el Dominio del Tiempo) pero tiene la particularidad de funcionar como single carrier o como multicarrier [29] .

En la actualidad ya se encuentra desarrollado el estándar chino de segunda generación llamado DTMB-A (Radiodifusión Multimedia Digital Terrestre Avanzada), cuyas prestaciones y rendimiento son muy similares al ATSC 3.0, donde su mayor motivador son los servicios de UHD y 3DTV [28], [24], [30], sin embargo en la actualidad no se encuentra evidencia que se estén adelantando pruebas o se encuentre en proceso de adopción en algún país o territorio, y debido a que la mayoría de información técnica se encuentra en mandarín, la misma no es de fácil acceso y comprensión para los occidentales.

En la Tabla 2.1., se presenta una comparación de los elementos más relevantes de los diferentes estándares de Televisión Digital Terrestre reconocidos en la actualidad [31].

Tabla 2. 1. Cuadro Comparativo Estándares de TDT.

Fuentes [32], [33], [34], [19], [21], [18], [35], [12], [9], [15], [36], [22], [37], [38].

Descripción	ATSC 1.0	ATSC 2.0	ATSC 3.0	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T	ISDB-Tb o SBTVD-T	DTMB	DTMB-A
Nombre del Estándar	Advanced Television Systems Committe	Advanced Television Systems Committe Version 2	Advanced Television Systems Committe Version 3	Digital Video Broadcasting Terrestrial	Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation	Integrated Services Digital Broadcasting, Terrestrial	Sistema Brasileiro de Television Digital Terrestrial	Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcasting	Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcasting Advanced
Origen	Estados Unidos de América	Estados Unidos de América	Estados Unidos de América	Comunidad Europea Foro DVB	Comunidad Europea Foro DVB	Japón	Brasil	China	China
Fecha de Liberación	1996	2015	2017	1997	2009	2000	2007	2002	2015
Principales Estados y Territorios que lo adoptaron	Estados Unidos de América, Canadá, México, Corea del Sur, República Dominicana y Puerto Rico	Actualmente no se encuentra en funcionamiento	Actualmente se encuentra adoptado en Estados Unidos de América y Corea del Sur. En Brasil y México se están realizando pilotos de pruebas	África: 8 Asía: 7 Australia y Oceanía: 5 Europa: 20 América del Norte:11 América del Sur:2	África: 35 Asía: 27 Australia y Oceanía: 3 Europa: 27 América del Norte:11 América del Sur:2	África: 1 Asía: 4	América del Norte: 6 América del Sur: 9	África: 1 Asia: 3 América del Norte: 1	Actualmente no se encuentra adoptado por ningún estado o territorio

Descripción	ATSC 1.0	ATSC 2.0	ATSC 3.0	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T	ISDB-Tb o SBTVD-T	DTMB	DTMB-A
Formato de la Trama de Datos	MPEG-2	IP	MPEG-2, IP	MPEG-2 TS	MPEG-2 T2-MI	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2	MPEG-2
Codificación de Video	MPEG-2	MPEG-4/H.264 AVC	MPEG-H/H.265 HEVC	MPEG-2 o MPEG-4/H.264 AVC	MPEG-2 o MPEG-4/H.264 AVC	MPEG-2	MPEG-4/H.264 AVC	MPEG-2 o MPEG-4/H.264 AVC	MPEG-2 o MPEG-4/H.264 AVC
Codificación de Audio	AC-3	MPEG-2 AAC V2	Dolby AC-4 y MPEG-H 3D Audio	MPEG 1 y MPEG 2 AAC	MPEG 1 y MPEG 2 AAC	MPEG 1 y MPEG 2 AAC	MPEG-4 AAC	MPEG Audio, AC-3, DTS	MPEG Audio, AC-3, DTS
Servicios Principales	SD, HD	SD, HD	SD, HD, UHD, HDR	SD, HD	SD, HD	SD, HD	SD, HD	SD, HD	SD, HD, UHD, HDR
Algoritmos FEC	RS (207, 187, 10)	RS / CRC / Códigos Convolucionales Concatenados	LDPC, BCH o Ninguno 2/15, 3/15, 4/15, 5/15, 6/15, 7/15, 8/15, 9/15, 10/15, 11/15, 12/15, 13/15	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 + Códigos Convolucionales	RS (204, 188, 8)	LDPC, BCH 3009/7488, 4512/7488, 6016/7488	LDPC, BCH 1/2, 2/3, 5/6
Entrelazado	Convolutacional B=52, M=4	Convolutacional B=52, M=4	CI (S-PLP) Hybrid BI+CI (M-PL)	Entrelazado en bloque	Entrelazado en bloque	Byte, bit, Frecuencia y tiempo	Byte, bit, Frecuencia y tiempo	Convolutacional B=52, M=720 o 240	Entrelazado de bit, permutación de bit por cada servicio

Descripción	ATSC 1.0	ATSC 2.0	ATSC 3.0	DVB-T	DVB-T2	ISDB-T	ISDB-Tb o SBTVD-T	DTMB	DTMB-A
Esquema de Modulación	Portadora Única 8-VSB	Portadora Única 8-VSB	COFDM: QPSK Uniforme, y 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM y 4096QAM No uniformes	COFDM: QPSK, 16QAM, 64QAM	COFDM: QPSK, 16QAM, 64QAM y 256QAM	COFDM: QPSK, 16QAM, 64QAM DQPSK	COFDM: QPSK, 16QAM, 64QAM DQPSK	TD-COFDM: QPSK-NR, QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM	QPSK, 16ASPK, 64APSK, 256APSK
Ancho de Banda del Canal	6 MHz	6 MHz	6, 7, 8 MHz	6, 7, 8 MHz	1.7, 5, 6, 7, 8, 10 MHz	6, 7, 8 MHz	6 MHz	6, 7, 8 MHz	6, 7, 8 MHz
Intervalos de Guarda	N/A	N/A	3/512, 3/256, 1/64, 3/128, 1/32, 3/64, 1/16, 19/256, 3/32, 57/512, 3/16, 1/8, 19/128, ¼	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, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/9, 1/6, 1/4	1/128, 1/64, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4
Tamaño FFT	1	1	8K, 16K, 32K	2K, 8K	1K, 2K, 4K, 8K-8KE, 16K-16KE, 32K-32KE	2K, 4K, 8K	2K, 4K, 8K	1, 3780	4K, 8K, 32K
Tasa de datos Típica	19.39 Mbps	21.5 Mbps	57 Mbps	24 Mbps	40 Mbps	23.23 Mbps	23.23 Mbps	32.49 Mbps	49.31 Mbps

2.4 ORGANISMOS REGULADORES DEL SERVICIO DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA

Actualmente existen diversas entidades públicas en Colombia que se encargan de definir las políticas y las leyes que regulan el servicio de la Televisión Digital Terrestre, entre los cuales se encuentran la Autoridad Nacional de Televisión (ANTV) como organismo que define las políticas públicas, la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) como ente regulatorio de algunas especificaciones técnicas del transmisor y del receptor, y la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) como una organización de supervisión en el mercado.

Por otra parte, la Agencia Nacional del Espectro (ANE) es la encargada de otorgar las autorizaciones de transmisiones, organiza los planes de frecuencias, definición de coberturas, etc.

En conjunto, la ANTV, la CRC, la ANE y la SIC, son los entes encargados de dirigir, desarrollar y ejecutar las políticas referentes a la televisión en Colombia, adicionalmente se encargan de velar por el cumplimiento de estas políticas. Es necesario comprender que esta competencia está limitada por los trabajos a desempeñar por la ley de creación y atribución de ciertas competencias de cada entidad. La Figura 2.2 presenta un resumen de los organismos reguladores del servicio de TV en Colombia.

- La Autoridad Nacional de Televisión (ANTV), se encarga de la Regulación, Control y vigilancia, Otorgamiento de concesiones, Asignar las frecuencias del Espectro Radioeléctrico y junto con la ANE se encarga de organizar los temas de control, administración y gestión del Espectro Radioeléctrico.
- La Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), se encarga de la Regulación, que incluye, sancionar a las personas que incurran en alguna actividad contra la competencia y los derechos de televidentes.
- La Agencia Nacional del Espectro (ANE) se encarga del control y vigilancia, funciones relacionadas con el otorgamiento de concesiones y con el espectro

radioeléctrico (Asigna las frecuencias del espectro radioeléctrico para operar los servicios de televisión), así como expedir normas sobre el recurso satelital.

- La Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) se encarga del: control y la vigilancia en el caso de defender los derechos de los usuarios, en materia de prácticas restrictivas de la competencia e integraciones empresariales y en materia de competencia desleal. Además, concede las integraciones, concentraciones y fusiones de las compañías prestadoras del servicio de televisión.



Figura 2.2. Resumen de los organismos reguladores del servicio de TV en Colombia

A pesar de lo anterior, es preciso indicar que en la actualidad se encuentra en trámite un proyecto de ley *“Por la cual se moderniza el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones –TIC, se distribuyen competencias, se suprime la Autoridad Nacional de Televisión, y se dictan otras disposiciones”*, el cual de resultar aprobado podría cambiar el rol de las diferentes entidades públicas anteriormente mencionadas. Este proyecto de ley

está motivado por una solicitud realizada por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), en el sentido de establecer un único regulador convergente para las TICs en Colombia [9].

2.5 ACUERDOS EN MATERIA TÉCNICA DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA

En cuanto a la parte técnica, se tienen los avances generados desde la extinta Comisión Nacional de Televisión (CNTV), quien mediante el Acuerdo No. 008 del 22 de diciembre de 2010 adoptó el estándar europeo DVB-T para la prestación del servicio de Televisión Digital Terrestre (TDT) en Colombia (35).

No obstante, en virtud de los avances tecnológicos que en ese momento experimentaba la TDT en todo el mundo, la CNTV mediante el Acuerdo 004 de 2011 [6] actualizó el estándar de TDT al DVB-T2. Por su parte, la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), mediante la resolución 4047 de 2012, estableció las condiciones técnicas mínimas para los receptores de TDT, así como las características técnicas mínimas de las redes de TDT en Colombia bajo el estándar mencionado, con base en las normas y/o sugerencias aplicables al mismo, especialmente con la normas ETSI EN 302 755, ETSI TS 102 831, UIT-R BT.1877-1 y EBU-TECH 3348 [40], (37).

2.6 PROCESO DE ADOPCIÓN DEL ESTÁNDAR DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN COLOMBIA

El inicio del proceso de adopción del estándar de TDT en Colombia se realizó en desarrollo del proyecto *“Plan para la Implementación del Servicio de Televisión Digital Terrestre”*, mediante el cual la CNTV previó la implementación del servicio de TDT en el país, con el fin de mejorar la calidad de la señal de audio y video, incrementar el número de servicios a transmitir por el mismo canal radioeléctrico, optimizar el uso del espectro radioeléctrico asignado al servicio de televisión, reducir los gastos de administración, operación y mantenimiento de la red pública nacional de televisión, así como poder contar con la

posibilidad de adicionar algunos servicios interactivos y brindar a los usuarios la posibilidad de recepción portátil y móvil de dichas señales de televisión [39].

Para lo cual, la CNTV en coordinación con los Canales Nacionales Privados de televisión RCN TV, CARACOL TV, así como con su operador de la red el Consorcio Canales Nacionales Privados, adquirieron algunos equipos para realizar pruebas en diferentes estándares de TDT, las cuales iniciaron oficialmente el 5 de julio de 2006. Seis meses después, mediante resolución 1338 del 20 de diciembre de 2006, la CNTV creó el Consejo Asesor para la definición del Estándar de TDT para el país, el cual fue presidido por el Ministro de Comunicaciones, y contaba con delegados de diferentes instituciones, ministerios, agremiaciones, universidades y operadores de tv. De igual manera se creó el Comité Técnico conformado por delegados del Ministerio de Comunicaciones y la CNTV [39].

Como resultado de todos los estudios y pruebas efectuadas por el Consejo Asesor y el Comité Técnico, la CNTV mediante el acuerdo 008 del 22 de diciembre de 2010, adopta el estándar de televisión europeo *Digital Video Broadcasting – Terrestrial* (DVB-T), utilizando compresión de video *Moving Pictures Expert Group – 4* (MPEG-4), así mismo establece algunas condiciones generales para su implementación en Colombia y fija el plazo de transición de analógico a digital hasta el 31 de diciembre de 2019 [39].

Así las cosas, tanto el operador público RTVC, así como los concesionarios privados del servicio de televisión en el país, comenzaron su despliegue de Red en el mencionado estándar para las ciudades de Bogotá y Medellín. A pesar que, en septiembre de 2009, el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Televisión) había publicado la segunda generación del estándar digital terrestre, DVB-T2 (V 1.1.1), esta fue actualizada por en julio de 2011 (V1.1.2). En esta actualización, se evidenciaron desde el punto de vista técnico, algunas ventajas relacionadas con la cobertura, la capacidad y la ganancia de redes de frecuencia única, comparada con DVB-T, gracias a los adelantos tecnológicos en modulación y codificación de canal de la época [42].

Lo anterior motivó que los diferentes operadores de televisión radiodifundida en el país, así como la subcomisión de televisión de ACIEM (Asociación Colombiana de Ingenieros) solicitaran a la CNTV el 12 de agosto de 2011, la revisión del estándar DVB-T previamente adoptado para la TDT en Colombia, en virtud a las enormes ventajas técnicas ante una eventual actualización del estándar y a que el despliegue de la red aún estaba en su fase

más incipiente. Es así como, el 20 de diciembre de 2011, la CNTV mediante el Acuerdo 004 de 2011, actualizó para Colombia el estándar de TDT DVB-T al DVB-T2.

Posteriormente, el 4 de abril de 2012, la CNTV mediante el acuerdo 002 de 2012, estableció y reglamentó la prestación del servicio público de Televisión Radiodifundida Digital Terrestre, las condiciones para el periodo de transición y apagón analógico, el plan de cobertura en TDT para todos los operadores y la gestión del multiplex digital, entre otros [17].

En concordancia con lo anterior, la CRC mediante la resolución 4047 de 2012, estableció los límites mínimos para los destinatarios de la TDT, así como las características mínimas de las redes de TDT en Colombia bajo el estándar ya mencionado, con base en las normas y/o recomendaciones aplicables al mismo, especialmente con las normas ETSI EN 302 755, ETSI TS 102 831, UIT-R BT.1877-1 y EBU-TECH 3348 [1].

De igual manera, la CRC en el artículo 2.1 planeación y despliegue de red de la anteriormente mencionada resolución, establece los documentos sobre los cuales se debe soportar tanto la planeación como el despliegue de las redes de TDT. A su vez, el artículo 2.2 probabilidad de recepción, establece como punto de partida que los operadores de TDT garanticen como mínimo una recepción “Aceptable” en sus respectivas zonas de cobertura, mientras que el Artículo 2.4 intensidad de campo, establece que la configuración de la red deberá garantizar que los valores medios mínimos de intensidad de campo deben cumplir con las disposiciones de la recomendación ETSI TR 1010 190 (V1.3.2) [1].

No obstante, lo anterior, es preciso indicar que las normas y recomendaciones a que hace referencia dicha resolución deben ser adaptadas a la canalización de 6MHz que se tiene en el país, toda vez que las mismas se encuentran documentadas para canalizaciones de 8MHz, correspondientes a los anchos de banda de los canales de televisión en Europa. De igual manera, en dicho documento la CRC establece que *“se estima necesario determinar que estos valores podrán ser ajustados a partir de las decisiones que se efectúan en el escenario colombiano, que permitan cuantificar con valores reales los parámetros presentados en las tablas utilizadas”* [1].

Así las cosas, la CRC mediante el documento amarillo, regulación de Infraestructura de junio de 2013, el cual fue el documento comentado por el sector, soportado a su vez por los estudios técnicos publicados por la Agencia Nacional del Espectro (ANE) donde se planteaban Condiciones Técnicas de Planeación y Transmisión de la TDT en Colombia, se

establece entre otros que, “si bien la resolución 4047 de 2012 constituye un punto de partida en materia regulatoria, la Comisión tiene un claro entendimiento en el sentido de que la implementación de la TDT se da a través de un proceso que puede implicar modificaciones o adiciones desde la perspectiva del regulador...” [1].

Así mismo en este documento se establece que “Puesto que hay una gran variedad de configuraciones del modo de transmisión de la señal DVB-T2 y cada configuración depende del diseño de red, no se pueden establecer niveles de servicio mínimo fijos como en el caso de radiodifusión de televisión analógica...” [36]. En virtud de lo anterior, la CRC mediante la resolución 4337 de 2013, actualiza y perfecciona las especificaciones técnicas que se aplican a la red de TDT, establecidas en la resolución CRC 4047 de 2012 [36]. En la Figura 2.3. Se presenta un resumen del proceso de adopción del estándar de Televisión Digital Terrestre en Colombia.

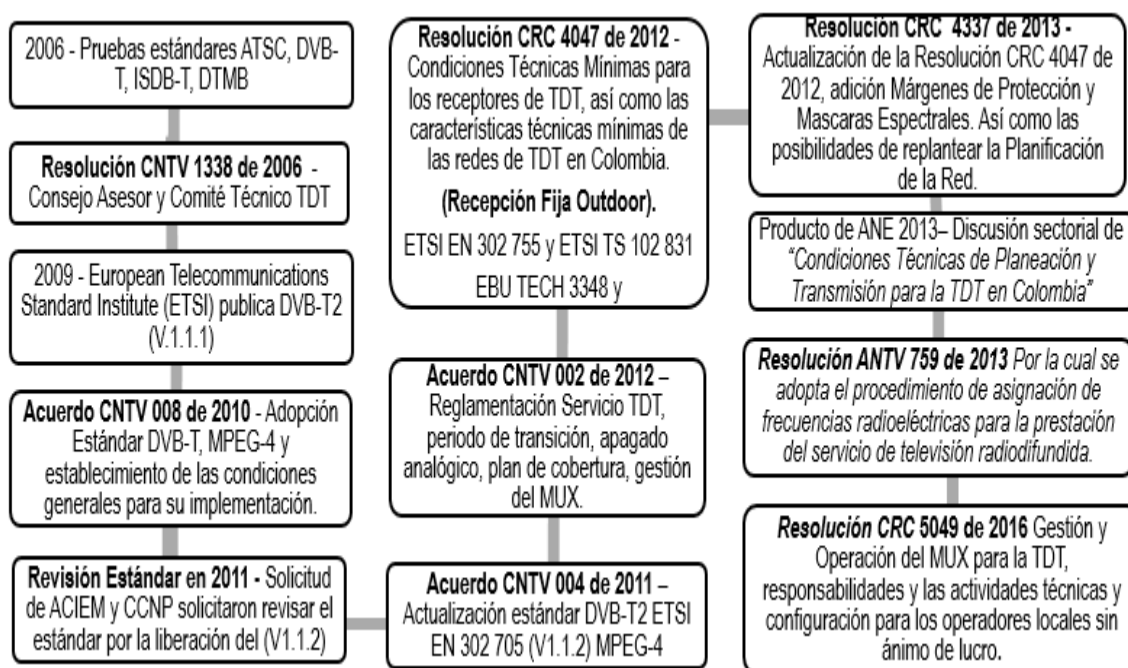


Figura 2.3. Resumen del proceso de adopción del estándar de Televisión Digital Terrestre en Colombia.

2.7 OPERADORES DE TELEVISIÓN RADIODIFUNDIDA EN COLOMBIA

Según la encuesta nacional de hogares realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en Colombia el servicio de televisión es uno de los servicios de telecomunicaciones más usados por los hogares colombianos [43]. Este servicio está regido por algunas leyes tales como Ley 14 de 1991, 680 de 2001, 182 de 1995, entre otras. Entre los servicios de televisión radiodifundida en Colombia se encuentran cinco canales nacionales y dos privados. Los operadores privados logran un 85% de cobertura poblacional, mientras que los operadores públicos alcanzan el 92% [9].

2.7.1 Operadores de Televisión Analógica

Los operadores de televisión analógica están distribuidos en 3 Canales Públicos Nacionales, 2 Canales Privados Nacionales, 8 Canales Regionales, 17 Canales Locales Sin Ánimo de Lucro y 1 Canal Local Con Ánimo de Lucro. En la tabla 2.2. se presenta la estructura de las redes de televisión analógica. En la Tabla 2.3. se presenta el listado de los canales analógicos:

Tabla 2.2. Listado de Canales de Televisión Analógica.

Canales Públicos Nacionales (RTVC)	Canales Privados Nacionales (CCNP)	Canales Regionales	Canales Locales Sin Ánimo de Lucro	Canales Locales Con Ánimo de Lucro
• Señal Colombia • Institucional • Canal Uno	• RCN TV • Caracol TV	• Canal Capital • Telecaribe • Teleantioquía • TRO • Telepacífico • Telecafé • Teveandina • Canal Capital • Teleislas	• Canal Universitario Del Valle • Fundación Para El Desarrollo Social Promover • Enlace TV • Teledellin • Telesantiago • TV Ipiales • Comunidad Cristiana De Restauración –ABN • Corporación Canal De Televisión Local del Área Metropolitana de Bucaramanga TVC • Corporación Nova Comunicazioni • Iglesia Centro Misionero Bethesda • Fundación Emtel • Universidad Del Pacifico • Asociación Canal 5 De Televisión Local-Canal 5 • Comunitaria Del Magdalena Medio "Arco Iris" • Universidad De Nariño-Telepasto • Fundación Ictus-Telemiga • Asociación De Televidentes Local Del Norte - ATN Televisión	• City TV

Tabla 2.3. Estructura de las redes de TV analógica.

