

# **PROPUESTA METODOLÓGICA PARA PRIORIZAR LA ASIGNACIÓN DE ESPECTRO EN COLOMBIA**

(Trabajo de Grado)

JOSE ORLANDO ARIZA BELTRAN

Director:

Ing. Gustavo Alonso Chica, PhD

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES  
MAESTRIA EN TELECOMUNICACIONES Y REGULACION TIC  
BOGOTÁ, 2022

Primero a Dios, que siempre da nuevas oportunidades y pone en el camino a las personas más indicadas, en el momento preciso, para apoyar la consecución de cada meta.

A mi mamá, Elisa, que siempre ha estado presente y nunca ha permitido que deje de creer, a ella, que siempre hace que quiera ser mejor y a quien le debo todo lo que soy.

A mi papá, José, por estar siempre pendiente, por los consejos y por siempre impulsarme para seguir adelante.

A mi tía, Gloria, que ha estado en cada paso y que cada día me insistías en no dejar de lado los proyectos.

A mi familia...

## **AGRADECIMIENTOS**

Para empezar, agradecer de manera especial al Ingeniero Gustavo Chica, no solamente por todo su apoyo desde la dirección del proyecto, por sus opiniones, sus consejos y los aportes que desde su experticia ha realizado a la realización de este trabajo, sino, sobre todo, por su amistad, por no permitir que el proyecto se dejara de lado y porque siempre demostró su interés en llevar a buen puerto el trabajo.

Un agradecimiento para los expertos, que dedicaron su valioso tiempo a participar en el proyecto, que no solo apoyaron el desarrollo de la metodología con la respuesta a las encuestas, sino que dieron su opinión y nutrieron la propuesta en cada una de sus etapas.

A la universidad Santo Tomás, y a los docentes de la Maestría en Telecomunicaciones y Regulación TIC, que en cada uno de los espacios académicos contribuyeron al diseño y ejecución de este trabajo, además de brindar una formación que permitió profundizar en mis conocimientos, desarrollar nuevas habilidades y formarme como un mejor profesional. Y en el marco de la maestría, a mis compañeros, por sus opiniones frente al proyecto, por su amistad y por hacer más agradable cada espacio; particularmente a Claudia Báez y Andrés Rodríguez, con quienes siempre hicimos un muy buen equipo de trabajo y construimos una gran amistad.

Finalmente, a la Agencia Nacional del espectro, entidad donde laboro, por su importante labor en la gestión integral del espectro en el país, por todos los nuevos conocimientos que he desarrollado durante mi trabajo en ella, porque sus documentos han sido un importante insumo para este trabajo y de antemano, por los proyectos que vengan a futuro.

## TABLA CONTENIDO

<b>Lista de figuras</b> .....	<b>5</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>6</b>
<b>ACRONIMOS</b> .....	<b>7</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>10</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>Introduccion</b> .....	<b>12</b>
<b>1 MARCO GENERAL DEL PROYECTO</b> .....	<b>15</b>
1.1 OBJETIVOS .....	18
1.1.1 Objetivo General.....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
1.2 ALCANCE .....	18
1.3 METODOLOGÍA.....	19
<b>2 CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ESPECTRO EN EL MUNDO</b> .....	<b>22</b>
2.1 EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	22
2.1.1 Importancia del uso eficiente del espectro .....	23
2.1.2 Asignación y otorgamiento de permisos de uso de espectro .....	24
2.1.3 El papel de la Unión Internacional de Telecomunicaciones .....	25
2.2 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN ASIGNACIÓN DE ESPECTRO.....	26
2.2.1 Regiones y países de la UIT .....	26
2.2.2 Países escogidos para el estudio .....	27
2.3 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS .....	38
2.3.1 Criterios .....	39
2.3.2 Subcriterios .....	40

<b>3</b>	<b>MEDIDAS REGULATORIAS VIGENTES RELACIONADAS CON EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN COLOMBIA .....</b>	<b>45</b>
3.1	MEDIDAS REGULATORIAS SOBRE EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN COLOMBIA.....	45
3.2	IMPACTO DE LAS MEDIDAS REGULATORIAS EN LA ASIGNACIÓN DE ESPECTRO EN COLOMBIA.....	47
3.2.1	Asignación de permisos de uso .....	48
3.2.2	Contraprestación por el uso de espectro .....	49
3.2.3	Obligaciones de ampliación de cobertura .....	50
3.3	ANÁLISIS .....	52
<b>4</b>	<b>LAS REDES 5G Y EL ESPECTRO REQUERIDO PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA .....</b>	<b>56</b>
4.1	REDES DE 5G .....	56
4.1.1	Evolución de las tecnologías móviles .....	56
4.1.2	Características de la red de 5G .....	58
4.1.3	Aplicaciones y tendencias.....	59
4.1.4	Análisis, planteamiento y estrategias de aplicación .....	60
4.1.5	IMT-2020 .....	61
4.1.6	Avances y proyecciones en la puesta en marcha de 5G.....	61
4.2	ESPECTRO PROPUESTO PARA LA IMPLEMENTACION DE 5G EN COLOMBIA	63
4.2.1	Espectro propuesto para implementación de 5G .....	63
4.2.2	Recomendaciones para las políticas públicas de asignación de espectro 5G	64
4.2.3	Espectro proyectado en Colombia .....	65
<b>5</b>	<b>CASO DE ESTUDIO: PRIORIZAR LA ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO REQUERIDO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE 5G EN COLOMBIA .....</b>	<b>69</b>