No.	Operador de Red	# 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

2.7.2 Operadores de Televisión Digital Terrestre

A pesar de la nutrida lista que se tiene de canales de televisión analógica, en la actualidad solamente se encuentran 3 redes de transmisión operando en tecnología digital; las correspondientes a los Canales Nacionales Públicos y Privados y el único Canal Local Con Ánimo de Lucro. Es preciso indicar que a diferencia de la televisión analógica donde cada uno de los Canales Regionales operaba su propia red de transmisión, la red de Televisión Digital Terrestre Pública Nacional operada por RTVC será la encargada de planificar, supervisar y desplegar todos los servicios de televisión pública con independencia de su zona de cubrimiento, es decir, incluyendo los canales regionales [44].

2.8 MODELO DE PRESTACIÓN DE SERVICIO POR CADA MULTIPLEX

El Acuerdo CNTV No. 002 del 2012 mediante el cual se reglamentó la prestación del servicio público de TDT en Colombia, define que el Multiplex digital corresponde al “...conjunto de canales de televisión digital, canales de audio y/o datos que ocupa un canal radioeléctrico...”, así mismo establece el modelo de la prestación del servicio por cada múltiplex digital, el cual se presenta en la Figura 2.4.

Posteriormente la Resolución CRC 5049 de 2016 por la cual se establecen las condiciones de gestión y operación de múltiplex digitales para la Televisión Digital Terrestre, establece

las responsabilidades para la gestión del múltiplex digital y las actividades técnicas para efectuar dicha gestión, así como la configuración del mismo para los operadores locales sin ánimo de lucro.

Nacional Público	Nacional Privado	Regionales	Locales Privados	Locales Sin Ánimo de Lucro
Acuerdo CNTV 002 de 2012, Artículo sexto. • (1) Múltiplex para el Operador Público Nacional con libertad de configuración para mínimo tres servicios.	Acuerdo CNTV 008 de 2010, Artículo tercero. • 6MHz asignados para cada concesionario de Televisión Privada. • Acuerdo CNTV 002 de 2012, Artículo Sexto. • (1) Múltiplex para cada Operador Privado Nacional con libertad de configuración para uno o más servicios	Acuerdo CNTV 002 de 2012, Artículo sexto. • (1) Múltiplex para cada Operador Público Regional con libertad de configuración para uno o más servicios	Acuerdo CNTV 002 de 2012, Artículo sexto. • (1) Múltiplex para cada Operador Público Regional con libertad de configuración para uno o más servicios	Acuerdo CNTV 002 de 2012, Artículo sexto. • (1) <i>Múltiplex compartido máximo entre 5 Licenciarios de Canales Locales Sin Ánimo de Lucro, con libertad en su configuración de conformidad con lo acordado por el grupo</i>

Figura 2. 4. Modelo de Prestación del Servicio por cada Múltiplex (1), (39), [45].

2.9 PLAN DE COBERTURA Y APAGÓN ANALÓGICO

El Plan de Cobertura para las redes de TDT fue establecido mediante el Artículo Décimo del Acuerdo CNTV 002 de 2012, sin embargo, el Plan de Cobertura para el Operador Público de Televisión fue modificado mediante la Resolución ANTV 1132 de 2013. De otra parte, para el Plan de Cobertura del Operador Privado Nacional de Televisión se estableció que las metas de cobertura de la red serían determinados en los contratos de concesión

respectivos. La tabla 2.4 presenta el resumen del plan de cobertura de ambas redes con las respectivas proyecciones poblacionales.

Tabla 2.4. Plan de Cobertura TDT [46]

AÑO	PROYECCIONES DANE	CCNP		RTVC	
		Obligación Red de TX	Obligación Cobertura	Obligación Red de Tx Res. 1132	Obligación Poblacional Res. 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 %
May/15	48.202.617	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 %	89,26 %
2018	49.834.727	100,00 %	84,44 %	92,26 %	92,26 %

De otra parte, en el Artículo Octavo del mencionado Acuerdo se estableció que el plazo máximo para el cese de las emisiones de televisión terrestre con tecnología analógica o apagón analógico –Analog Switch Off (ASO) en inglés sería antes del 31 de diciembre de 2019.

En virtud de lo anterior, el 22 de Marzo de 2016, en el marco del proyecto de “Soporte para la Transición de la Radiodifusión Analógica a la Radiodifusión Digital en la Región de Las Américas”, implementado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y el Banco de Desarrollo de América Latina, presentó un informe llamado Hoja de Ruta para la transición de televisión analógica a Televisión Digital Terrestre, la cual corresponde a un manual de gestión y planificación para llevar a feliz término la transición de la televisión analógica a digital. Para la elaboración de esta guía se conformó el Equipo de Soporte Nacional Colombiano (ENS) compuesto por entidades públicas (Min Tic, ANTV, CRC,

ANE), los operadores de Televisión Radiodifundida (RTVC, Caracol TV, RCN TV, CCNP, City TV, Canales Regionales) y la Asociación Colombiana de Ingenieros, coordinado por la Autoridad Nacional de Televisión.

2.10 ESTADO ACTUAL DEL DESPLIEGUE DE LAS REDES TDT EN COLOMBIA Y NECESIDAD DE ARMONIZACIÓN

A pesar que la planificación de las redes de TDT del país, tanto para el operador público como privado nacional fue realizada dando cumplimiento a la regulación mencionada anteriormente, así como al compromiso asumido por los operadores de televisión pública y privada en Colombia, en el sentido de acordar los niveles de servicio para la gran mayoría de ciudades, especialmente las IBOPE [9], luego de terminar la tercera y séptima fase de despliegue de la red de TDT por parte de RTVC (89% de cobertura poblacional estimada) y CCNP (78% de cobertura poblacional estimada) respectivamente (89), se ha podido evidenciar en la práctica el gran desequilibrio en los niveles de potencia de sus estaciones.

La ANTV consiente del desequilibrio en los niveles de potencia de las estaciones, evidenciado en los resultados obtenidos en sus propias campañas de medición, ha liderado un proceso tendiente a realizar una Armonización de las Redes de TDT en el país, donde han sido convocados los operadores de TDT, para comparar los diseños de las diferentes redes de transmisión, con el fin de unificar criterios y de esta manera tratar de garantizar similares condiciones de recepción por parte de los usuarios de la plataforma de TDT en el país, con independencia del prestador del servicio [47].

La Tabla 2.5, presenta la comparación entre la potencia instalada en las estaciones primarias de RTVC y CCNP. Es preciso indicar que debido a la confidencialidad de la información no es posible presentar los diseños de la configuración de la red ni de los sistemas radiantes.

Tabla 2. 5. Cuadro Comparativo Potencias Instaladas en las estaciones de TDT.
Fuentes: [9], [34], [15], [48].

No	Estación RTVC	Potencia Instalada RTVC* [W]	Estación CCNP	Potencia Instalada CCNP* [W]	Dif. TX vs CCNP [dB]
1	Bello	2400	La Palma	3400	1.51
2	Calatrava	2400	Suba	6200	4.12
3	Cerro Kennedy	4600	El Ramo	6200	4.12
4	Cruz Verde	2400	Santa Librada	6200	4.12
5	Itagüí	2400	Seminario	3400	1.51
6	La Azalea	5800	Yumbo	6200	0.29
7	La Popa	5800	La Popa	3100	-2.72
8	Lebrija	5800	Lebrija	3100	-2.72
9	Los Nogales	4600	Barranquilla	6200	4.12
10	Manjui	5800	Manjui	12500	3.33
11	Padre Amaya	5800	Padre Amaya	6200	0.29
12	Tasajero	4600	Tasajero	6200	4.12
13	Tres Cruces	4600	Cristo rey	6200	4.12
14	El Nudo	4600	El Nudo	3100	1.11
15	El Cable	2400	El Cable	0	N/A
16	El Tigre	2400	Buenavista	3100	1.11
17	Alguacil	2400	Cerro Alegre	1300	-2.66
18	Turbaco	N/A	Turbaco	6200	N/A
19	Cerro Neiva	500	Cerro Neiva	2500	6.99
20	Gabinete	1000	Florencia	620	-2.08
21	La Pita	500	La Pita	3100	7.92
22	Montería	500	La Barra	6200	10.93
23	Planadas	1000	Armenia	3100	4.91
24	Simón Bolívar	100	La Loma	2500	13.98
25	Bañaderos	1000	Bañaderos	3100	4.91
26	Buenaventura	500	El Deleite	1300	4.15
27	Buenavista	200	El Doncello	2500	10.97
28	Cerro Azul	2000	Cerro Azul	3100	1.9
29	Carepa	1000	Carepa	6200	7.92
30	El Ruiz	1000	El Recreo	6200	7.92
31	Galeras	2000	Galeras	6200	4.91
32	Jurisdicciones	2000	Jurisdicciones	12500	7.96
33	La Rusia	1000	Lagunaseca	2500	3.98
34	Leticia	200	Leticia	600	4.77
35	Martinica	500	Martinica	1300	4.15
36	Mirador	1000	Mocoa	3100	4.91
37	Montezuma	2000	Quibdó	1300	-1.87

No	Estación RTVC	Potencia Instalada RTVC* [W]	Estación CCNP	Potencia Instalada CCNP* [W]	Dif. TX vs CCNP [dB]
38	Munchique	3000	Munchique	6200	3.15
39	Saboyá	1000	Saboya	3100	4.91
40	San Gil	500	San Gil	200	-3.98

Así las cosas, en la actualidad, desde la perspectiva del usuario, se han podido evidenciar las grandes deficiencias de la señal de los CPN, derivadas principalmente por las bajas potencias de transmisión de sus estaciones, lo cual ha implicado que en la práctica para que un usuario pueda sintonizar la señal de TDT de los canales públicos nacionales, sea necesaria la instalación de antenas exteriores, típicamente antenas tipo Yagua de 11 dBd de ganancia, en mástiles improvisados (guaduas hasta de 20m), mientras que para sintonizar la señal de los canales nacionales privados, simplemente se deben utilizar una antena de interiores, típicamente de 2 dBd de ganancia [9].

Esta situación ha sido puesta en evidencia por parte de la Asociación Colombiana de Ingenieros, en ejecución de su rol consultivo del gobierno de conformidad con lo establecido en la Ley 51 de 1986, quien a través de la subcomisión de televisión, el 24 de Agosto de 2016 envió un oficio al Ministro TIC, con copia a la ANTV, donde presentaba los resultados de un análisis de la situación actual de las redes de televisión en Colombia y evidenciaba la necesidad de armonizar las redes con el fin de los usuarios puedan acceder al servicio en igualdad de condiciones [49]. Así mismo, esta necesidad de Armonizar las redes de TDT en Colombia, también ha sido advertida por la UIT en [9], en el marco del proyecto de asistencia del Banco de Desarrollo de América Latina y la Unión Internacional de las Telecomunicaciones del cual Colombia fue uno de sus beneficiarios.

De otra parte, con el fin de establecer el estado actual de las redes de TDT en Colombia desde el punto de vista de literatura y mediciones técnicas realizadas, debido a que ni en la página web de la ANTV ni en la página web de RTVC se tienen informes de mediciones de cobertura donde se esté realizando comparación entre los niveles de servicio brindado por ambas redes nacionales en el mismo punto de medida, y a pesar que el alcance del presente trabajo de grado no contempla la realización de simulaciones ni mediciones de cobertura, se hace necesario utilizar los resultados no oficiales obtenidos de algunas mediciones de intensidad de campo realizadas por una empresa particular como soporte de la necesidad de armonizar las redes de TDT en Colombia.

Es preciso indicar que debido a que esta información tiene reserva de confidencialidad y a que las mismas no son de propiedad del autor del presente documento, no es posible adjuntar los informes de las mediciones ni ahondar en los resultados de las mismas. Sin embargo, en la figura 2.5, se presenta el resultado de dichas mediciones realizadas en 14 puntos diferentes simultáneamente dentro de una misma zona de cobertura, para los servicios de TDT prestados por las redes de RTVC y CCNP, respectivamente.



Figura 2. 5. Resultado Mediciones Realizadas por R&S

De esta manera es claro, que los canales privados (Caracol y RCN), tienen niveles de potencia más altos que los encontrados en los canales públicos (RTVC y Regionales), lo que da muestras de las diferencias que pueden llegar a ser muy significativas desde el punto de vista de la recepción de la señal, por parte de los usuarios. En la figura 2.5, también se puede evidenciar que, de los 14 puntos medidos, solamente en uno de ellos la intensidad y calidad de la señal de los canales públicos nacionales es mejor que la de los privados, sin embargo, en los demás puntos, la intensidad y calidad de la señal del CCNP es mejor que la de RTVC y los Regionales e incluso en algunos de ellos, las señales de estos últimos son inexistentes.

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES Y CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ARMONIZACIÓN DE LAS REDES DE TDT EN COLOMBIA.

A través de este capítulo, se pretende identificar las variables y/o criterios que son necesarios para poder implementar el Plan de Armonización de las Redes de Televisión Digital Terrestre en Colombia y además abordar un método que será de ayuda en cuanto a la estructuración adecuada de alternativas y objetivos del proyecto, brindando posibles soluciones en caso de que surjan problemas respecto a la toma de decisiones.

MÉTODO DELPHI

El método Delphi es una técnica que en sus inicios se utilizó para llevar a cabo predicciones sobre desastres nucleares. Esta técnica se ha utilizado desde 1950 y fue descubierta en la RAND Corporation por Olaf Helmer y Theodore J. Gordon. Actualmente, es un instrumento utilizado como herramienta de prospectiva [50]. Linston y Turoff [51], en su libro *The Delphi Method: Techniques and Applications*, definen el método Delphi como un proceso, en el cual existe una comunicación grupal para tratar un determinado problema.

Este método, contempla la elección de un conjunto de expertos, a los cuales se les cuestiona acerca de probabilidades de eventos en el futuro. Los cuestionamientos se realizan mediante rondas anónimas, para así lograr un acuerdo entre todos los participantes.

Al ser un método que provee pronósticos, Delphi se clasifica como una técnica cualitativa, la cual se puede dividir en cuatro fases, que se muestran en la Figura 3.1.

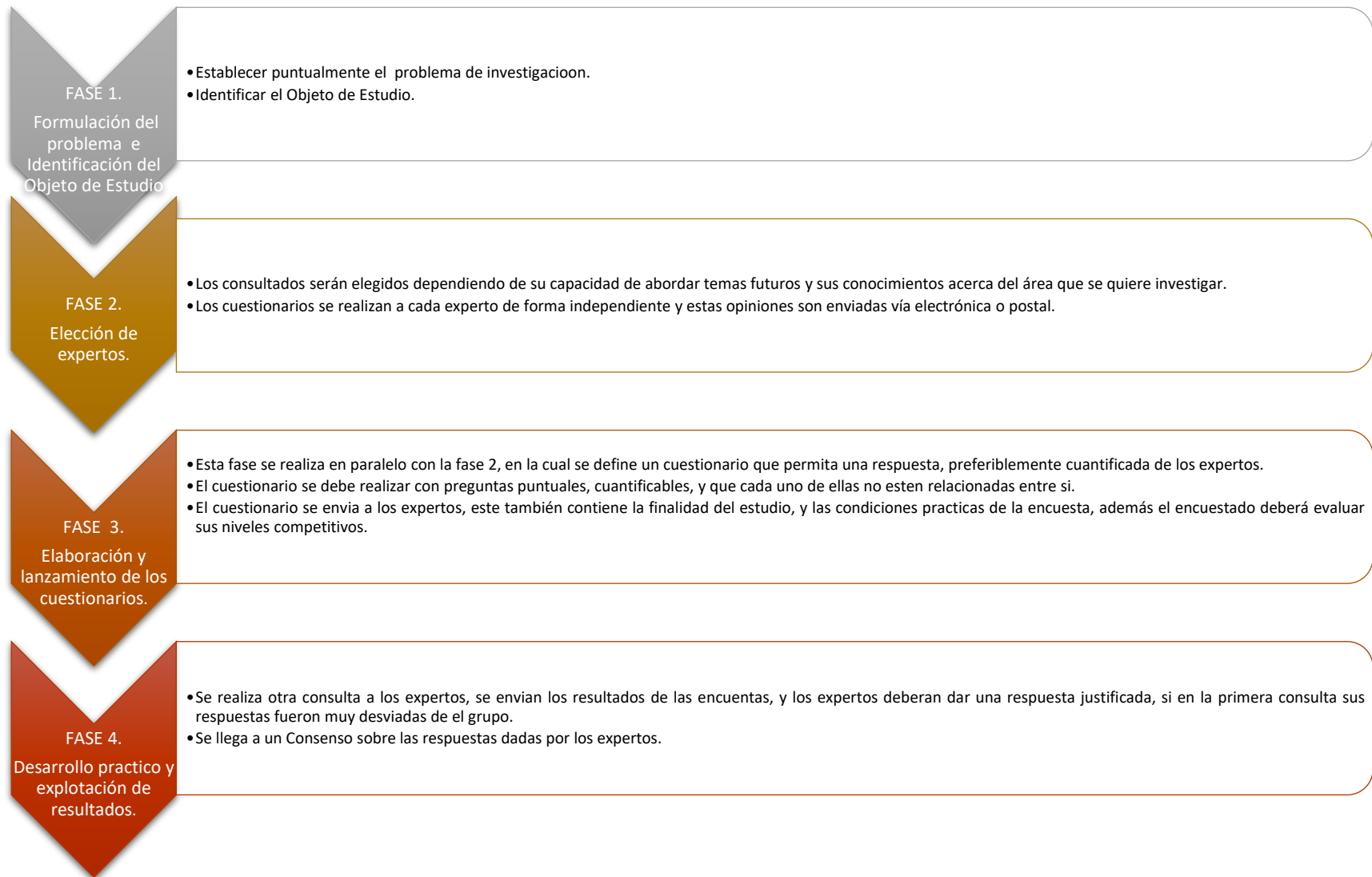


Figura 3.1. Fases del Método Delphi [50].

3.1 FASE 1

De acuerdo con las mediciones de campo efectuadas por parte de RTVC, los niveles de intensidad de campo en las zonas de cobertura de las estaciones de la Fase I y Fase II del despliegue de la red pública nacional de TDT se aproximan a los niveles calculados a través de las predicciones de propagación realizadas en la fase de planificación (42 dBμV7m), comprobando así que para sintonizar estos servicios, los usuarios requieren utilizar una antena aérea de 11dBd de ganancia y un mástil de 10m de altura. No obstante lo anterior, al comparar dichos niveles de intensidad de campo con los niveles de los servicios brindados por la red privada nacional de TDT [9], la diferencia en algunas zonas de cobertura es hasta de los 10dB, permitiendo así que sus usuarios accedan al servicio sin la necesidad de utilizar antenas aéreas instaladas en mástiles, únicamente se requiere una antena interior de 2 dBd de ganancia.

Por lo anterior se define que el objeto de estudio es determinar la mejor alternativa para realizar una propuesta que le permita a los usuarios del servicio de TDT tener similares condiciones para el acceso al servicio, con independencia del proveedor del mismo.

3.2 FASE 2

Durante el proceso de selección de expertos, fue necesario analizar las diferentes implicaciones que tendría el estudio, tanto para su estructuración como para una eventual ejecución con el fin de determinar las personas más idóneas de cara a garantizar la objetividad en sus juicios. Al iniciar el proceso se tuvieron en cuenta más de 20 personas de diferentes actores de la industria de la televisión colombiana de los cuales se seleccionaron 5, entre los que se destacan empleados del ente regulador, del operador público, del operador privado, del fabricante, de los contratistas y de la academia. Los perfiles de los 5 expertos seleccionados son los que se presentan a continuación:

- a. Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional de Colombia, PhD(c) en Ingeniería de Telecomunicaciones, con amplia experiencia en investigación y gran conocimiento en normatividad, redes de nueva generación y política del sector TIC.
- b. Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital de Colombia, MBA, especialista en Gerencia de Empresas de Telecomunicaciones, con más de 20 años de experiencia

en temas técnicos y regulatorios relacionados con redes de transmisión de radio y televisión. Su experiencia profesional incluye cargos como jefe técnico de canales regionales, nacionales y del ente regulador de televisión.

- c. Ingeniero Electrónico de la Universidad El Bosque, Especialista en Gerencia de Proyectos de Ingeniería de Telecomunicaciones, con 10 años de experiencia en temas técnicos relacionados con redes de transmisión de televisión analógica y digital terrestre y ventas técnicas de tecnologías de radiodifusión y medios.
- d. Abogada de la Universidad Nacional de Colombia, especialista en Derecho Privado Económico y Derecho Administrativo, con 10 años de experiencia en contratación pública, investigación y docencia.
- e. Economista de la Universidad Externado de Colombia, Magister en Economía de la misma universidad con más de 15 años de experiencia en manejo de presupuestos en diferentes compañías de los sectores público y privado.

3.3 FASE 3

Durante esta fase, se propuso inicialmente una lista de criterios para tener en cuenta, con el fin de efectuar la valoración de su pertinencia en el estudio por parte de los expertos, posteriormente se utilizó una herramienta cualitativa llamada la escala de Likert [2], presentada en la Tabla 3.1, mediante la cual se realizó una valoración directa, utilizando el siguiente cuestionario:

De la manera más atenta, se solicita realizar la asignación para cada uno de los criterios requeridos para realizar el Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia, que de acuerdo con su concepto son los más importantes, de conformidad con la siguiente escala:

Tabla 3.1. Tabla Valoración Directa de Likert

Valoración	Escala Verbal	Explicación
1	Extra Bajo	El aporte del criterio a la alternativa es Extra Bajo
3	Bajo	El aporte del criterio a la alternativa es Bajo
5	Medio	El aporte del criterio a la alternativa es Medio
7	Alto	El aporte del criterio a la alternativa es Alto
9	Extra Alto	El aporte del criterio a la alternativa es Extra Alto

En caso de considerar necesario una mayor precisión, los valores 2, 4, 6 y 8 pueden ser utilizados para casos intermedios, así como valores decimales 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9.

- *Actualización Regulatoria*
- *Afectación del Servicio*
- *Ajustes Planes de Cobertura*
- *Ajustes Planificación de Red*
- *Cobertura indoor*
- *Complejidad en Contratación*
- *Contaminación por Disipación Térmica*
- *Cumplimiento Objeto Social TV Pública*
- *Disposición Final sobrantes*
- *Contaminación por Disipación Térmica.*
- *Experiencia del usuario*
- *Fortalecimiento Plataforma TDT*
- *Impacto Político*
- *Interferencias*
- *Liderazgo del Gobierno*
- *OPEX*
- *Oportunidad Collocation*
- *Penetración de la TV Pública*
- *Potencia*
- *Reutilización Infraestructura*
- *Sanciones*

3.4 FASE 4

Con el fin de realizar la selección final de los criterios y variables requeridas para realizar la propuesta de Armonización de las Redes de TDT en Colombia, se realizó una revisión a partir de los diferentes aspectos presentados en el Capítulo 2 y de las valoraciones dadas por los expertos a los criterios en la fase 3 de este capítulo. De igual manera, con el fin de enriquecer esta selección, con el apoyo de los expertos, se utilizó una metodología ampliamente utilizada en procesos que involucran la toma de decisiones multicriterio, la metodología BOCR [52], por medio de la cual se tienen en cuenta los beneficios, las oportunidades, los costos y los riesgos asociados en la toma de decisión objeto de estudio, con el fin de agrupar los criterios en diferentes niveles.

El método BOCR (Benefit, Opportunity, Cost and Risk), surge para dar solución a los problemas que se tienen en la toma de decisiones, el cual permite brindar una mejor estructuración al proceso de obtención de atributos para el cumplimiento de un determinado objetivo y para una alternativa considerada. Este proceso de toma de decisiones inicia observando cuales son los objetivos que debe cumplir esa decisión y teniendo en cuenta esas metas se identifican los atributos y las alternativas que se tienen, tal y como se observa en la Figura 3.2.

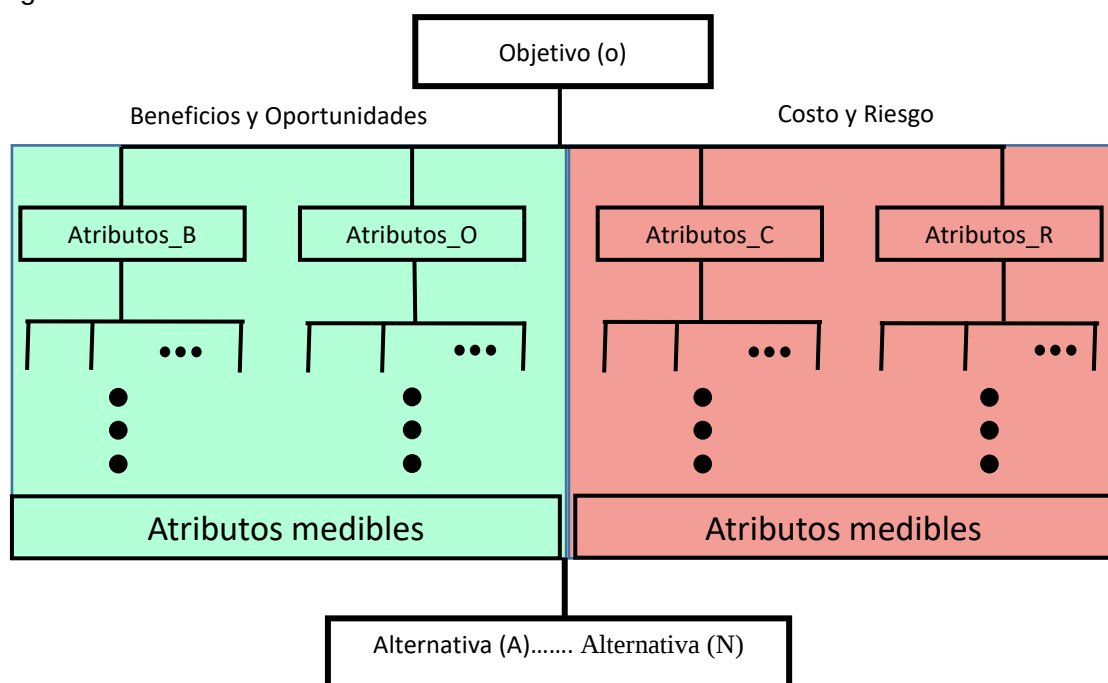


Figura 3.2. Descomposición de Atributos (Diferenciando Niveles). Adaptado de [52]

Selección de Alternativas:

Utilizando el método BOCR - Delphi mencionado anteriormente, se pudo llegar a la **selección consensuada** de las alternativas que se presenta a continuación, en donde sus valores relativos se encuentran referenciados a las potencias de la red de los Canales Nacionales Privados:

1. CCNP Vs RTVC 3dB (Potencia en las estaciones del CCNP al doble de las de RTVC)
2. CCNP Vs RTVC 1.5 dB
3. CCNP Vs RTVC 0.5 dB
4. CCNP Vs RTVC 0 dB (Potencia en las estaciones de CCNP iguales de las de RTVC)

Es preciso indicar que teniendo en cuenta que la ganancia de los sistemas radiantes de las estaciones de RTVC y CCNP son muy similares y que sus estaciones se encuentran en su gran mayoría en los mismos cerros, para realizar este análisis no se hace necesario evaluar su incidencia.

Selección de Criterios:

La selección de los criterios y sus correspondientes niveles fue realizada en consenso con los expertos y cuenta con 6 niveles, los cuales se presentan a continuación:

Nivel Técnico: En este nivel se realiza la agrupación de los criterios y variables técnicas más importantes y que tienen mayor impacto para una eventual Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios pueden ser descompuestos en los siguientes subcriterios:

Potencia. Esta variable tiene en cuenta la potencia a la salida de los transmisores de TDT en las estaciones de transmisión de RTVC comparada con las del CCNP. Como se mencionó anteriormente, no se realiza análisis desde el punto de vista de

la ganancia de los sistemas radiantes por ser similar entre los operadores y tener sus estaciones colocalizadas.

Cobertura Indoor. Esta variable evalúa el impacto que tiene la cobertura para el usuario cuando puede recibir la señal de TDT al interior de su vivienda, sin la necesidad de utilizar una antena aérea en un tejado.

Reutilización Infraestructura. Esta variable evalúa el nivel de reutilización de la infraestructura técnica de las estaciones actualmente desplegadas sin necesidad de que se reemplace la totalidad de los equipos, de acuerdo con las diferentes alternativas propuestas.

Interferencias. Esta variable evalúa los posibles efectos negativos en la calidad de la señal en las áreas de servicio de las estaciones actualmente desplegadas por parte del CCNP al realizar modificaciones en los niveles de potencia de las estaciones de RTVC frente a un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT. Es preciso indicar que no se tuvieron en cuenta las interferencias co-canal debido a que las redes de TDT en Colombia se encuentran configuradas en SFN.

Afectación del Servicio. Esta variable evalúa los efectos generados por las interrupciones del servicio durante las maniobras de Armonización en las estaciones que sean intervenidas.

Ajustes Planificación de Red. Esta variable evalúa la necesidad generada de volver a realizar una Planificación de la Red de TDT de RTVC, debido a la Armonización de las redes de TDT en Colombia.

Nivel Jurídico / Regulatorio. En este nivel se realiza la agrupación de las variables jurídicas y/o regulatorias más importantes y de mayor impacto para la Armonización de las redes de TDT, teniendo en cuenta que cualquier decisión que sea tomada tendrá impactos jurídicos positivos y negativos. Estos criterios pueden ser descompuestos a su vez en los siguientes subcriterios:

Complejidad Contratación. Esta variable evalúa el impacto que tienen las diferentes modalidades de contratación requeridas para la implementación del Plan de Armonización, en virtud de la cantidad de contratistas involucrados y las diferentes modalidades de selección.

Sanciones. Esta variable evalúa las diferentes sanciones fiscales, civiles y disciplinarias debido a una deficiente planeación u omisión en la unificación de criterios previos al despliegue de la red y a la recomendación de los diferentes actores del sector.

Actualización Regulatoria. Esta variable evalúa los efectos de una eventual actualización regulatoria, principalmente aquella relacionada con la posible eliminación de la ANTV debido al ingreso de Colombia a la OCDE [53] con el fin de permitir la implementación de un Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia.

Ajustes Planes de Cobertura. Esta variable evalúa la necesidad de realizar ajustes en los Planes de Cobertura o en la Cobertura Reportada derivadas de la implementación de un Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia.

Nivel Económico. En este nivel se realiza la agrupación de las variables económicas más importantes y de mayor impacto que conllevan las diferentes alternativas que serán consideradas ante un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios se pueden descomponer a su vez en los siguientes subcriterios:

Suministro Nuevos Equipos. Esta variable evalúa el costo asociado en Millones de Euros de suministrar nuevos equipos tanto de transmisión como complementarios ante un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cotizaciones de dichos equipos.

Modificación Equipos. Esta variable evalúa el costo asociado en Millones de Euros para la modificación de los equipos que se encuentran actualmente en operación en

las estaciones y que se deja de invertir en la compra de nuevos equipos. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cotizaciones de dichas modificaciones.

Traslados Activos entre Estaciones. Esta variable evalúa el costo asociado en Millones de Euros para realizar traslados de equipos entre estaciones. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cotizaciones de dichos traslados.

Planes de Contingencia. Esta variable evalúa el costo asociado en Millones de Euros para garantizar la continuidad en la adecuada prestación del servicio de TDT durante las intervenciones en las estaciones, con el fin de evitar las sanciones a que hace referencia la Resolución 4735 de 2015 la CRC. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cotizaciones de dichos planes de contingencia.

Oportunidad de Collocation. Esta variable evalúa que tan atractiva se vuelve desde el punto de vista técnico la infraestructura técnica de la red de transmisión pública nacional de TDT para su utilización por parte de un eventual tercer canal privado de televisión, lo cual generaría ingresos económicos para RTVC de conformidad con la Resolución 5029 de 2016 de la CRC.

Opex. Esta variable evalúa los costos asociados a la operación y mantenimiento de los equipos nuevos y/o modificados en las estaciones objeto de intervención, principalmente aquellos relacionados con el consumo eléctrico.

Detrimento Patrimonial. Esta variable evalúa la posible pérdida de los recursos del erario público en Millones de Euros, ocasionados por el suministro de nuevos equipos, la modificación de los equipos existentes, el traslado entre estaciones, las posibles sanciones por una inadecuada prestación del servicio, entre otras, inherentes a las diferentes alternativas evaluadas y a la necesidad de modificar la potencia actualmente instalada en las estaciones de RTVC. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cálculos de dicho detrimento por parte del experto financiero consultado.

Actualización Información Técnica. Esta variable evalúa los costos asociados a la actualización de la información técnica de la red de transmisión pública de TDT, lo cual incluye los costos asociados a las mediciones de radiaciones no ionizantes, mediciones de cobertura, mediciones de Potencia Radiada Aparente y la

elaboración de los estudios técnicos de las estaciones, de conformidad con las Resoluciones 754 de 2016, 442 de 2017 y Decreto No. 1370 de 2018 de la ANE.

Nivel Político. En este nivel se realiza la agrupación de las variables políticas más importantes y de mayor impacto para el Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios se pueden descomponer a su vez en los siguientes subcriterios:

Liderazgo del Gobierno. Esta variable evalúa la disposición y el apoyo por parte del gobierno central, a través de sus instituciones para permitir y asignar los recursos necesarios para realizar un ajuste en las potencias de las estaciones que ya fueron desplegadas por parte de RTVC.

Impacto Político. Esta variable evalúa el beneficio potencial político que tiene realizar un ajuste de potencias entre las estaciones de la red pública y privada nacional de TDT.

Nivel Social. En este nivel se realiza la agrupación de las variables sociales más importantes y que generan un mayor impacto social ante un eventual Plan de Armonización de las redes de TDT en Colombia. Estos criterios se pueden descomponer a su vez en los siguientes subcriterios.

Cumplimiento Objeto Social TV Pública. Esta variable evalúa el nivel de cumplimiento del objeto social por parte del operador de televisión pública nacional, por medio del cual el estado colombiano propende por brindar contenidos educativos, sociales y culturales a la población colombiana.

Penetración de la TV Pública. Esta variable evalúa nivel de penetración del servicio de la TV Pública generado por el aumento de la cobertura y los niveles de intensidad de campo, donde los televidentes podrán acceder al servicio y disfrutar los contenidos educativos, sociales y culturales.

Fortalecimiento Plataforma TDT. Esta variable evalúa el impacto generado al garantizar que la recepción de las señales de TDT, con independencia del proveedor del servicio, se encuentre en condiciones similares.

Experiencia del Usuario. Esta variable evalúa la mejora en las condiciones de recepción que tienen los usuarios de las señales de la TDT pública como producto del incremento de la potencia radiada efectiva en los sistemas de transmisión de las estaciones a intervenir.

Nivel Ambiental. En este nivel se realiza la agrupación de las variables ambientales más importantes y de mayor impacto que conllevan las diferentes alternativas que serán consideradas ante un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios se pueden descomponer a su vez en los siguientes subcriterios:

Contaminación por Disipación Térmica. Esta variable evalúa el impacto generado por los elementos empleados para disipación térmica en la estación, normalmente en baja potencia se utilizan sistemas de extracción de aire forzado mediante (ventiladores) motores eléctricos y/o sistemas de aire acondicionado cuyo consumo energético es elevado, mientras que, en equipos de alta potencia, la disipación térmica se realiza utilizando un líquido refrigerante no contaminante y sistemas de intercambio de calor altamente eficientes.

Disposición Final Sobrantes. Esta variable evalúa los esfuerzos requeridos para realizar limpieza y retiro de elementos y activos sobrantes en cada una de las estaciones a ser intervenidas con el fin de hacer disposición final de los mismos.

Los Criterios encontrados se resumen a continuación en la tabla 3.2. y se utilizan como insumo para el desarrollo del capítulo 4, en donde gracias a la aplicación del método analítico Jerárquico, es posible establecer que alternativa utilizar para lograr armonizar las redes de TDT en el territorio colombiano.

Tabla 3. 2. Criterios encontrados con el método BOCR-DELPHI

NIVEL	CRITERIO
TÉCNICO	Potencia
	Cobertura Indoor
	Reutilización Infraestructura
	Interferencias
	Afectación del Servicio
	Ajustes Planificación de Red
JURÍDICO / REGULATORIO	Complejidad Contratación
	Sanciones
	Actualización Regulatoria
	Ajustes Planes de Cobertura
ECONÓMICO	Suministro Nuevos Equipos
	Modificación Equipos
	Traslado de Activos entre estaciones
	Planes de Contingencia
	Oportunidad Collocation
	OPEX
	Detrimento Patrimonial
	Actualización Información Técnica
POLÍTICO	Liderazgo del Gobierno
	Impacto Político
SOCIAL	Cumplimiento Objeto Social TV Pública
	Penetración de la TV Pública
	Fortalecimiento Plataforma TDT
	Experiencia del Usuario
AMBIENTAL	Contaminación por Disipación Térmica
	Disposición Final sobrantes

4. DETERMINACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA PARA LA ARMONIZACIÓN DE LAS REDES NACIONALES DE TDT EN COLOMBIA.

En este capítulo se sintetiza la visión que tienen algunos expertos en tecnologías relacionadas con la Televisión Digital Terrestre (TDT), en contratación pública y temas financieros relacionados con infraestructura de telecomunicaciones, con la finalidad de evaluar y analizar cuál es la mejor alternativa de decisión con respecto a la forma de armonizar las potencias de estas redes en Colombia. Para realizar este proceso, se tendrán como referentes los contenidos analizados en capítulos anteriores y adicional a esto, se complementará la información, con la perspectiva que tienen los expertos al momento de 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 se hacen necesarios para valorar de buena forma las alternativas seleccionadas.

4.1 LA TOMA DE DECISIONES.

El ser humano se enfrenta a la toma de decisiones diariamente, teniendo a su disposición un sinnúmero de posibilidades de las cuales debe ser seleccionada la que más supla sus necesidades [54]. La mayoría de veces las decisiones tomadas tienen un impacto relevante en un contexto particular, provocando que el decisor experimente una gran cantidad de sensaciones [55].

Se puede juzgar una decisión por el procedimiento que ha requerido, es decir, se puede considerar que se ha tomado una “buena decisión” si ésta ha tenido el mejor procedimiento posible, sin embargo, no es posible considerar de la misma forma una decisión cuyos efectos traen resultados positivos, pero se desconoce la razón o el fundamento por el cual se tomó. Es por esto que la técnica utilizada para tomar una decisión es de vital importancia, ya que cada decisión debe tener un sustento donde explique por qué la alternativa escogida es más acertada que las demás. Una “buena decisión” cuenta con características como [56]:

- Es una decisión en la que se involucran directamente los objetivos principales.
- Se tiene en cuenta toda la información importante.
- Se tienen en cuenta las inclinaciones / preferencias del decisor.

La toma de decisiones es de suma importancia en áreas como la ingeniería, ya que los gerentes de cada proyecto deben tomar decisiones imprescindibles. La incidencia de una decisión en el desarrollo de un proyecto cuenta con efectos negativos o positivos que recaen de forma directa sobre los individuos implicados en el proyecto, en donde hay diferentes perspectivas que deben tenerse en cuenta y que normalmente están en conflicto.

Las razones por las cuales el proceso de toma de decisiones se considera de vital importancia son [57]:

- El aumento de los problemas de decisión como consecuencia del tamaño y complejidad de los proyectos desarrollados actualmente.
- Las empresas adquieren la toma de decisiones como una necesidad para obtener mejores resultados ante la competitividad en el entorno económico.
- La memoria de atención, la disposición a modificar metas, los valores, la selectividad respecto a las adquisiciones y el tratamiento que la información obtiene, limitan al ser humano cuando se dispone a decidir y halla problemas complejos.
- El incremento de responsabilidad en los decisores debido a que cada vez las leyes demandan mejoras en seguridad y calidad de los productos, instalaciones y obras de ingeniería, y, por tanto, mayor austeridad en los documentos y en la dirección de su ejecución.

Para tomar una buena decisión se deben reunir y evaluar previamente factores como: los hechos, el conocimiento y la experiencia. La toma de decisiones se basa comúnmente en las experiencias del decisor o en la similitud de decisiones tomadas previamente que tuvieron resultados positivos, y en pocas ocasiones es influenciado por una técnica sistemática que brinde soporte a la solución del problema.

4.2 EL ANÁLISIS DE TOMA DE DECISIONES MULTICRITERIO

La toma de decisiones en los últimos años ha tomado tanta relevancia, a tal punto que se ha convertido en el área de desarrollo más activa en campos de investigación operativa y gestión de recursos, entre otros campos pertenecientes a la ciencia de la decisión [58].

El análisis de decisiones multicriterio MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) es una metodología perteneciente al área de toma de decisiones multicriterio MCDM (Multi Criteria Decision Making), que permite ayudar al decisor a tomar decisiones donde se involucran varios puntos de vista, teniendo en cuenta una amplia lista de conceptos, métodos y técnicas [59].

Esta metodología, evalúa cada opción para saber cuál es la más óptima, involucrando áreas de matemática aplicada, la investigación operativa y las ciencias de la administración [60]. A finales de los años cincuenta del siglo XX, tomó gran importancia con la publicación de la revista, el Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, en la cual se trataron temas relacionados con los paradigmas de la época, la toma de decisiones monocriterio y una novedosa propuesta, la toma de decisiones multicriterio [61], [62]. Esta última fue implementada en gran parte de las investigaciones del momento, gracias a que facilita a los proyectistas el tomar decisiones con problemas complejos, que necesitan el procesamiento de una amplia cantidad de información y que precisan de un apoyo con el cual llegar a una decisión debidamente argumentada [63], [64].