5.1	PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO, CASO DE USO .....	69
5.1.1	Identificación del objeto de estudio.....	70
5.1.2	Elección de alternativas:.....	70
➤	Frecuencias por debajo de 1 GHz o bandas bajas .....	70
➤	Frecuencias entre 1 y 6 GHz o Bandas Medias.....	70
➤	Frecuencias superiores a 6 GHz o bandas altas .....	70
5.1.3	Elección de los expertos.....	70
5.1.4	Elección de los criterios de decisión .....	72
5.1.5	Ponderación de los criterios.....	74
5.1.6	Valoración de las alternativas según cada criterio .....	76
5.1.7	Análisis de Dominancia .....	83
5.1.8	Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas.....	84
5.1.9	Análisis de resultados.....	87
5.2	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD de LA SELECCIÓN REALIZADA.....	88
5.2.1	Modelo Jerárquico .....	88
5.2.2	Análisis De Sensibilidad .....	91
5.2.3	Comparación entre bandas.....	94
<b>6</b>	<b>PROPUESTA METODOLÓGICA PARA PRIORIZAR LA ASIGNACIÓN DE ESPECTRO EN COLOMBIA.....</b>	<b>99</b>
6.1	JUSTIFICACIÓN .....	100
6.2	LA METODOLOGÍA.....	100
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>110</b>
7.1	CONCLUSIONES DEL PROYECTO .....	110
7.2	TRABAJOS FUTUROS.....	114

## LISTA DE FIGURAS

Figura. 1.1 Penetración de internet en América Latina para 2018. Fuente: [5].	15
Figura. 1.2. Conexiones de internet móvil por tecnología para 4T de 2018 frente al 4T de 2021. Fuente: [13] y [14].	16
Figura. 1.3. Ilustración de las 4 etapas de la metodología, con base en los objetivos.	20
Figura. 2.1. Subdivisión general del espectro radioeléctrico. Fuente: [22].	23
Figura. 2.2. Regiones de UIT para atribución de frecuencias. Fuente: [33].	27
Figura. 3.1. Proyección de la cobertura del país luego de la ampliación de la banda 700 MHz y 2.500 MHz. Fuente: [90].	51
Figura. 4.1. Procesos de Estandarización de IMT 2020. Fuente: adaptada de [28].	60
Figura. 4.2. Espectro para 5G en Colombia. Fuente: tomada de [106].	65
Figura. 5.1. Estructura Jerárquica	73
Figura. 5.2. Árbol jerárquico. Fuente: Simulador	88
Figura. 5.3. Pesos de los Niveles y Subniveles en el Expert Choice. Fuente: Simulador	90
Figura. 5.4. Resultado Modo distributivo. Fuente: Simulador	90
Figura. 5.5. Resultado Modo ideal. Fuente: Simulador	91
Figura. 5.6. Análisis de sensibilidad Modo Distributivo. Fuente: Simulador	91
Figura. 5.7. Resultado Original sin Variaciones. Fuente: Simulador	92
Figura. 5.8. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Tecnológico. Fuente: Simulador	93
Figura. 5.9. Bandas Bajas vs Bandas Medias. Fuente: Simulador	95
Figura. 5.10. Bandas Bajas vs Bandas Altas. Fuente: Simulador	95
Figura. 5.11. Bandas Medias vs Bandas Altas. Fuente: Simulador	96
Figura. 6.1. Jerarquía del modelo PAJ. Fuente: adaptado de [139].	100
Figura. 6.2. Ciclo General de la Interacción con la Herramienta.	101
Figura. 6.3. El Botón Alternativas. Fuente el Autor	102
Figura. 6.4. Dar Nombre a las Alternativas. Fuente el Autor	102
Figura. 6.5. Interfaz de la herramienta. Fuente: El Autor	106
Figura. 6.6. Interfaz Para Evaluación del Experto 1. Fuente: El Autor	107
Figura. 6.7. Hoja en la que se realizan las ponderaciones de forma automática. Fuente: El Autor	108
Figura. 6.8. Resultado de la Priorización. Fuente: El Autor	109