Por lo anterior, es frecuente que el proceso de toma de decisiones implique tener en cuenta varios criterios que le permitan al decisor descomponer adecuadamente un problema y de esa forma poder valorar en un paso posterior cada uno de esos criterios en las alternativas encontradas [65].

Por otra parte, dentro de las técnicas multicriterio desarrolladas para encontrar la alternativa que mejor cumple con los requisitos establecidos están: 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 en [66], [67], [68], [69], [70] se utiliza esta técnica para elegir la tecnología más adecuada en zonas determinadas, gracias a su eficiencia a la hora de evaluar criterios subjetivos y poder desplazar la realidad a la razón.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se observa que esta metodología se acomoda y complementa bastante bien al planteamiento de seleccionar la opción adecuada para este proyecto.

En qué consiste el método AHP (Analytic Hierarchy Process)

El PAJ es una técnica estructurada y sólida científicamente, desarrollada por Thomas L. Saaty en los setenta, que facilita la toma de decisiones complejas, la cual hasta el momento ha tenido un gran número de estudios, ya que facilita la comprensión de decisiones por medio de un marco racional y comprensivo y le permite al decisor cuantificar los elementos que posee para que los compare con los objetivos generales del proyecto y basado en esto genere alternativas de solución. Esta técnica está asociada en diferentes campos, tales como el gobierno, negocios, industria, salud y educación [50].

En primera instancia los decisores que utilizan el PAJ fragmentan el problema de decisión en una jerarquía descendente, en el cual el puesto más alto se ubica el objetivo principal del problema, seguido de este, se encuentran los criterios que permiten la fácil comprensión del problema la cual se da gracias a la independización de cada criterio y finalmente en la base se ubican las posibles opciones a tener cuenta. El diseño de esta pirámide requiere de un conocimiento total sobre el tema y de la mayor cantidad posible de información [54].

Una vez estructurada la pirámide, los decisores tienen la posibilidad de comparar cada alternativa por grupos de dos, buscando establecer el aporte de cada opción al elemento del nivel más alto de donde se encuentran estipulados. Al momento de comparar el decisor puede utilizar datos específicos sobre los componentes, o puede basarse en sus experiencias sobre la importancia de cada elemento. Es fundamental para esta técnica que las experiencias del decisor, y no solo la información objetiva, puedan ser usadas para la resolución de problemas [71]. La evaluación de a parejas se realizan por ratios de preferencia (si se comparan opciones) o ratios de importancia (si se comparan criterios), que se evalúan según una escala numérica propuesta.

Esta comparación conlleva a un establecimiento de prioridades. El PAJ permite convertir estas evaluaciones a valores numéricos para que estos elementos sean racionales y consistentes. Lo que diferencia al PAJ de otras metodologías con el mismo fin es que las prioridades numéricas son calculadas para cada una de las opciones y así poder conocer cuál es la alternativa que más se acomoda al cumplimiento del objetivo.

El método PAJ es crucial cuando es difícil asignarles un valor numérico a los elementos importantes, o cuando la comunicación entre los involucrados es escasa. Esta técnica puede ser aplicada cuando [72]; a través de:

- Selección: Elegir entre diferentes alternativas planteadas.

- Clasificación: Ordenar un determinado conjunto de alternativas dependiendo de un criterio inicial.
- Priorización: Señalar con precisión un conjunto de alternativas.
- Asignación de recursos: Determinar los recursos necesarios para las diferentes alternativas.
- Benchmarking: Analizar la competencia, comparando diferentes factores de organización.
- Gestión de la calidad: Controlar y mejorar los factores de calidad.

Se pueden consultar algunos ejemplos de las aplicaciones del PAJ en [73], [74], [75]. El PAJ puede aplicarse tanto por individuos trabajando en decisiones simples como en personas trabajando en equipo para solucionar problemas complejos, que involucran percepciones y juicios humanos, los cuales tienen repercusiones a largo plazo [76]. Los pasos para usar el PAJ, están resumidos en los siguientes pasos [77]:

- Determinar el problema como una jerarquía, el cual debe contener el objetivo de la decisión, las diferentes alternativas para lograr tal objetivo, y los criterios para evaluar esas alternativas.
- Establecer las prioridades de los elementos de la jerarquía haciendo una serie de juicios, mediante el método de comparación por pares de elementos, es decir, por ejemplo, se comparan posibles compras de bienes raíces, en lo cual los inversionistas pueden decir si ellos prefieren la ubicación sobre el precio y al precio más que el estilo.
- Sintetizar los juicios.
- Analizar los juicios para determinar si hay inconsistencias.
- Establecer una conclusión basada en los resultados de haber aplicado los pasos anteriores, para así llegar a la decisión final.

A continuación, se explica cada uno de los pasos anteriores:

Modelar el problema como una jerarquía

Este primer paso consiste en establecer la complejidad del problema, para que cada participante tenga un concepto general y puntual de este. De este modo la información se va estructurando [77].

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. En la Figura 4.1, se puede apreciar un modelo de la jerarquía PAJ, en la que el objetivo general está en el nivel superior, los criterios en el nivel intermedio y las alternativas en el nivel inferior.

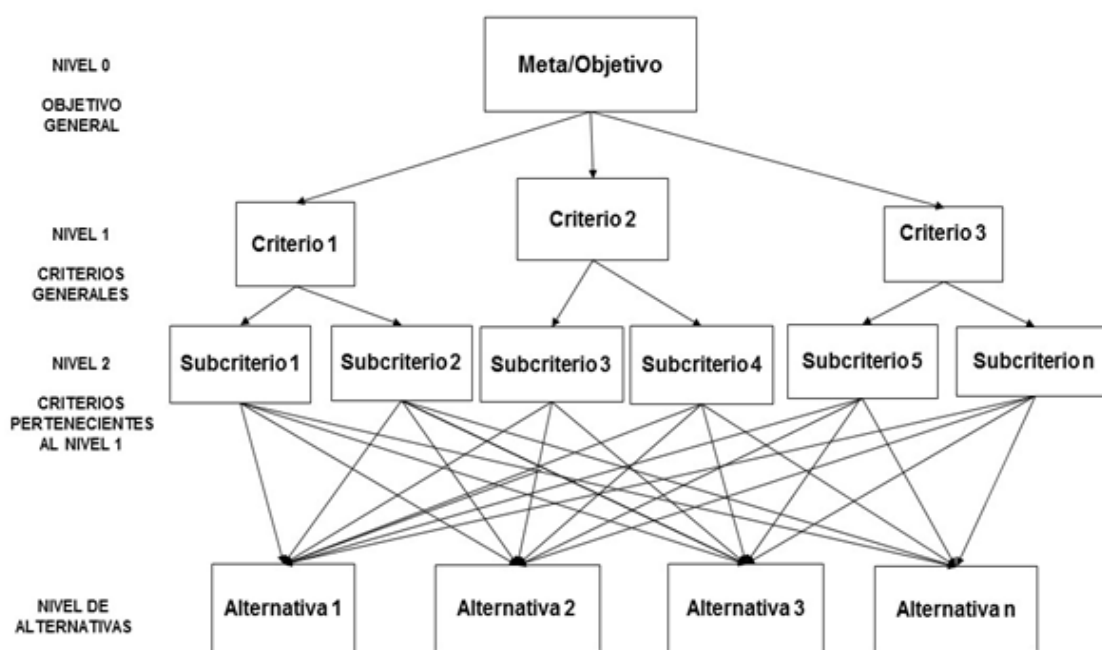


Figura 4.1. Jerarquía del modelo AHP, Adaptado de [54]

Establecer prioridades

Después de construir la jerarquía, los participantes establecen prioridades para cada uno de los niveles, esta información se procesa matemáticamente. En este paso se establece una lista que evalúa la importancia que se otorga a cada criterio. Se debe tener en cuenta que la suma ponderada por cada nivel debe ser la unidad.

Sintetizar los juicios

Asignar un valor numérico a cada criterio, esto se puede realizar de dos formas, la primera es mediante una escala definida que correlaciona la importancia de los criterios en términos cualitativos con valores cuantitativos (asignación directa) o mediante técnicas de comparación entre criterios (asignación indirecta).

Algunas escalas para realizar la asignación directa se encuentran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Tabla para valoración directa de Saaty

Escala Numérica^a	Escala Verbal	Explicación
1	Relevancia Equivalente	Ambos componentes aportan de igual forma a la propiedad o criterio
3	Relevancia moderada de un componente con respecto al otro	El juicio y la comprobación previa benefician a un componente frente al otro
5	Repetidamente un componente es más relevante que en otro	El juicio y la comprobación previa benefician mayormente a un componente frente al otro
7	Mayor relevancia de un componente	Un componente controla fuertemente y su control está medido en práctica
9	Relevancia muy superior de un componente con respecto al otro	Un componente controla al otro con el mayor orden de magnitud posible

Los valores 2, 4, 6 y 8 suelen utilizarse en situaciones intermedias, y las cifras decimales en estudios de gran precisión [78].

Revisar la consistencia de los juicios

Verificar que la matriz resultante no tiene inconsistencias, es decir que los resultados no sean contradictorios a los criterios dados, por ejemplo, se han hecho valoraciones en las

que $A > B$ y $B > C$, si en los resultados se obtiene que $C > A$, se dice que la matriz es inconsistente, en caso contrario la matriz es consistente. Mediante el índice de consistencia [77], se puede determinar qué tan consistentes son los juicios y se utiliza para mejorar la consistencia de estos con el número apropiado de la Tabla 4.2, que dependiendo del tamaño de la matriz, muestra el índice de consistencia aleatorio (RI).

Tabla 4.2. Índice de consistencia aleatorio (RI) en función de la dimensión de la matriz(n) [53]

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
RIA	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

El índice de consistencia aleatoria (RI) se obtiene de la simulación de 100.000 matrices recíprocas, generadas aleatoriamente mediante la escala de Saaty (1/9,1/8,...,1,...,8,9). El RI y el índice de consistencia (CI) son de vital importancia para calcular el ratio de consistencia (CR). El CI se calcula como se muestra en la ecuación 4.1 [77]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4.1)$$

El λ máximo se obtiene de hacer la suma ponderada de cada celda del vector prioridad de cada criterio, este resultado se divide por el vector prioridad y esto se suma con los resultados evaluados en los demás criterios, con este resultado se calcula la media aritmética.

Teniendo el RI y el CI, se procede a calcular el CR, mediante la Ecuación 4.2:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.2)$$

Si CR vale 0,10 o menos, el auto vector de pesos se admite como válido. Para $n=3$ el umbral es 0.05, para $n=4$ es 0.08, y para $n=5$, si CR es mayor que 0.10, se debe analizar el problema de nuevo.

Llegar a una decisión final

Luego de realizar todos los pasos anteriores se debe llegar a una decisión final, obtenida de la alternativa con mayor ponderación. Para esto se puede emplear métodos de sobre

cualificación, como los son: ELECTRE y PROMETHEE, pero la propuesta más completa es la de Saaty ya que permite hacer un análisis de sensibilidad a la alternativa escogida [79].

4.3 DETERMINACIÓN DE LA SOLUCIÓN A IMPLEMENTAR EN LA ARMONIZACIÓN DE LAS REDES DE TDT EN COLOMBIA”.

La realización de una propuesta para la Armonización de las Redes de TDT en Colombia se realiza de conformidad con en el método del proceso analítico jerárquico –AHP, por sus siglas en inglés, el cual presenta las siguientes ventajas:

- Permite trabajar con gran cantidad de información
- Facilita la agregación de opiniones y valoraciones de diferentes expertos
- Facilita la comprensión del método
- Se muestra de forma sencilla para las personas que lo desconocen
- Permite medir el nivel de consistencia de los juicios de los expertos.
- Permite realizar un análisis de sensibilidad (a través de un software)
- El software facilita la forma de presentar comparaciones entre las diferentes alternativas al variar los pesos de niveles y criterios.

En concordancia con lo anterior, para poder utilizar este método se hace necesario incluir la opinión de diferentes expertos con los cuales se realizan la selección de los diferentes criterios de decisión, y se valoran las alternativas y los criterios de decisión, de conformidad con la siguiente serie de pasos, propuestos en [79].

1. Determinación del objeto de estudio.
2. Elección de las alternativas.
3. Elección de expertos.
4. Elección de los criterios de decisión.
5. Análisis de dominancia
6. Ponderación de los criterios.
7. Valoración de las alternativas según cada criterio.
8. Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas.
9. Análisis de resultados.

A continuación, se muestra el desarrollo de cada uno de estos 9 pasos.

1.1. Determinación del objeto de estudio

El objeto de estudio fue definido en el capítulo 3 como: Determinar la mejor alternativa para realizar una propuesta que le permita a los usuarios del servicio de TDT tener similares condiciones para el acceso al servicio, con independencia del proveedor del mismo.

Sin embargo, para vincular la técnica de toma de decisiones multicriterio que se desea implementar, el objeto de estudio se complementa y se define de la siguiente forma:

Seleccionar la mejor alternativa con el fin de realizar una Propuesta para la Armonización de las Redes de transmisión de Televisión Digital Terrestre pública y privada en Colombia, a través de la utilización de la técnica de toma de decisiones multicriterio AHP.

1.2. Selección de alternativas

Las alternativas seleccionadas se identificaron en el capítulo 3, sin embargo, se resumen en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Resumen de selección de alternativas

# Alternativa	Descripción
1	CCNP Vs RTVC 3dB
2	CCNP Vs RTVC 1.5 dB
3	CCNP Vs RTVC 0.5 dB
4	CCNP Vs RTVC 0 dB

1.3. Selección de los expertos

Los expertos utilizados fueron los mismos que se identificaron en el capítulo 3 y se resumen en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Selección de expertos

Experto	Perfil
Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional de Colombia	PhD(c) en Ingeniería de Telecomunicaciones, con amplia experiencia en investigación y gran conocimiento en normatividad, redes de nueva generación y política del sector TIC.

Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital de Colombia	MBA, especialista en Gerencia de Empresas de Telecomunicaciones, con más de 20 años de experiencia en temas técnicos y regulatorios relacionados con redes de transmisión de radio y televisión. Su experiencia profesional incluye cargos como jefe técnico de canales regionales, nacionales y del ente regulador de televisión.
Ingeniero Electrónico de la Universidad El Bosque	Especialista en Gerencia de Proyectos de Ingeniería de Telecomunicaciones, con 10 años de experiencia en temas técnicos relacionados con redes de transmisión de televisión analógica y digital terrestre y ventas técnicas de tecnologías de radiodifusión y medios.
Abogada de la Universidad Nacional de Colombia	Especialista en Derecho Privado Económico y Derecho Administrativo, con 10 años de experiencia en contratación pública, investigación y docencia.
Economista de la Universidad Externado de Colombia	Magister en Economía de la misma universidad con más de 15 años de experiencia en manejo de presupuestos en diferentes compañías de los sectores público y privado.

1.4. Selección de los criterios de decisión

Los criterios seleccionados se definieron en el capítulo 3, sin embargo, se hace necesario agruparlos en 6 niveles y presentarlos en el presente capítulo, así mismo definir si cada uno de estos criterios se deben maximizar o minimizar. Los niveles resultantes se describen en la tabla 4.5

Tabla 4.5. Niveles de criterios seleccionados

ID	NIVEL	CRITERIO	MAX / MIN
C1.1	1. TÉCNICO	Potencia	MAX
C1.2		Cobertura Indoor	MAX
C1.3		Reutilización Infraestructura	MAX
C1.4		Interferencias	MIN
C1.5		Afectación del Servicio	MIN
C1.6		Ajustes Planificación de Red	MIN
C2.1	2. JURIDICO / REGULATORIO	Complejidad Contratación	MIN
C2.2		Sanciones	MIN
C2.3		Actualización Regulatoria	MIN
C2.4		Ajustes Planes de Cobertura	MIN
C3.1	3. ECONÓMICO	Suministro Nuevos Equipos [M€]	MIN
C3.2		Modificación Equipos [M€]	MAX
C3.3		Traslado de Activos entre estaciones [M€]	MIN

ID	NIVEL	CRITERIO	MAX / MIN
C3.4		Planes de Contingencia [M€]	MIN
C3.5		Oportunidad Collocation	MAX
C3.6		OPEX	MIN
C3.7		Detrimento Patrimonial [M€]	MIN
C3.8		Actualización Información Técnica [M€]	MIN
C4.1	4. POLÍTICO	Liderazgo del Gobierno	MAX
C4.2		Impacto Político	MAX
C5.1	5. SOCIAL	Cumplimiento Objeto Social TV Pública	MAX
C5.2		Penetración de la TV Pública	MAX
C5.3		Fortalecimiento Plataforma TDT	MAX
C5.4		Experiencia del Usuario	MAX
C6.1	6. AMBIENTAL	Contaminación por Disipación Térmica	MIN
C6.2		Disposición Final sobrantes	MAX

C1. Nivel Técnico: En este nivel se realiza la agrupación de los criterios y variables técnicas más importantes y que tienen mayor impacto para una eventual Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios pueden ser descompuestos en los siguientes subcriterios:

C1.1 Potencia (Maximizar). Esta variable tiene en cuenta la potencia a la salida de los transmisores de TDT en las estaciones de transmisión de RTVC comparada con las del CCNP. Como se mencionó anteriormente, no se realiza análisis desde el punto de vista de la ganancia de los sistemas radiantes por ser similar entre los operadores y tener sus estaciones colocalizadas.

C1.2 Cobertura Indoor (Maximizar). Esta variable evalúa el impacto que tiene la cobertura para el usuario cuando puede recibir la señal de TDT al interior de su vivienda, sin la necesidad de utilizar una antena aérea en un tejado.

C1.3. Reutilización Infraestructura (Maximizar). Esta variable evalúa el nivel de reutilización de la infraestructura técnica de las estaciones actualmente desplegadas sin necesidad de que se reemplace la totalidad de los equipos, de acuerdo con las diferentes alternativas propuestas.

C1.4 Interferencias (Minimizar). Esta variable evalúa los posibles efectos negativos en la calidad de la señal en las áreas de servicio de las estaciones actualmente desplegadas por parte del CCNP al realizar modificaciones en los niveles de potencia de las estaciones de RTVC frente a un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT. Es preciso indicar que no se tuvieron en cuenta las interferencias co-canal debido a que las redes de TDT en Colombia se encuentran configuradas en SFN.

C1.5 Afectación del Servicio (Minimizar). Esta variable evalúa los efectos generados por las interrupciones del servicio durante las maniobras de Armonización en las estaciones que sean intervenidas.

C1.6 Ajustes Planificación de Red (Minimizar). Esta variable evalúa la necesidad generada de volver a realizar una Planificación de la Red de TDT de RTVC, debido a la Armonización de las Redes de TDT en Colombia.

C2. Nivel Jurídico / Regulatorio. En este nivel se realiza la agrupación de las variables jurídicas y/o regulatorias más importantes y de mayor impacto para la Armonización de las Redes de TDT, teniendo en cuenta que cualquier decisión que sea tomada tendrá impactos jurídicos positivos y negativos. Estos criterios pueden ser descompuestos a su vez en los siguientes subcriterios:

C2.1 Complejidad Contratación (Minimizar). Esta variable evalúa el impacto que tienen las diferentes modalidades de contratación requeridas para la implementación del Plan de Armonización, en virtud de la cantidad de contratistas involucrados y las diferentes modalidades de selección.

C2.2 Sanciones (Minimizar). Esta variable evalúa las diferentes sanciones fiscales, civiles y disciplinarias debido a una deficiente planeación u omisión en la unificación de criterios previos al despliegue de la red y a la recomendación de los diferentes actores del sector.

C2.3 Actualización Regulatoria (Minimizar). Esta variable evalúa los efectos de una eventual actualización regulatoria, principalmente aquella relacionada con la posible eliminación de la ANTV debido al ingreso de Colombia a la OCDE [53], con el fin de permitir la implementación de un Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia.

C2.4 Ajustes Planes de Cobertura (Minimizar). Esta variable evalúa la necesidad de realizar ajustes en los Planes de Cobertura o en la Cobertura Reportada derivadas de la implementación de un Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia.

C3. Nivel Económico. En este nivel se realiza la agrupación de las variables económicas más importantes y de mayor impacto que conllevan las diferentes alternativas que serán consideradas ante un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios se pueden descomponer a su vez en los siguientes subcriterios:

C3.1 Suministro Nuevos Equipos (Minimizar). Esta variable evalúa el costo asociado en Millones de Euros de suministrar nuevos equipos tanto de transmisión como complementarios ante un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cotizaciones de dichos equipos.

C3.2 Modificación Equipos (Maximizar). Esta variable evalúa el costo asociado en Millones de Euros para la modificación de los equipos que se encuentran actualmente en operación en las estaciones y que se deja de invertir en la compra de nuevos equipos. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cotizaciones de dichas modificaciones.

C3.3 Traslados Activos entre Estaciones (Minimizar). Esta variable evalúa el costo asociado en Millones de Euros para realizar traslados de equipos entre estaciones. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cotizaciones de dichos traslados.

C3.4 Planes de Contingencia (Minimizar). Esta variable evalúa el costo asociado en Millones de Euros para garantizar la continuidad en la adecuada prestación del servicio de TDT durante las intervenciones en las estaciones, con el fin de evitar las sanciones a que hace referencia la Resolución 4735 de 2015 la CRC. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cotizaciones de dichos planes de contingencia.

C3.5 Oportunidad de Collocation (Maximizar). Esta variable evalúa que tan atractiva se vuelve desde el punto de vista técnico la infraestructura técnica de la red de transmisión pública nacional de TDT para su utilización por parte de un eventual tercer canal privado de televisión, lo cual generaría ingresos económicos para RTVC de conformidad con la Resolución 5029 de 2016 de la CRC.

C3.6 Opex (Minimizar). Esta variable evalúa los costos asociados a la operación y mantenimiento de los equipos nuevos y/o modificados en las estaciones objeto de intervención, principalmente aquellos relacionados con el consumo eléctrico.

C3.7 Detrimento Patrimonial (Minimizar). Esta variable evalúa la posible pérdida de los recursos del erario público en Millones de Euros, ocasionados por el suministro de nuevos equipos, la modificación de los equipos existentes, el traslado entre estaciones, las posibles sanciones por una inadecuada prestación del servicio, entre otras, inherentes a las diferentes alternativas evaluadas y a la necesidad de modificar la potencia actualmente instaladas en las estaciones de RTVC. Para efectuar esta valoración fue necesario revisar cálculos de dicho detrimento por parte del experto financiero consultado.

C3.8 Actualización Información Técnica (Minimizar). Esta variable evalúa los costos asociados a la actualización de la información técnica de la red de transmisión pública de TDT, lo cual incluye los costos asociados a las mediciones de radiaciones no ionizantes, mediciones de cobertura, mediciones de Potencia Radiada Aparente y la elaboración de los estudios técnicos de las estaciones, de conformidad con las Resoluciones 754 de 2016, 442 de 2017 y Decreto No. 1370 de 2018 de la ANE.

C4. Nivel Político. En este nivel se realiza la agrupación de las variables políticas más importantes y de mayor impacto para el Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios se pueden descomponer a su vez en los siguientes subcriterios:

C4.1 Liderazgo del Gobierno (Maximizar). Esta variable evalúa la disposición y el apoyo por parte del gobierno central, a través de sus instituciones para permitir y asignar los recursos necesarios para realizar un ajuste en las potencias de las estaciones que ya fueron desplegadas por parte de RTVC.

C4.2 Impacto Político (Maximizar). Esta variable evalúa el beneficio potencial político que tiene realizar un ajuste de potencias entre las estaciones de la red pública y privada nacional de TDT.

C5. Nivel Social. En este nivel se realiza la agrupación de las variables sociales más importantes y que generan un mayor impacto social ante un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios se pueden descomponer a su vez en los siguientes subcriterios.

C5.1 Cumplimiento Objeto Social TV Pública (Maximizar). Esta variable evalúa el nivel de cumplimiento del objeto social por parte del operador de televisión pública nacional, por medio del cual el estado colombiano propende por brindar contenidos educativos, sociales y culturales a la población colombiana.

C5.2 Penetración de la TV Pública (Maximizar). Esta variable evalúa nivel de penetración del servicio de la TV Pública generado por el aumento de la cobertura y los niveles de intensidad de campo, donde los televidentes podrán acceder al servicio y disfrutar los contenidos educativos, sociales y culturales.

C5.3 Fortalecimiento Plataforma TDT (Maximizar). Esta variable evalúa el impacto generado al garantizar que la recepción de las señales de TDT, con independencia del proveedor del servicio, se encuentren en condiciones similares.

C5.4 Experiencia del Usuario (Maximizar). Esta variable evalúa la mejora en las condiciones de recepción que tienen los usuarios de las señales de la TDT pública como producto del incremento de la potencia radiada efectiva en los sistemas de transmisión de las estaciones a intervenir.

C6. Nivel Ambiental. En este nivel se realiza la agrupación de las variables ambientales más importantes y de mayor impacto que conllevan las diferentes alternativas que serán consideradas ante un eventual Plan de Armonización de las Redes de TDT en Colombia. Estos criterios se pueden descomponer a su vez en los siguientes subcriterios:

C6.1 Contaminación por Disipación Térmica (Minimizar). Esta variable evalúa el impacto generado por los elementos empleados para disipación térmica en la estación, normalmente en baja potencia se utilizan sistemas de extracción de aire forzado mediante (ventiladores) motores eléctricos y/o sistemas de aire acondicionado cuyo

consumo energético es elevado, mientras que, en equipos de alta potencia, la disipación térmica se realiza utilizando un líquido refrigerante no contaminante y sistemas de intercambio de calor altamente eficientes.

C6.2 Disposición Final Sobrantes (Maximizar). Esta variable evalúa los esfuerzos requeridos para realizar limpieza y retiro de elementos y activos sobrantes en cada una de las con el fin de hacer disposición final de los mismos.

1.5. Análisis de Dominancia

Para efectuar un análisis de dominancia se elabora una matriz cuadrada donde el número de filas y columnas corresponde al número de alternativas evaluadas. Esta matriz se utiliza con el fin de establecer cual alternativa domina frente a las otras en cada uno de los criterios evaluados.

Para la construcción de la matriz de dominancia se parte de la matriz de decisión con todos los criterios a maximizar, posteriormente se realiza la resta del valor numérico de cada uno de los criterios de la alternativa i con el valor numérico de cada uno de los criterios de la alternativa j, se llena la diagonal de dicha matriz con un valor de 0 y en la posición (i,j) se escribe la cantidad de criterios en que el resultado de la resta es mayor o igual a 0, es decir, donde se presenta la dominancia de la alternativa. En la Tabla 4.6 se presenta esta matriz de dominancia.

Tabla 4.6. Matriz de dominancia

	3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
3 dB	0	53.85%	53.85%	53.85%
1.5 dB	46.15%	0	46.15%	53.85%
0.5 dB	46.15%	46.15%	0	53.85%
0 dB	46.15%	46.15%	46.15%	0

La interpretación de esta matriz indica que la alternativa de 3 dB, es decir igualar las potencias de las estaciones de la red pública y privada de TDT en Colombia, domina en el 53.85% de los criterios evaluados respecto a las demás alternativas, y pudiera eventualmente ser la más ocionada a ser seleccionada, sin embargo al no haberse

obtenido un óptimo de Pareto (100% de dominancia en todos los criterios de una alternativa frente a las otras), se hace necesario incluir en el análisis los índices de dominancia (D_j/d_i), los cuales son obtenidos al realizar una sumatoria horizontal y vertical y luego realizar su división. En la Tabla 4.7 se presenta esta matriz de dominancia con los índices de dominancia.

Tabla 4.7. Matriz de dominancia con índices de dominancia

	3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB	D_j	D_j/d_i
3 dB	0	14	14	14	42	1.17
1.5 dB	12	0	12	14	38	1.00
0.5 dB	12	12	0	14	38	1.00
0 dB	12	12	12	0	36	0.86
D_i	36	38	38	42		

Esta última matriz nos muestra que la alternativa que cuenta con un mayor índice de dominancia es la de 3 dB, seguida con un empate por las de 1.5 dB y 0.5 dB, con un índice de dominancia de 1, respectivamente. Aparentemente la alternativa de 0dB podría descartarse debido a que, en el análisis de dominancia, es la que presenta el índice más bajo.

No obstante, debido a que la diferencia en los índices de dominancia obtenidos para las diferentes alternativas no es tan considerable, se supone fundamental no descartar ninguna de las 4 alternativas antes de proceder con la ponderación de los criterios de conformidad con el método AHP.

1.6. Ponderación de los criterios

Para determinar los pesos de cada uno de los criterios (padres) así como de los subcriterios (hijos) del árbol de decisión [77], se utilizó la escala de valoración directa de Saaty [80], por medio de la cual se comparan parejas de criterios con el fin de determinar la proporción en la que dependiendo de la alternativa seleccionada, el aporte de un criterio dominaba sobre

el aporte del otro criterio evaluado. Los resultados obtenidos se encuentran en el rango de (0-1), cuya correspondencia está dada por el vector prioridad de la comparación efectuada.

Para algunos criterios del nivel económico, no fue necesario realizar la valoración a través de la escala de Saaty con los expertos, en el entendido que la valoración asignada se encuentra soportada por cotizaciones.

Con el fin de evitar una posible distorsión en la ponderación de los criterios, el proceso tuvo en cuenta únicamente a los expertos necesarios de conformidad con los niveles en evaluación, posteriormente se aplicó la media geométrica a los valores obtenidos con el fin de reducir la subjetividad de cada experto frente a cada criterio. En la Tabla 4.8 se presenta la ponderación de los criterios.

Tabla 4.8. Ponderación Final de los Criterios Según Niveles

Niveles	Técnico	Jurídico / Regulatorio	Económico	Político	Social	Ambiental	Vector prioridad
Técnico	1.0000	0.2717	0.3385	0.2453	0.3010	0.2294	0.0487
Jurídico / Regulatorio	3.6801	1.0000	0.8027	0.6988	0.8027	0.8706	0.1603
Económico	2.9542	1.2457	1.0000	0.4251	0.5610	0.6988	0.1405
Político	4.0760	1.4310	2.3522	1.0000	0.8706	0.5743	0.2103
Social	3.3227	1.2457	1.7826	1.1487	1.0000	0.3264	0.1801
Ambiental	4.3597	1.1487	1.4310	1.7411	3.0639	1.0000	0.2601
Σ	19.3926	6.3429	7.7070	5.2591	6.5991	3.6995	1.0000

Estos resultados muestran que el nivel técnico ha obtenido un valor de 0.0487, lo cual indica que este nivel solamente representa un 4.87% de la valoración de todos los criterios. El resto de niveles se encuentran expresados de forma similar y al totalizarlos obtenemos el 100%.

Así las cosas, estos vectores prioridad encontrados conforme el método de AHP, corresponden a los pesos de los niveles en la valoración de la matriz final de decisión. En las Tablas 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, se muestran los resultados del mismo proceso realizado a los criterios de cada uno de los niveles.

Tabla 4.9. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Técnico

Técnico	Potencia	Cobertura Indoor	Reutilización Infraestructura	Interferencias	Afectación del Servicio	Ajustes Planificación de Red	Vector Prioridad
Potencia	1.0000	0.1788	0.2811	0.3057	0.4055	0.1111	0.0427
Cobertura Indoor	5.5934	1.0000	1.5874	1.0000	1.2599	0.5503	0.2057
Reutilización Infraestructura	3.5569	0.6300	1.0000	1.0772	1.0000	0.3816	0.1431
Interferencias	3.2711	1.0000	0.9283	1.0000	1.2599	0.4807	0.1486
Afectación del Servicio	2.4662	0.7937	1.0000	0.7937	1.0000	1.0000	0.1320
Ajustes Planificación de Red	9.0000	1.8171	2.6207	2.0801	1.0000	1.0000	0.3279
Σ	24.8876	5.4196	7.4176	6.2567	5.9253	3.5238	1.0000

Tabla 4.10. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Jurídico/ Regulatorio

Jurídico / Regulatorio	Complejidad en Contratación	Sanciones	Actualización Regulatoria	Ajustes Planes de Cobertura	Vector Prioridad
Complejidad en Contratación	1.0000	0.1111	0.2000	0.3333	0.0549
Sanciones	9.0000	1.0000	2.0000	3.0000	0.5004
Actualización Regulatoria	5.0000	0.5000	1.0000	2.0000	0.2835
Ajustes Planes de Cobertura	3.0000	0.3333	0.5000	1.0000	0.1612
Σ	18.0000	1.9444	3.7000	6.3333	1.0000

Tabla 4.11. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Económico

Económico	Suministro Nuevos Equipos	Modificación Equipos	Traslado de Activos entre estaciones	Planes de Contingencia	Oportunidad Collocation	OPEX	Detrimento Patrimonial	Actualización Información Técnica	Vector Prioridad
Suministro Nuevos Equipos	1.0000	0.1429	0.2000	0.1250	0.1429	0.1429	1.0000	0.1111	0.0249
Modificación Equipos	7.0000	1.0000	1.2500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.8333	0.1226
Traslado de Activos entre estaciones	5.0000	0.8000	1.0000	0.5000	0.6667	0.6667	1.0000	0.5000	0.0882
Planes de Contingencia	8.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.2500	1.2500	1.0000	1.0000	0.1437
Oportunidad Collocation	7.0000	1.0000	1.5000	0.8000	1.0000	1.0000	7.0000	0.8333	0.1753
OPEX	7.0000	1.0000	1.5000	0.8000	1.0000	1.0000	7.0000	0.8333	0.1753
Detrimento Patrimonial	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.1429	0.1429	1.0000	0.1111	0.0470
Actualización Información Técnica	9.0000	1.2000	2.0000	1.0000	1.2000	1.2000	9.0000	1.0000	0.2229
Σ	45.0000	7.1429	10.4500	6.2250	6.4024	6.4024	28.0000	5.2222	1.0000

Tabla 4.12. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Político

Político	Liderazgo del Gobierno	Impacto Político	Vector Prioridad
Liderazgo del Gobierno	1.0000	0.1429	0.1250
Impacto Político	7.0000	1.0000	0.8750
Σ	8.0000	1.1429	1.0000

Tabla 4.13. Ponderación Final de los Criterios del Nivel social

Social	Cumplimiento Objeto Social TV Pública	Penetración de la TV Pública	Fortalecimiento Plataforma TDT	Experiencia del usuario	Vector Prioridad
Cumplimiento Objeto Social TV Pública	1.0000	0.1111	0.2000	0.1111	0.0413
Penetración de la TV Pública	9.0000	1.0000	2.0000	1.0000	0.3777
Fortalecimiento Plataforma TDT	5.0000	0.5000	1.0000	0.5000	0.2034
Experiencia del usuario	9.0000	1.0000	2.0000	1.0000	0.3777
Σ	24.0000	2.6111	5.2000	2.6111	1.0000

Tabla 4.14. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Ambiental

Ambiental	Contaminación por Disipación Térmica.	Disposición Final sobrantes	Vector Prioridad
Contaminación por Disipación Térmica	1.0000	0.2000	0.1667
Disposición Final sobrantes	5.0000	1.0000	0.8333
Σ	6.0000	1.2000	1.0000

1.7. Valoración de las alternativas según cada criterio

Para realizar la valoración de las alternativas según cada criterio, se acudió nuevamente a utilizar la media geométrica de los valores obtenidos al realizar la ponderación de los pesos de los niveles, así como de los criterios; es decir, se realizó la comparación por pares de los criterios y subcriterios evaluados por parte de los expertos para cada una de las alternativas.

En la Tabla 4.15, se presenta el resultado de esta valoración, cuyo vector prioridad de las comparaciones por pares de cada experto, representa el peso del criterio y subcriterio, respectivamente.

Tabla 4.15. Valoración de las alternativas

ID	NIVEL	PESOS CRITERIOS	CRITERIO	MAX / MIN	PESOS SUB CRITERIOS	VALORACIÓN ALTERNATIVAS			
						3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
C1.1	1. TÉCNICO	0.0487	Potencia	MAX	0.0427	2.0801	4.2172	7.0000	9.0000
C1.2		0.0487	Cobertura Indoor	MAX	0.2057	1.0000	3.0000	7.0000	9.0000
C1.3		0.0487	Reutilización Infraestructura	MAX	0.1431	7.6117	5.5934	3.5569	3.0000
C1.4		0.0487	Interferencias	MIN	0.1486	1.0000	2.0801	3.5569	6.2573
C1.5		0.0487	Afectación del Servicio	MIN	0.1320	1.4422	3.5569	4.7177	6.8041
C1.6		0.0487	Ajustes Planificación de Red	MIN	0.3279	1.4422	4.2172	5.2776	6.2403
C2.1	2. JURIDICO / REGULATORIO	0.1603	Complejidad Contratación	MIN	0.0549	9.0000	5.0000	3.0000	1.0000
C2.2		0.1603	Sanciones	MIN	0.5004	3.0000	5.0000	5.0000	7.0000
C2.3		0.1603	Actualización Regulatoria	MIN	0.2835	3.0000	7.0000	7.0000	9.0000
C2.4		0.1603	Ajustes Planes de Cobertura	MIN	0.1612	1.0000	3.0000	5.0000	7.0000
C3.1	3. ECONÓMICO	0.1405	Suministro Nuevos Equipos [M€]	MIN	0.0249	2.4140	5.3490	10.8310	22.1762
C3.2		0.1405	Modificación Equipos [M€]	MAX	0.1226	5.2560	3.4720	2.6320	1.4130
C3.3		0.1405	Traslado de Activos entre estaciones [M€]	MIN	0.0882	0.3173	0.7151	1.1375	1.8532
C3.4		0.1405	Planes de Contingencia [M€]	MIN	0.1437	0.0476	0.1073	0.1706	0.2780
C3.5		0.1405	Oportunidad Collocation	MAX	0.1753	1.0000	3.0000	5.0000	9.0000
C3.6		0.1405	OPEX	MIN	0.1753	1.0000	3.0000	5.0000	9.0000
C3.7		0.1405	Detrimento Patrimonial [M€]	MIN	0.0470	8.8349	10.6434	15.9711	27.2204
C3.8		0.1405	Actualización Información Técnica [M€]	MIN	0.2229	0.8000	1.0000	1.2000	1.5000
C4.1	4. POLÍTICO	0.2103	Liderazgo del Gobierno	MAX	0.1250	3.0000	5.0000	7.0000	9.0000

ID	NIVEL	PESOS CRITERIOS	CRITERIO	MAX / MIN	PESOS SUB CRITERIOS	VALORACIÓN ALTERNATIVAS			
						3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
C4.2		0.2103	Impacto Político	MAX	0.8750	1.0000	3.0000	5.0000	9.0000
C5.1	5. SOCIAL	0.1801	Cumplimiento Objeto Social TV Pública	MAX	0.0413	1.0000	3.5569	5.5934	7.6117
C5.2		0.1801	Penetración de la TV Pública	MAX	0.3777	1.0000	5.0000	7.0000	9.0000
C5.3		0.1801	Fortalecimiento Plataforma TDT	MAX	0.2034	1.0000	3.0000	5.0000	9.0000
C5.4		0.1801	Experiencia del Usuario	MAX	0.3777	1.0000	3.6801	6.1185	9.0000
C6.1	6. AMBIENTAL	0.2601	Contaminación por Disipación Térmica	MIN	0.1667	1.0000	3.5569	6.2573	9.0000
C6.2		0.2601	Disposición Final sobrantes	MAX	0.8333	1.0000	5.0000	7.0000	9.0000

1.8. Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas

A partir de la matriz de decisión inicial (Ver Tabla 4.16), se calculó el inverso de aquellos valores que se encontraban a minimizar, con el fin de dejar la matriz de decisión con todos sus criterios a maximizar y poder operarla de manera adecuada para el cálculo de la prioridad global. Posteriormente, se aplicaron los métodos de normalización distributivo e ideal [77], en virtud a que ambos métodos conservan la proporcionalidad entre los datos.

Tabla 4.16. Matriz de decisión

ID	NIVEL	PESOS CRITERIOS	CRITERIO	MAX / MIN	PESOS CRITERIOS	VALORACIÓN ALTERNATIVAS			
						3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
C1.1	1. TÉCNICO	0.0487	Potencia	MAX	0.0427	2.0801	4.2172	7.0000	9.0000
C1.2		0.0487	Cobertura Indoor	MAX	0.2057	1.0000	3.0000	7.0000	9.0000
C1.3		0.0487	Reutilización Infraestructura	MAX	0.1431	7.6117	5.5934	3.5569	3.0000
C1.4		0.0487	Interferencias	MAX	0.1486	1.0000	0.4807	0.2811	0.1598
C1.5		0.0487	Afectación del Servicio	MAX	0.1320	0.6934	0.2811	0.2120	0.1470
C1.6		0.0487	Ajustes Planificación de Red	MAX	0.3279	0.6934	0.2371	0.1895	0.1602

ID	NIVEL	PESOS CRITERIOS	CRITERIO	MAX / MIN	PESOS CRITERIOS	VALORACIÓN ALTERNATIVAS			
						3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
C2.1	2. JURÍDICO / REGULATORIO	0.1603	Complejidad Contratación	MAX	0.0549	0.1111	0.2000	0.3333	1.0000
C2.2		0.1603	Sanciones	MAX	0.5004	0.3333	0.2000	0.2000	0.1429
C2.3		0.1603	Actualización Regulatoria	MAX	0.2835	0.3333	0.1429	0.1429	0.1111
C2.4		0.1603	Ajustes Planes de Cobertura	MAX	0.1612	1.0000	0.3333	0.2000	0.1429
C3.1	3. ECONÓMICO	0.1405	Suministro Nuevos Equipos [M€]	MAX	0.0249	0.4143	0.1870	0.0923	0.0451
C3.2		0.1405	Modificación Equipos [M€]	MAX	0.1226	5.2560	3.4720	2.6320	1.4130
C3.3		0.1405	Traslado de Activos entre estaciones [M€]	MAX	0.0882	3.1516	1.3984	0.8791	0.5396
C3.4		0.1405	Planes de Contingencia [M€]	MAX	0.1437	21.0106	9.3227	5.8608	3.5974
C3.5		0.1405	Oportunidad Collocation	MAX	0.1753	1.0000	3.0000	5.0000	9.0000
C3.6		0.1405	OPEX	MAX	0.1753	1.0000	0.3333	0.2000	0.1111
C3.7		0.1405	Detrimento Patrimonial [M€]	MAX	0.0470	0.0852	0.1224	0.1445	0.1782
C3.8		0.1405	Actualización Información Técnica [M€]	MAX	0.2229	1.2500	1.0000	0.8333	0.6667
C4.1	4. POLÍTICO	0.2103	Liderazgo del Gobierno	MAX	0.1250	3.0000	5.0000	7.0000	9.0000
C4.2		0.2103	Impacto Político	MAX	0.8750	1.0000	3.0000	5.0000	9.0000
C5.1	5. SOCIAL	0.1801	Cumplimiento Objeto Social TV Pública	MAX	0.0413	1.0000	3.5569	5.5934	7.6117
C5.2		0.1801	Penetración de la TV Pública	MAX	0.3777	1.0000	5.0000	7.0000	9.0000
C5.3		0.1801	Fortalecimiento Plataforma TDT	MAX	0.2034	1.0000	3.0000	5.0000	9.0000
C5.4		0.1801	Experiencia del Usuario	MAX	0.3777	1.0000	3.6801	6.1185	9.0000
C6.1	6. AMBIENTAL	0.2601	Contaminación por Disipación Térmica	MAX	0.1667	1.0000	0.2811	0.1598	0.1111
C6.2		0.2601	Disposición Final sobrantes	MAX	0.8333	1.0000	5.0000	7.0000	9.0000

Una vez obtenidos estos valores maximizados y normalizados, se procede a realizar la multiplicación directa de estos valores por los vectores prioridad (pesos) obtenidos anteriormente de cada uno de los criterios. Finalmente, con el propósito de encontrar la mejor alternativa para realizar la propuesta para la Armonización de las Redes de TDT en Colombia, se realiza la suma vertical y se selecciona la alternativa con mayor valor, aplicando el método distributivo (Tabla 4.17) y el método ideal (Tabla 4.18).