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Porcentaje de espectro asignado según la recomendación para 2015 y 2020 de la UIT. Fuente: [15].	17
Tabla 3.1. Especificaciones de las velocidades pico teóricas. Fuente: [89].	51
Tabla 4.1. Evolución de las redes de comunicación móvil. Fuente: Elaboración propia.	58
Tabla 4.2. Frecuencias actuales en comparación a 5G. Fuente: adaptado de [101].	64
Tabla 4.3. Ocupación de bandas candidatas para uso en IMT - Colombia. Fuente: adaptado de [107].	66
Tabla 5.1. Matriz de dominancia con índices de dominancia	74
Tabla 5.2 Ponderación Final de los Criterios de Primer Nivel.	75
Tabla 5.3. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Tecnológico	75
Tabla 5.4 Ponderación Final de los Criterios del Nivel Económico.	75
Tabla 5.5. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Político-Regulatorio	76
Tabla 5.6. Ponderación Final de los Criterios del Nivel sociocultural.	76
Tabla 5.7. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Ambiental.	76
Tabla 5.8. Valoraciones normalizadas con su correspondiente justificación	77
Tabla 5.9. Matriz de Decisión.	82
Tabla 5.10. Matriz de dominancia	83
Tabla 5.11. Cálculo de la Prioridad Global (Método Distributivo)	85
Tabla 5.12. Cálculo de la Prioridad Global (Método Ideal)	86
Tabla 5.13. Análisis de Sensibilidad < a 10%.	93
Tabla 5.14. Análisis de Sensibilidad > a 10%.	94
Tabla 6.1. Tabla de valoración directa de Saaty Fuente: [140].	103
Tabla 6.2. Tabla de valoración Ejemplo	104
Tabla 6.3. Criterios a ser Valorados.	105

## ACRONIMOS

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
4G	Cuarta generación de las redes móviles IMT
5G	Quinta generación de las redes móviles IMT
ACMA	Australian Communications and Media Authority / Autoridad Australiana de Comunicaciones y Medios
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANATEL	Agencia Nacional de Telecomunicaciones
ANE	Agencia Nacional del Espectro
ARRL	The National Association for Amateur Radio / Asociación Nacional de Radioaficionados (Estados Unidos)
AWS	Advance Wireless Services / Servicios Inalámbricos Avanzados
BOCR	Beneficio, Oportunidad, Costo y Riesgo
CEI	Comunidad de Estados Independientes
CEO	Comité de Uso del Espectro y la Órbita (Brasil)
CMR	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones
CNABF	Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia
COVID	Coronavirus Disease / Enfermedad del coronavirus
C-RAN	Centralized Radio Access Network
CRC	Comisión de Regulación de Comunicaciones
D-RAN	Distributed Radio Access Network
eMBB	Enhanced Mobile Broadband / Banda Ancha Móvil Mejorada
E-Health	Salud electrónica o Ciber medicina
EHF	Extreme High Frequency / Frecuencia Extremadamente Alta
E-Learning	Educación electrónica
FCC	Federal Communications Commission / Comisión Federal de Comunicaciones (Estados Unidos)
FONATEL	Fondo Nacional de Telecomunicaciones (Costa Rica)

FONTIC	Fondo Único TIC
GHz	Gigahertz
IBGE	Instituto Brasileño de Geografía y Estadística
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
IFT	Instituto Federal de Telecomunicaciones (México)
IMT	International Mobil Telecommunication / Telecomunicaciones Móviles Internacionales
INE	Instituto Nacional de Estadística (España)
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos (Costa Rica)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México)
IoT	Internet of Things / Internet de las Cosas
ITU	International Telecommunication Union / Unión Internacional de Telecomunicaciones International Telecommunication Union -
ITU-R	Radiocommunications Sector / Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Radiocomunicaciones International Telecommunication Union - Standardization
ITU-T	Sector /Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Estandarización
kHz	kilohertz
KPI	Key Performance Indicator / Indicadores Clave de Rendimiento
LF	Low Frequency / Baja Frecuencia
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to Machine / Maquina a Maquina
MCDA	Multiple-criteria decision analysis / Análisis de Decisiones multicriterio
MF	Medium Frequency / Frecuencia Media
MHz	Megahertz
MICITT	Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones (Costa Rica)

MIMO	Multiple Input Multiple Output / Múltiples Entradas Múltiples Salidas
MinTIC	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
NEPA	National Environment Policy Act / Ley Nacional de Política Ambiental (Estados Unidos)
NTIA	National Telecommunications and Information Administration / Administración Nacional de Telecomunicaciones e Información (Estados Unidos)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OSM	Office of Spectrum Management / Oficina de Gestión de Espectro (Estados Unidos)
PAJ	Proceso Analítico Jerárquico
SHF	Super High Frequency / Super Alta Frecuencia
SICT	Secretaría de infraestructura, Comunicaciones y Transportes (México)
SOR	Superintendencia de Otorgamiento y Recursos para la Provisión (Brasil)
SUTEL	Superintendencia de Telecomunicaciones (Costa Rica)
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
UHF	Ultra High Frequency / Ultra Alta Frecuencia
uRLLC	Ultrareliable and Low Latency Communications / Comunicaciones Ultra Confiables y de Baja Latencia
VHF	Very High Frequency / Muy Alta Frecuencia
VLf	Very Low Frequency / Muy Baja Frecuencia
WTB	Wireless Telecommunications Bureau / Oficina de Telecomunicaciones Inalámbricas (