Tabla 4.17. Cálculo de la Prioridad Global (Método Distributivo)

NIVEL	CRITERIO	EVALUACIÓN MÉTODO DISTRIBUTIVO			
		3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
1. TÉCNICO	Potencia	0.0002	0.0004	0.0007	0.0008
	Cobertura Indoor	0.0005	0.0015	0.0035	0.0045
	Reutilización Infraestructura	0.0027	0.0020	0.0013	0.0011
	Interferencias	0.0038	0.0018	0.0011	0.0006
	Afectación del Servicio	0.0033	0.0014	0.0010	0.0007
	Ajustes Planificación de Red	0.0086	0.0030	0.0024	0.0020
2. JURÍDICO / REGULATORIO	Complejidad Contratación	0.0006	0.0011	0.0018	0.0053
	Sanciones	0.0305	0.0183	0.0183	0.0131
	Actualización Regulatoria	0.0208	0.0089	0.0089	0.0069
	Ajustes Planes de Cobertura	0.0154	0.0051	0.0031	0.0022
3. ECONÓMICO	Suministro Nuevos Equipos [M€]	0.0020	0.0009	0.0004	0.0002
	Modificación Equipos [M€]	0.0071	0.0047	0.0036	0.0019
	Traslado de Activos entre estaciones [M€]	0.0065	0.0029	0.0018	0.0011
	Planes de Contingencia [M€]	0.0107	0.0047	0.0030	0.0018
	Oportunidad Collocation	0.0014	0.0041	0.0068	0.0123
	OPEX	0.0150	0.0050	0.0030	0.0017
	Detrimento Patrimonial [M€]	0.0011	0.0015	0.0018	0.0022
	Actualización Información Técnica [M€]	0.0104	0.0084	0.0070	0.0056
4. POLÍTICO	Liderazgo del Gobierno	0.0033	0.0055	0.0077	0.0099
	Impacto Político	0.0102	0.0307	0.0511	0.0920
5. SOCIAL	Cumplimiento Objeto Social TV Pública	0.0004	0.0015	0.0023	0.0032
	Penetración de la TV Pública	0.0031	0.0155	0.0216	0.0278
	Fortalecimiento Plataforma TDT	0.0020	0.0061	0.0102	0.0183
	Experiencia del Usuario	0.0034	0.0126	0.0210	0.0309
6. AMBIENTALES	Contaminación por Disipación Térmica	0.0279	0.0079	0.0045	0.0031

NIVEL	CRITERIO	EVALUACIÓN MÉTODO DISTRIBUTIVO			
		3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
	Disposición Final sobrantes	0.0099	0.0493	0.0690	0.0887
RESULTADO GLOBAL MÉTODO DISTRIBUTIVO		20%	20%	26%	34%

Con el fin de ilustrar este paso, el valor obtenido de 0.0002 en la alternativa de 3 dB para el criterio de Potencia, el cual corresponde a 0.0933, valor normalizado por el método distributivo ($= 2,0801 / (2,0801 + 4,2172 + 7,000 + 22,2973)$) multiplicado por el peso de ese criterio (0,0427) y a su vez multiplicado por el peso del nivel técnico (0.0487).

Tabla 4.18. Cálculo de la Prioridad Global (Método Ideal)

NIVEL	CRITERIO	EVALUACIÓN MÉTODO IDEAL			
		3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
1. TÉCNICOS	Potencia	0.0005	0.0010	0.0016	0.0021
	Cobertura Indoor	0.0011	0.0033	0.0078	0.0100
	Reutilización Infraestructura	0.0070	0.0051	0.0033	0.0027
	Interferencias	0.0072	0.0035	0.0020	0.0012
	Afectación del Servicio	0.0064	0.0026	0.0020	0.0014
	Ajustes Planificación de Red	0.0160	0.0055	0.0044	0.0037
2. JURIDICOS / REGULATORIOS	Complejidad Contratación	0.0010	0.0018	0.0029	0.0088
	Sanciones	0.0802	0.0481	0.0481	0.0344
	Actualización Regulatoria	0.0455	0.0195	0.0195	0.0152
	Ajustes Planes de Cobertura	0.0258	0.0086	0.0052	0.0037
3. ECONÓMICOS	Suministro Nuevos Equipos [M€]	0.0015	0.0007	0.0003	0.0002
	Modificación Equipos [M€]	0.0172	0.0114	0.0086	0.0046
	Traslado de Activos entre estaciones [M€]	0.0124	0.0055	0.0035	0.0021
	Planes de Contingencia [M€]	0.0202	0.0090	0.0056	0.0035
	Oportunidad Collocation	0.0027	0.0082	0.0137	0.0246
	OPEX	0.0246	0.0082	0.0049	0.0027
	Detrimento Patrimonial [M€]	0.0032	0.0045	0.0054	0.0066
	Actualización Información Técnica [M€]	0.0313	0.0251	0.0209	0.0167
4. POLÍTICO	Liderazgo del Gobierno	0.0088	0.0146	0.0204	0.0263
	Impacto Político	0.0204	0.0613	0.1022	0.1840
5. SOCIAL	Cumplimiento Objeto Social TV Pública	0.0010	0.0035	0.0055	0.0074
	Penetración de la TV Pública	0.0076	0.0378	0.0529	0.0680
	Fortalecimiento Plataforma TDT	0.0041	0.0122	0.0203	0.0366

NIVEL	CRITERIO	EVALUACIÓN MÉTODO IDEAL			
		3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
	Experiencia del Usuario	0.0076	0.0278	0.0462	0.0680
6. AMBIENTALES	Contaminación por Disipación Térmica	0.0433	0.0122	0.0069	0.0048
	Disposición Final sobrantes	0.0241	0.1204	0.1686	0.2167
RESULTADO GLOBAL POR EL MÉTODO IDEAL		19%	21%	26%	34%

De igual manera como se realizó con el método distributivo, con el fin de ilustrar este paso, el valor obtenido de 0.0005 en la alternativa de 3 dB para el criterio de Potencia, el cual corresponde a 0.2311, valor normalizado por el método ideal ($= 2,0801 / 9$) multiplicado por el peso de ese criterio (0.0427) y a su vez multiplicado por el peso del nivel técnico (0.0487).

1.9. Análisis de resultados e informe final

En el presente capítulo se tuvieron en cuenta los criterios más importantes identificados a partir de una revisión bibliográfica, así como a través el juicio de expertos en la materia con el fin de poder abordar la problemática de una manera holística.

En desarrollo del método AHP fue necesario emplear criterios cualitativos y cuantitativos, para estos primeros se realizaron asignaciones directas por parte de los expertos empleando la escala de Likert [81], la cual a través del cálculo de las medias geométricas redujeron al máximo la posible subjetividad de estos expertos, toda vez que los mismos pertenecían a diferentes actores del sector de la televisión y sus juicios podían estar parcializados en desarrollo de su ejercicio profesional. Para valorar los criterios cuantitativos, se acudió a la revisión de cotizaciones y/o estudios de mercado.

Posteriormente se realizó la comparación entre pares a través de la escala propuesta por Saaty para poder encontrar los vectores prioridad a incluir en la matriz de decisión, en algunos casos fue necesario realizar hasta 6 iteraciones con los expertos debido principalmente por los índices de consistencias de las matrices obtenidas en las comparaciones entre niveles y criterios.

Una vez contamos con la matriz de decisión se procedió a dejar todos los criterios a maximizar y normalizarlos tanto por el método distributivo como por el ideal con el fin de

conservar la proporcionalidad entre los datos. Así las cosas, luego de realizar el cálculo de la prioridad global mediante ambos métodos se obtuvo como resultado que la mejor alternativa para realizar una propuesta de armonizar las redes de TDT en Colombia consiste en igualar los niveles de potencia de las estaciones del operador público nacional con las estaciones del operador privado nacional.

Los pesos obtenidos para los niveles ambientales, políticos y sociales son los más dominantes con 26,0%, 21,0% y 18,0%, respectivamente. Lo anterior es prueba que una vez se ha realizado el despliegue de una red como la de Televisión Digital Terrestre colombiana, el hecho de evaluar la posibilidad de modificarla solamente puede ser sustentada desde los niveles en que se obtuvieron los mayores pesos, donde sus pilares fundamentales aparte de los temas ambientales asociados, corresponden a la experiencia del usuario y la penetración de la TV pública. En consecuencia, de tomarse la decisión anteriormente seleccionada, se deberán realizar los esfuerzos necesarios desde el punto de vista jurídico para estructurar los diferentes modelos de contratación, apropiar los recursos económicos y realizar los ajustes técnicos respectivos.

No obstante lo anterior, a pesar que el peso del nivel técnico es del 4,87% y que la potencia a la salida de los transmisores es de 4,27%, se puede evidenciar la relación directa que existe entre el aumento de potencia y el orden de decisión obtenido, es decir, la alternativa que mejor puntaje obtiene es la que tiene en cuenta el mayor aumento de potencia y en forma contraria, la alternativa que menor puntaje obtiene es la que tiene en cuenta el menor aumento de potencia de las estaciones de RTVC comparadas con las de CCNP, lo cual valida la necesidad de armonizar estas redes.

Finalmente, en el siguiente capítulo se presenta un análisis de sensibilidad con el fin de verificar la robustez de la alternativa seleccionada, así como poder realizar análisis posteriores a través de la variación de los vectores prioridad de los niveles dentro del modelo presentado, y de esta manera poder identificar el efecto de dichas variaciones, con el fin de enriquecer la discusión y dejar a otros investigadores la posibilidad de generar otras propuestas futuras para la Armonización de las Redes de TDT en Colombia.

5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD A LA SELECCIÓN REALIZADA.

De conformidad con lo manifestado en el capítulo anterior, con el fin de demostrar la robustez de la alternativa seleccionada y realizar un análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación del método AHP, en el presente capítulo se realiza un análisis de sensibilidad utilizando el software Expert Choice [50].

El sistema es modelado mediante la asignación de los pesos de los criterios resultantes del proceso matemático del método AHP, los cuales posteriormente son variados con el software, de manera tal que se pueda analizar la manera en la cual la selección de la alternativa puede verse afectada por las variaciones realizadas a estos pesos.

A continuación, se muestran los resultados de realizar variaciones en los pesos de los criterios (no mayores al 10%), y se observará como estos cambios no afectan el resultado obtenido inicialmente, lo que se verá reflejado en que la alternativa **0 dB** seguirá siendo la opción ganadora a pesar de los cambios, o, que alguna de las otras alternativas podrían posicionarse como las opciones a escoger, en caso de que los cambios resulten en que el modelo jerárquico evaluado tenga cierta fragilidad.

5.1 MODELO JERÁRQUICO

El árbol de decisión del modelo se presenta en la Figura 5.1, el cual corresponde a un modelo jerárquico compuesto por 4 niveles. En el primer nivel se encuentra la meta objetivo que se quiere alcanzar al utilizar el método. En el segundo nivel se encuentran los 6 criterios seleccionados, en el tercer nivel los diferentes subcriterios mediante los cuales se realiza la valoración de las alternativas y en el cuarto nivel se encuentran las alternativas a evaluar. Es importante precisar que a pesar que el modelo tiene en cuenta todos los subcriterios, en la figura no se han incluido aquellos correspondientes a los criterios Técnico, Económico, Social y Jurídico con el fin de no presentar una imagen muy recargada.

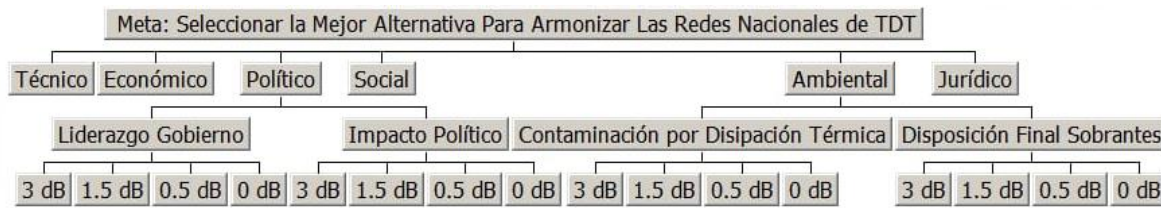


Figura 5.1. Árbol de Decisión. Fuente: Expert Choice

Una vez establecido el modelo jerárquico, se diligencian los campos correspondientes a los vectores prioridad (pesos) obtenidos a través de la valoración de los expertos. En la Figura 5.2 se presentan los pesos calculados mediante el software para todos los criterios, en la cual la variable L corresponde al peso de un criterio con respecto a los demás criterios del mismo nivel y la variable G corresponde al peso relativo que tiene cada criterio dentro del modelo global.

Es preciso indicar que esta figura tiene unos indicadores visuales en forma de cuadros que se encuentran ubicados a la izquierda de cada elemento por nivel, en el cual un cuadro de color verde indica que los pesos relativos han sido ingresados correctamente para el cálculo de la prioridad global. De igual manera, apreciando los niveles de los colores dentro de los cuadros, se puede apreciar gráficamente su peso local. Por ejemplo, si se revisa el subcriterio Sanciones, correspondiente al criterio Jurídico, con el simple nivel del color verde que se muestra en el cuadro, se puede fácilmente identificar que este subcriterio tiene un peso cercano al 50% dentro del nivel Jurídico y así sucesivamente.

Posteriormente, con todos los datos ingresados en el software, se procede a realizar el cálculo de la prioridad global del modelo jerárquico utilizando los métodos distributivo e ideal. El resultado de este proceso se presenta en las Figuras 5.3, y 5.4, respectivamente, en las cuales se ratifican los resultados obtenidos matemáticamente al aplicar el método AHP en el capítulo anterior.



Figura 5.2. Pesos de los Niveles y Subniveles. Fuente: Expert Choice

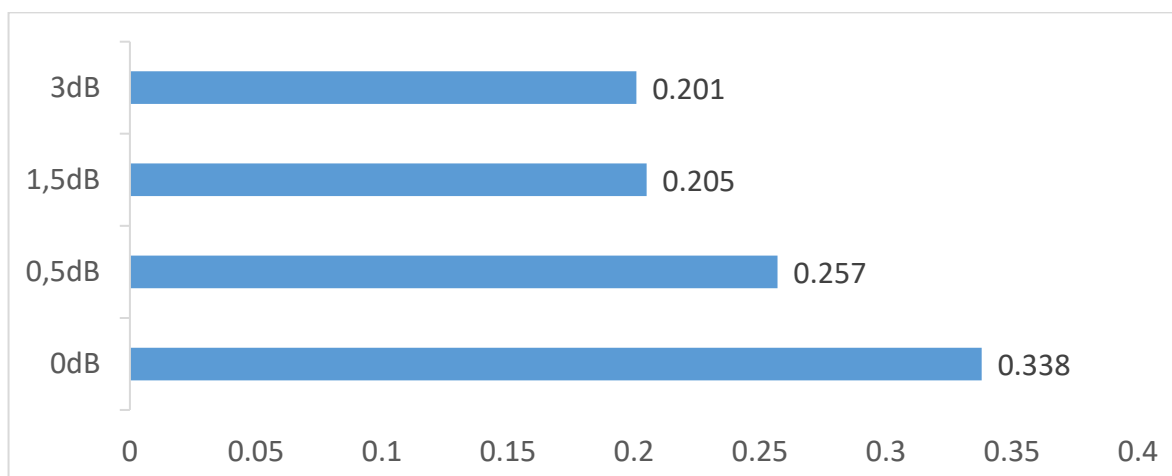


Figura 5.3. Resultado Modo distributivo. Fuente: Simulador

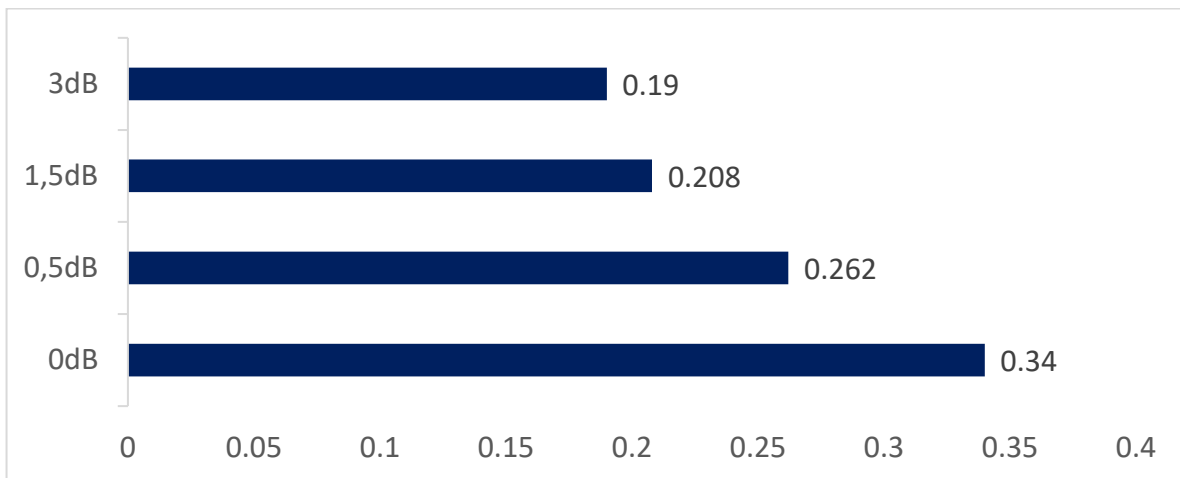


Figura 5.4. Resultado Modo ideal. Fuente: Simulador

5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En la Figura 5.5 se presentan los resultados gráficos del modelo utilizando el diagrama “Performance” Expert Choice, que permite realizar diferentes tipos de variaciones a los pesos de los criterios Técnico, Jurídico, Económico, Político, Social y Ambiental, mediante el cambio de amplitud de uno de los pesos asignados.

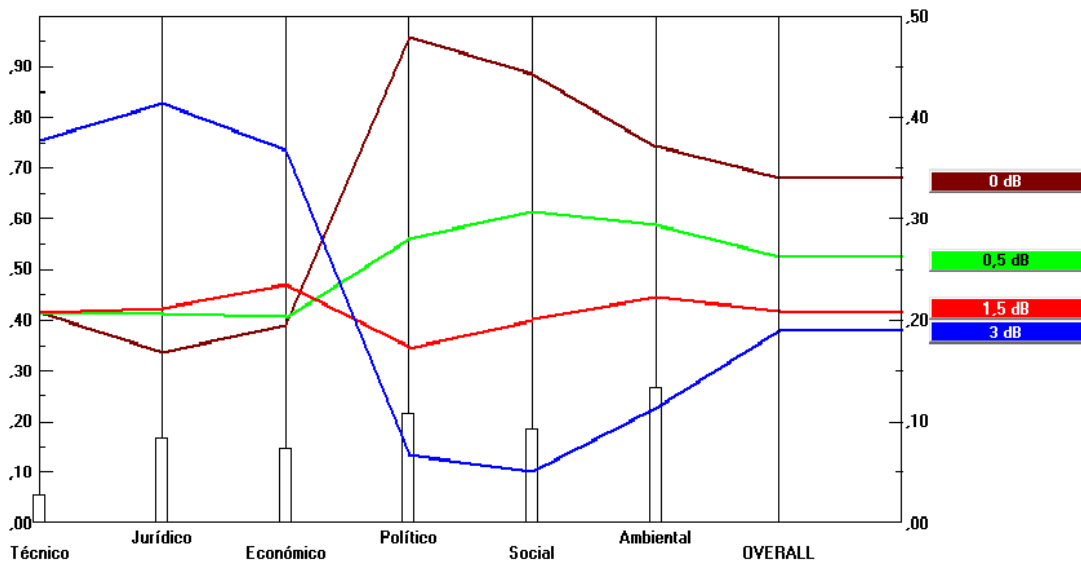


Figura 5.5. Análisis de sensibilidad Modo Distributivo. Fuente: Simulador

Así las cosas, de manera gráfica se puede evidenciar que la alternativa de 0dB es la que obtiene la mayor prioridad, seguida por la de 0,5 dB, 1,5 dB y 3 dB, respectivamente. De igual manera, se puede apreciar que para igualar los niveles de potencia entre ambas redes nacionales de TDT, el mayor obstáculo se tiene en la parte Jurídica pero su mayor baluarte corresponde al Impacto Político.

1. Sensibilidad a la variación del 10%

Las Figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, corresponden al resultado obtenido en el cálculo de la prioridad global al realizar una variación del 10% en los criterios Técnico, Jurídico, Económico, Político, Social y Ambiental, respectivamente. En la Tabla 5.1 se presentan los resultados obtenidos de las variaciones realizadas y sus efectos respectivos sobre la alternativa seleccionada.

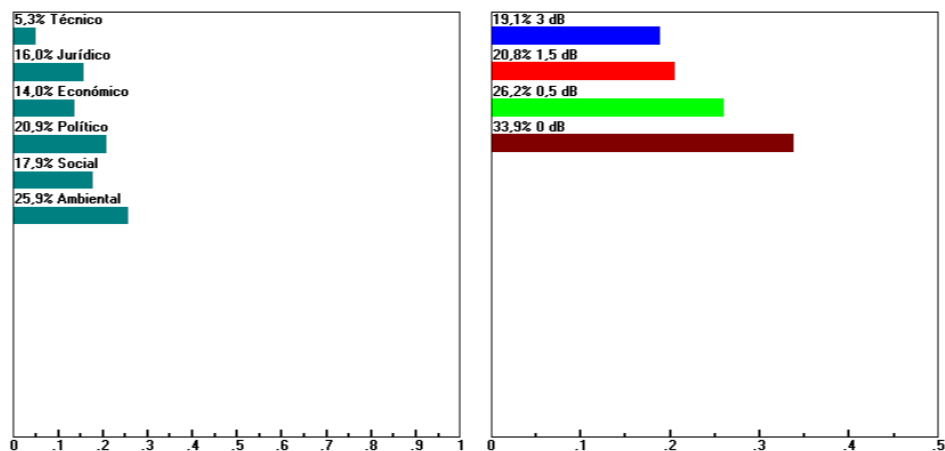


Figura 5.6. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Técnico. Fuente: Simulador

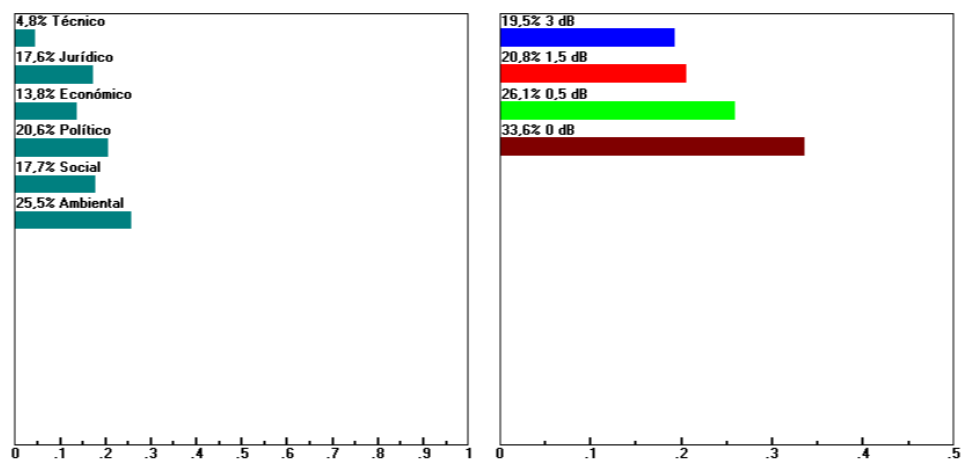


Figura 5.7. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Jurídico. Fuente: Simulador

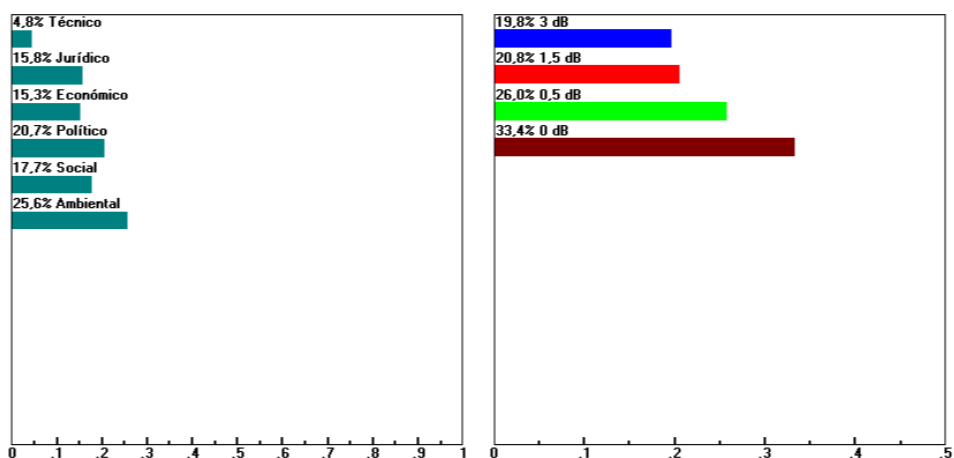


Figura 5.8. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Económico. Fuente: Simulador

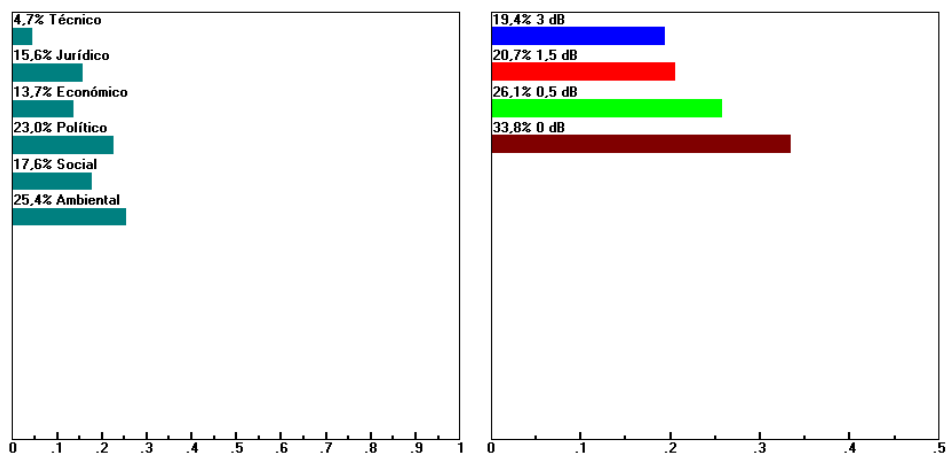


Figura 5.9. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Político. Fuente: Simulador

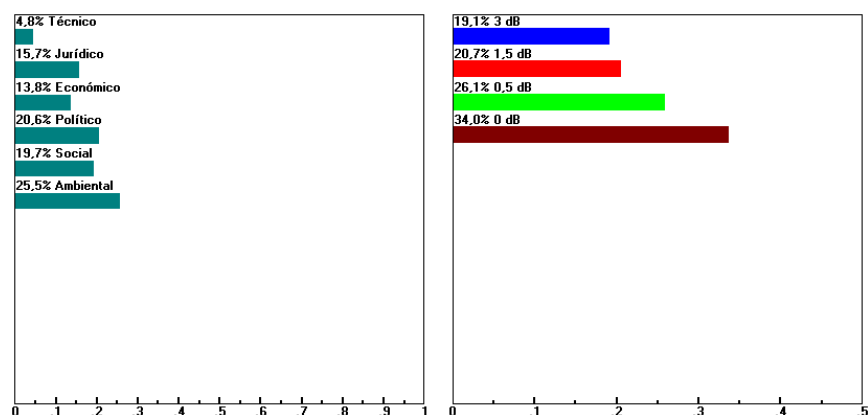


Figura 5.10. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Social. Fuente: Simulador

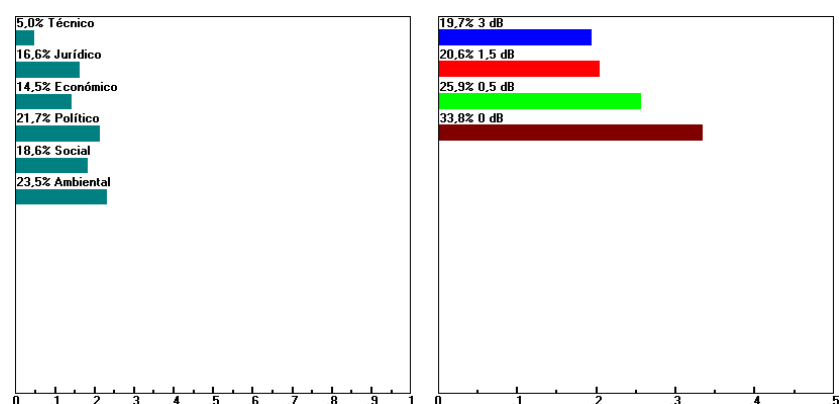


Figura 5.11. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Ambiental. Fuente: Simulador

Tabla 5.1. Análisis de Sensibilidad Modo Distributivo < a 10%

Criterios						Alternativas			
TÉCNICO	JURIDICO	ECONÓMICO	POLÍTICO	SOCIAL	AMBIENTAL	3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
5.3%	16.0%	14.0%	20.9%	17.9%	25.9%	19.1%	20.8%	26.2%	33.9%
4.8%	17.6%	13.8%	20.6%	17.7%	25.5%	19.5%	10.8%	26.1%	33.6%
4.8%	15.8%	15.3%	20.7%	17.7%	25.6%	19.8%	20.8%	26.0%	33.4%
4.7%	15.6%	13.7%	23.0%	17.6%	25.4%	19.4%	20.7%	26.1%	33.8%
4.8%	15.7%	13.8%	20.6%	19.7%	25.5%	19.1%	20.7%	26.1%	34.0%
5.0%	16.6%	14.5%	21.7%	18.6%	23.5%	19.7%	20.6%	25.9%	33.8%

Con los resultados obtenidos realizando una variación del 10% de los pesos relativos de cada criterio, se pudo comprobar que la alternativa de igualar potencias entre las Redes Nacionales Pública y Privada de TDT es la que obtiene el mayor valor en el cálculo de la prioridad global.

Teniendo en cuenta lo realizado anteriormente, se propusieron otras variaciones adicionales, con el fin de ampliar el rango y de esta manera poder sacar conclusiones mucho más robustas.

2. Sensibilidad a la variación mayor al 50%

A continuación, en la Tablas 5.2 se muestran los resultados consolidados de variar los pesos de los criterios hasta por un 50% para el modo distributivo y en la tabla 5.3 aquellos que corresponden a la misma variación, pero para el modo ideal.

Tabla 5.2. Análisis de Sensibilidad para el Modo Distributivo > a 50%

Criterios						Alternativas			
TÉCNICO	JURIDICO	ECONÓMICO	POLÍTICO	SOCIAL	AMBIENTAL	3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
6.1%	15.8%	13.9%	20.8%	17.8%	25.7%	20.3%	20.5%	25.6%	33.6%
7.4%	15.6%	13.7%	20.5%	17.5%	25.3%	20.6%	20.5%	25.5%	33.4%
4.7%	19.2%	13.5%	20.2%	17.3%	25.0%	20.9%	20.5%	25.5%	33.2%
4.6%	20.7%	13.3%	19.9%	17.0%	24.6%	21.3%	20.5%	25.4%	32.9%
4.5%	20.1%	15.8%	19.3%	16.5%	23.8%	21.8%	20.5%	25.2%	32.5%
4.4%	19.7%	17.4%	18.9%	16.2%	23.4%	22.1%	20.6%	25.1%	32.2%

Tabla 5.3. Análisis de Sensibilidad Modo Ideal > a 50%

Criterios						Alternativas			
TÉCNICO	JURIDICO	ECONÓMICO	POLÍTICO	SOCIAL	AMBIENTAL	3 dB	1.5 dB	0.5 dB	0 dB
5.6%	15.9%	13.9%	20.9%	17.9%	25.8%	19.1%	20.8%	26.2%	33.9%
6.8%	15.7%	13.8%	20.6%	17.6%	25.5%	19.4%	20.8%	26.1%	33.7%
4.7%	19.7%	13.4%	20.1%	17.2%	25.0%	20.0%	20.8%	26.0%	33.3%
4.5%	21.7%	13.1%	19.6%	17.0%	24.2%	20.5%	20.8%	25.8%	32.8%
4.7%	15.5%	16.8%	20.3%	17.4%	25.2%	19.6%	20.9%	26.0%	33.5%
4.6%	15.2%	18.6%	19.2%	17.0%	24.6%	19.9%	20.9%	25.9%	33.2%

A pesar de las variaciones tan considerables, se sigue imponiendo la alternativa 0dB como la mejor opción en todos los casos, lo que da a entender que en todo el análisis realizado 0dB es la alternativa a seleccionar. Así mismo la opción 1.5 dB se estableció siempre como la segunda mejor opción, tal vez pensando en que las alternativas que implican un mayor aumento de potencia prevalecen frente a las demás.

3. Comparación entre las diferentes alternativas

Empleando la herramienta de comparación “head to head” del Expert Choice, se efectuó un comparativo entre las diferentes alternativas con el fin de determinar el aporte de cada uno de los criterios entre dichas alternativas en comparación. En las Figuras 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 y 5.17 se muestra el resultado de la comparación de los diferentes niveles de potencia entre las Redes Pública y Privada nacional de TDT.

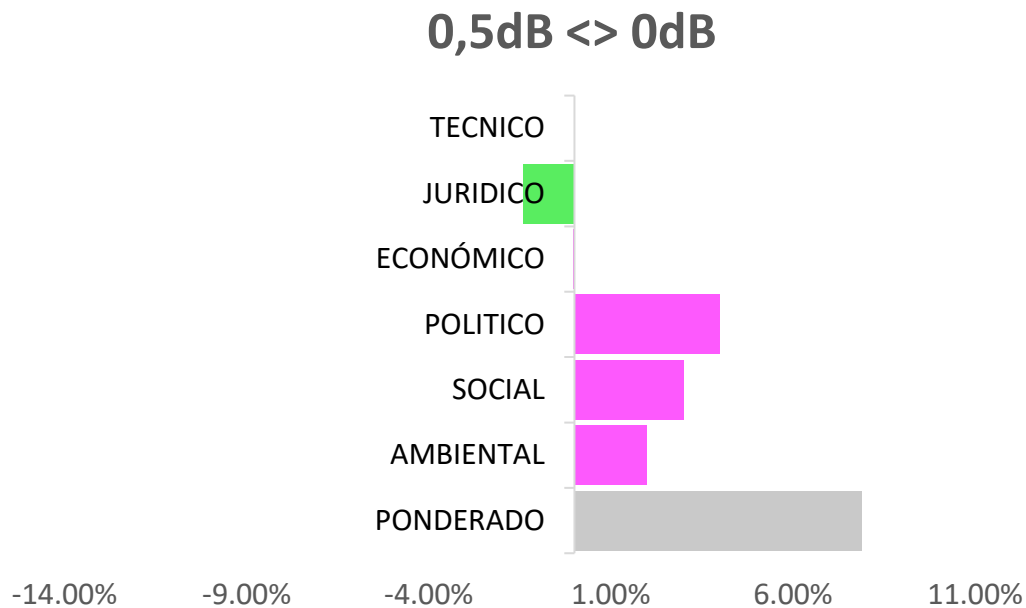


Figura 5.12. Comparación entre 0,5 dB vs 0 dB.
Fuente: Expert Choice

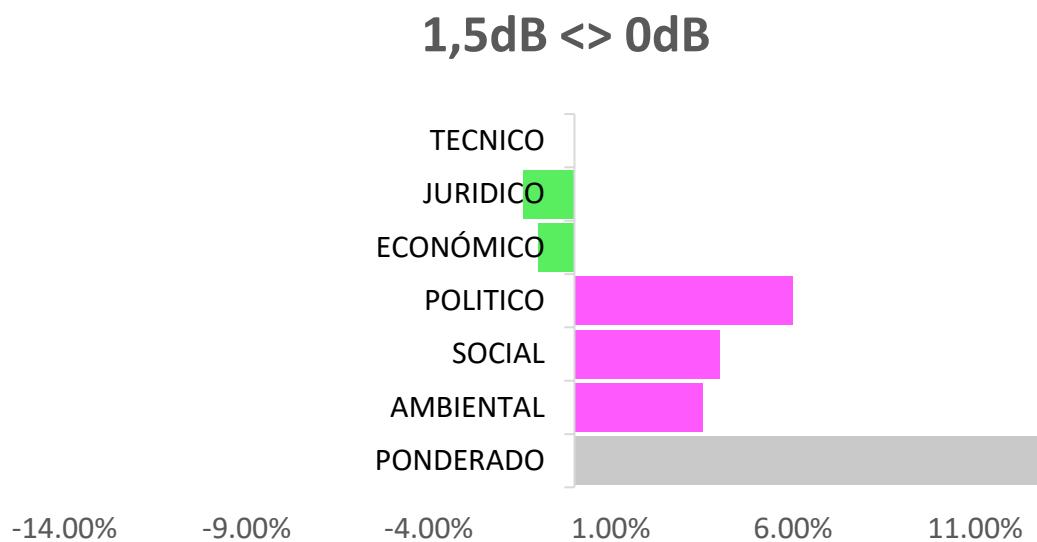


Figura 5.13. Comparación entre 1.5 dB vs 0 dB.
Fuente: Expert Choice

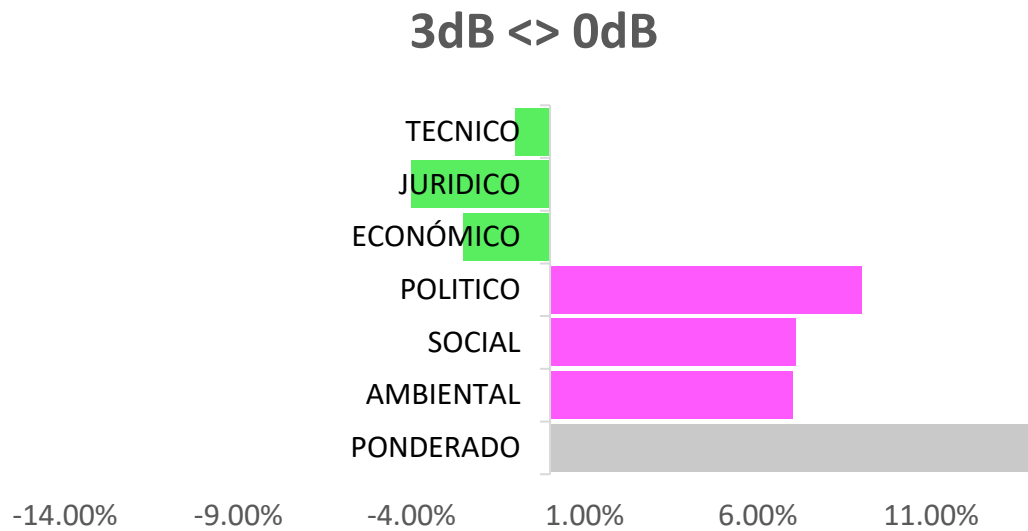


Figura 5.14. Comparación entre 3 dB vs 0 dB.
Fuente: Expert Choice

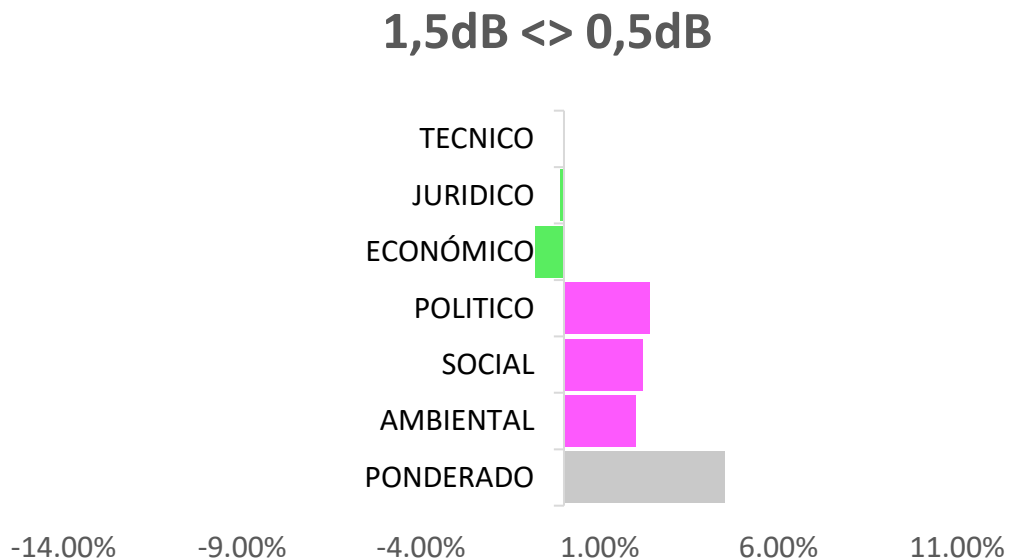


Figura 5.15. Comparación entre 1.5 dB vs 0 dB.
Fuente: Expert Choice

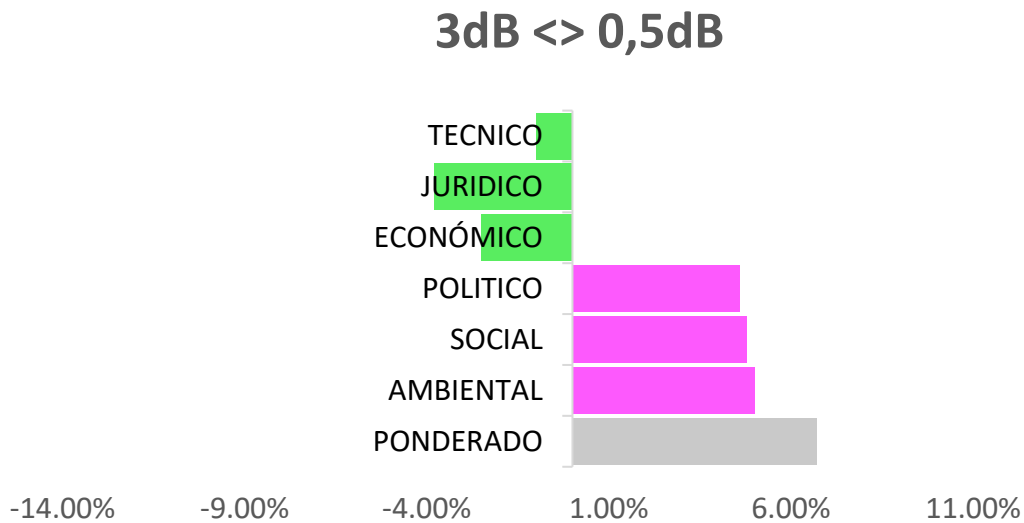


Figura 5.16. 3 Comparación entre dB vs 0.5 dB.
Fuente: Expert Choice

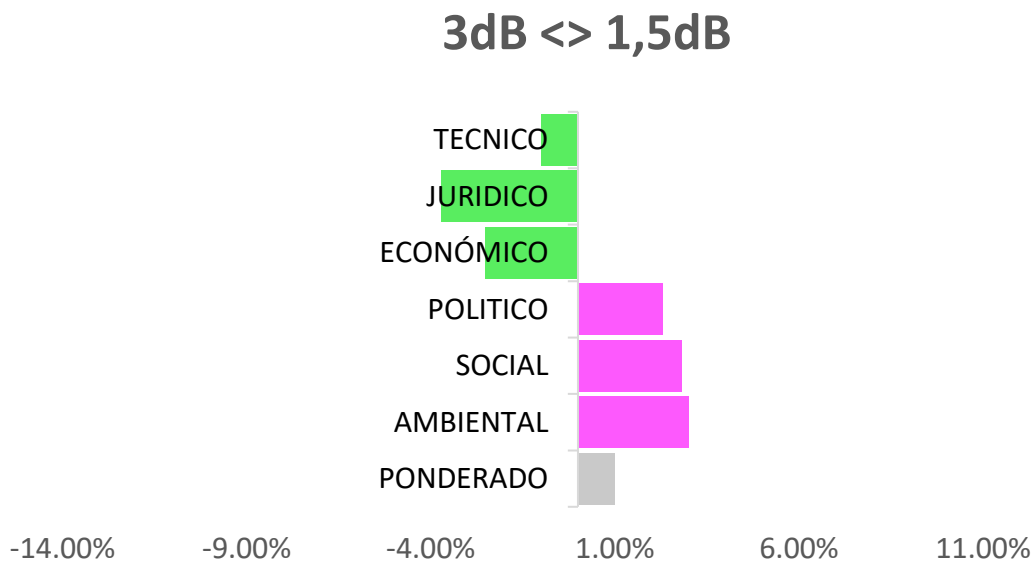


Figura 5.17. Comparación entre 3 dB vs 1.5 dB.
Fuente: Expert Choice

Así las cosas, al realizar una comparación entre las diferentes alternativas evaluadas se puede notar como a medida que se van equilibrando los niveles de potencia entre las redes Pública y Privada Nacional de TDT, sus fortalezas en los niveles Político, Social y Ambiental predominan y se hacen más relevantes. Este comportamiento se debe principalmente a que desde el punto de vista del usuario se garantizarán igualdad en las condiciones de acceso

al servicio, lo cual implica que la plataforma de TDT se vea muy fortalecida, se facilite la penetración de la TV Pública y el Operador Público Nacional pueda garantizar el cumplimiento del Objeto Social de la TV Pública. De igual manera, a medida que se incremente la potencia de las estaciones del Operador Público, se produce una disminución en los niveles de Contaminación por Disipación Térmica y se realiza una mejor disposición final de sobrantes.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. A pesar que los operadores Nacionales de Televisión Digital Terrestre en Colombia, han cumplido con la regulación aplicable al servicio al desplegar sus redes de acuerdo con sus objetivos de cobertura, mediante algunas mediciones de intensidad de campo, se evidencia la necesidad de realizar una Armonización de las Redes de TDT en Colombia que permita que sus usuarios puedan acceder a los diferentes servicios en condiciones similares, con independencia del prestador del mismo.
2. Realizar un análisis para la toma de una decisión tan importante y compleja como la Armonización de las redes de Televisión Digital Terrestre en Colombia empleando el proceso AHP, mediante el cual se involucran aspectos desde el punto de vista técnico, jurídico/regulatorio, económico, político, social y ambiental que sean valoradas por expertos multidisciplinarios, permite analizar la complejidad del desafío en toda su dimensión al proporcionar una visión holística de la problemática y de esta manera poder soportar matemáticamente la decisión tomada, llevando así la subjetividad implícita en la toma de cualquier decisión a su mínima expresión.
3. Los pesos obtenidos para los niveles ambientales, políticos y sociales son los más dominantes con 26,0%, 21,0% y 18,0%, respectivamente. Lo anterior demuestra que una vez se ha realizado el despliegue de una red como la de Televisión Digital Terrestre colombiana, el hecho de evaluar la posibilidad de modificarla solamente puede ser sustentada desde los niveles en que se obtuvieron los mayores pesos, cuyos pilares fundamentales, aparte de los temas ambientales asociados, son la experiencia del usuario y el aumento en la penetración de la TV pública.
4. A pesar que el peso del nivel técnico es del 4,87% y que la potencia a la salida de los transmisores es de 4,27%, se puede evidenciar la relación directa que existe entre el aumento de potencia y el orden de decisión obtenido, es decir, la alternativa que mejor puntaje obtiene es la que tiene en cuenta el mayor aumento de potencia

y en forma contraria, la alternativa que menor puntaje obtiene es la que tiene en cuenta el menor aumento de potencia de las estaciones de RTVC comparadas con las de CCNP.

5. Mediante el análisis de sensibilidad se evidencia la robustez del modelo y de la alternativa de igualar potencias entre estaciones de RTVC y CCNP seleccionada, al demostrar que a pesar de las variaciones realizadas cercanas al 50% en los pesos de los criterios mediante el software Expert Choice, esta alternativa siempre se impone y el orden de las demás alternativas se sigue manteniendo, tanto para el método distributivo como para el ideal.

6. El resultado del presente trabajo de grado puede ser muy controversial y su eventual implementación podría generar mucha resistencia por parte del operador público nacional de TDT, así como por los entes reguladores y de control, toda vez que intervenir una red ya implementada pondría en entre dicho la planificación de la red y el adecuado manejo de los dineros públicos.

6.2 RECOMENDACIONES

- En la actualidad, los desafíos presentados por las nuevas plataformas tecnológicas, sus respectivos cambios en diferentes mercados y modelos de negocio en el sector audiovisual, como el caso de los servicios Over The Top (Netflix, HBO Go, Amazon Prime), obligan a robustecer la infraestructura de la televisión abierta radiodifundida. Consiente de esta situación, el Departamento Nacional de Planeación mediante el informe "*El futuro del sector audiovisual en Colombia: Necesidad de política pública y reformas normativas en el marco de la convergencia tecnológica y las tendencias del mercado*", reconoce que se debe fortalecer la televisión pública radiodifundida TDT y realiza una serie de recomendaciones sobre el marco institucional y regulatorio, las cuales fueron acogidas en su mayoría por el gobierno nacional mediante el proyecto de ley de modernización TIC que actualmente se encuentra en discusión en el congreso de la república.

- Así las cosas, en concordancia con los resultados obtenidos mediante la aplicación del método AHP en el presente trabajo de grado, se recomienda igualar la potencia de transmisión entre las estaciones de RTVC y CCNP, fortaleciendo así la plataforma de TDT al mejorar la experiencia de los usuarios garantizando así igualdad de condiciones en el acceso a los servicios de TDT.
- En consecuencia, de tomarse la decisión de igualar las potencias de ambas redes, la cual corresponde a la alternativa seleccionada (CCNP Vs CCNP 0 dB) al aplicar el método AHP, se deberán realizar todos los esfuerzos necesarios desde el punto de vista jurídico con el fin de poder estructurar los diferentes modelos de contratación, apropiar los recursos económicos y realizar los ajustes técnicos correspondientes.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CRC, «Resolucion No. 4047 de 2012,» pp. 3,4, 2012.
- [2] UIT, «Digital Video Broadcasting (DVB),» vol. 1.3.2, 2011.
- [3] Euroradio, «Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2 - TECH 3348,» Ginebra, 2014.
- [4] Autoridad Nacional de Television, «Encuesta Conocimiento y uso de TDT 2017,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.antv.gov.co/index.php/tdt/plegable-tdt/send/1168-informes-tdt/5760-encuesta-conocimiento-y-uso-de-tdt>.
- [5] Comisión Nacional de Televisión, «Acuerdo No. 008,» pp. 5-8, 22 de diciembre de 2010.
- [6] Comision Nacional de Television, «Acuerdo 004,» pp. 2-4, 20 de Diembre 2011.
- [7] CRC, «Articulo 2.2,» de *Resolución 4047 de 2012*, Bogotá, 2012.
- [8] Comision de Regulación de Comunicaciones, «Calidaden la presentación de servicios de televisión,» p. 4047, Mayo 2015.
- [9] UIT, «Hoja de Ruta para la transición de televisión análogica a televisión digital terrestre en Colombia,» vol. 20, pp. 59,60, 2016.
- [10] Congreso de la República, «Ley 335 de 1996,» diembre 20 de1996.
- [11] CRC, «Condiciones de calidad en la presentacion de servicios de television en Colombia,» CRC, 2014.
- [12] ITU-R, «Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implemetation,» p. 250, 2016.
- [13] I.-T. H.264, «Estandar ISO 13818,» de *SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS*, 2005, p. 294.
- [14] I.-T. H.264, *SERIES H: AUDIOVISUAL AND MULTIMEDIA SYSTEMS*, 2005.
- [15] R. G. A. K. C. R. M. A. C. E. OTI, *Mejores Prácticas en la Transición a la Televisión Digital Terrestre*, Mexico, 2016.
- [16] L. H. Mohammed El- Hajjar, «A Survey of Digital Television Broadcast Transmission Techniques,» *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, vol. 15, nº 4, 2013.
- [17] C. N. d. Televisión., «Acuerdo_002_2012_TDT.pdf,» Bogotá, 2012, p. 15.
- [18] ATSC, TSC Standard A/107- ATSC 2.0 Standard, Washington, D.C., 2015.

- [19] ATSC, «ATSC Standard: ATSC Digital Television Standard,» de *Doc. A/53*, Washington, DC, pp. 1-6.
- [20] P. Angueira, «DTV (COFDM) SFN signal variation field tests,» *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 49, nº 1, 2003.
- [21] ATSC, «ATSC Standard:,» de *Do. A/300*, Washington, 2017.
- [22] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2),» *ETSI EN 302744*, vol. 1, nº 2.1, 2012.
- [23] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2),» *ETSI EN 302755*, vol. 1, nº 3.1, 2012.
- [24] J. D. G. Y. H. P. Walop, «Guidelines for the transition from analogue to digital broadcasting,» *ITU*, 2010.
- [25] M. S. Alencar, *Digital TV Systems* Cambridge University Press, 2009.
- [26] A. N. 15601, *Televisão digital terrestre — Sistema de transmissão, Brasil*, 2007.
- [27] B. Fischer, *Mis 60 partidas memorables*, Pomaire, 2007.
- [28] L. Fablus, «Guia práctica para la transición a la televisión digital,» *Republique Frangaise*.
- [29] W. Z. G. Y. Liang, *Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System*, Chinese National Standard GB 20600, China, 2006.
- [30] C. Z. Jian Song, «Revisión técnica sobre el estándar DTMB-Advanced (DTMB-A),» de *Conferencia Internacional de Ingeniería y Telecomunicaciones (EnT)*, Moscú, 2016.
- [31] Tech Target - Margaret Rouse, «Tech Target - Search Networking,» [En línea]. Available: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/iDEN>. [Último acceso: 13 Junio 2018].
- [32] «Convenio de financiación entre La Unión Europea y La República de Colombia,» de *Apoyo a la implemnetación del estandar DVB-T en Colombia*, 2009.
- [33] T. D. T. T. A. Group, «Undertanding DVB-T2,» *DigiTAG*, vol. 1, nº 1.
- [34] ANTV, *Plan de cobertura en tecnología Digital por parte del operador público naional*, Colombia, 2013.
- [35] J. D. G.-Y. H. Peter W, *Guidelines for th transition from analogue digital bradcasting*, Switzerland, 2010.

- [36] C. d. R. d. Comunicaciones, «“Seguimiento a la implementación de las especificaciones técnicas de la TDT en Colombia Documento Amarillo Regulación de Infraestructura,» Bogotá, Comisión de Regulación de Comunicaciones, Junio de 2013, p. 17.
- [37] ETSI , «RTR/ERM-TGDMR-307 Technical Report - Electromagnetic compability and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) General System Design,» [En línea]. Available: https://www.dmrassociation.org/downloads/standards/tr_102398v010301p.pdf. [Último acceso: 12 Junio 2018].
- [38] M. Aitken, M. S. Sinclair y B. Group, *Sinclair's 3.0 Vision - The Future of Broadcasting*, 2017.
- [39] CNTV, «Acuerdo No. 008 de 2010,» de *Comisión Nacional de Televisión*, Bogotá, 2010, p. 9.
- [40] CRC, «Resolucion 4047 de 2012.pdf.Comisión de Regulación de Comunicaciones,» Bogotá, 2012, p. 9.
- [41] CNTV, Acuerdo No. 008 de 2010, Bogotá: Comisión Nacional de Televisión, 2010.
- [42] Eizmendi et all, «DVB-T2: The second generation of terrestrial digital video broadcasting system,» *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 60, nº 2, pp. 258-271, 2014.
- [43] A. N. d. television, «Informe del Sector de la Televisión en Colombia 2013,» 2013. [En línea]. Available: http://www.antv.gov.co/sites/default/files/conten-types/report/1566/files/informesectorialtv_2013.pdf.
- [44] Congreso de la República de Colombia, «Parágrafo 1 Artículo 18 Ley 1507 de 2012,» Bogotá, 2012, p. 2.
- [45] CRC, Resolucion 5049 de 2016, Bogotá, 2016.
- [46] ANTV, Plan de Cobertura en Tecnología Digital por parte del Operador Público Nacional, 2013.
- [47] ANTV, «Directrices para la presentación y financiación de proyectos espaciales con recursos del fondo para el desarrollo de la Tv y los contenidos,» Bogotá, 2017.
- [48] RTVC, Manual de contratación RTVC, Colombia.
- [49] M. M. Soto Angela, «Carta ACIEM "Asunto:Hoja Ruta TDT",» Bogotá, 2016, pp. 1-3.
- [50] G. A. Chica Pedraza, «Estudio y Análisis de la viabilidad de la implementación de la tecnología PLT (Power Line Telecommunications) en Colombia en el ámbito de la transmisión de datos sobre redes de baja tensión,» 2012.
- [51] H. Linstone y M. Turoff, de *The Delphi Method: Techniques and Applications*, Addison-Wesley, 1975, p. 3.

- [52] L. G. vargas, «Decision Making with the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process,» vol. 46, 2007.
- [53] Congreso de la República, «Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y su impacto sobre el crecimiento económico y la productividad,» de *Proyecto de ley*, 2018.
- [54] Del Socorro García, Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y Soft Computing, vol. 22, Cartagena: Universidad de Politécnica de Cartagena, 2009, pp. 201-219.
- [55] Dieter G., Engineering Design. A Materials and Processing Approach., Tokyo: McGraw-Hill, 1983.
- [56] Leon O. G, Tomar decisiones difíciles., Segunda Edición ed Universidad, 2001.
- [57] Boer S. J. D, Decision Methods and Techniques in Methodical Engineering Design., Ph.D. Thesis De Lier: Academisch Boeken Centrum, 1989.
- [58] C. Romero, Análisis de las decisiones multicriterio, Madrid, 1997.
- [59] Z. I. R. R. Augusto Velasquez Mendez, Desarrollo de una metodología para el control de la señalización del tráfico y el sistema de semaforización utilizando las líneas de potencia eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Tesis de Grado, 2009.
- [60] L. A. T. y. F. A. C. A. Jorge Ivan Romero Gelvez, Selección del método de explotación minera a partir de información cuantificada aplicando, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [61] R. C, Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones, Madrid: Alianza S.A., 1993.
- [62] B. Roger M, «A new system for weighting environmental criteria for use within Electre III.,» *European Journal of Operational Research.*, 1998.
- [63] J. Pomerol y B.-R. S., Multicriterion decision in management: Principles, Hardbound: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [64] C. Romero, Teoría de la decisión Multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones., Madrid: Alianza Editorial S.A, 1993.
- [65] Roy B, «Multicriteria methodology for Decision Aiding,,» *Dordrecht- Boston- London*, 1996.
- [66] L. C. O. P. y T. Cossa, MCDM Model for Selecting Internet Access Technologies, Belgrade: Eurocon, Serbia & Montenegro, 2005.
- [67] M. Sasidhar y K. J. Min, «Decision support models for the selection of Internet,» *Telemat. Inform.*, vol. 22, no. 3,, 2005, pp. 201-219.

- [68] T. Nepal, «Evaluation of rural telecommunications infrastructure in South Africa,» *Probl. Nonlin. Anal. Eng. Syst.*, vol. 3, no. 24, 2005, pp. 138-149.
- [69] T. N. Andrewa y T. Nepal, «Enhancing the selection of communication,» *International Journal of Computers, Systems and Signals*, Vol. 6, No. 2, 2005.
- [70] Y. A. Gasiea, University of Manchester, School of Mechanical, Aerospace and, An analytical decision approach to rural Telecommunication infrastructure, 2010, p. 344.
- [71] T. L. Saaty, «Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process,» *RACSAM (Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics)*, 2008-6, pp. 251-318.
- [72] E. H. Forman y S. I. G., «The analytical hierarchy process-an exposition,» *Operations Research* 49, 2001-7, pp. 469-487.
- [73] Subramaniam V. Lee K., «Dynamic selection of dispatching rules for job shop scheduling,» *Production Planning and control. Vol 11*, pp. 73-81, 2000.
- [74] Bahurmoz Asma M. A., «Process at Dar Al-Hekma, Saudi Arabia,» *Interfaces*, vol. 33, nº 4, pp. 70-78, 2003-07.
- [75] A. Bascetin, «An application of the analytic hierarchy process in equipment selection,» *Mining Technology: Transactions*, vol. 113, nº 3, pp. 192-199, 2004-09.
- [76] N. Bhushan y K. R., *Strategic Decision Making: Applying the Analytic*, London: Springer-Verlag. ISBN 1-8523375-6-7, 2004-01.
- [77] Saaty Thomas L., «Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process,» *Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications. ISBN 0-9620317-8-X*, 1999-05.
- [78] E. Rodriguez, «Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una pyme,» *Real centro Universitario San Lorenzo del Escorial ISSN: 1133-3677*, 2007, 2007.
- [79] Saaty, Thomas L., «Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World.,» En: *Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications. ISBN 0-9620317-8-X*, 1999-05.
- [80] Saaty, Thomas L., «Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factor - The Analytic Hierarchy/ Network Process.,» En: *RACSAM (Review of The Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics)* pp. 251-318., 2008-06.
- [81] Yusoff R. & Janor R. M., «A proposed metric scale for expressing opinion. In Statistics in Science, Business, and Engineering (ICSSBE),» 2012, September.

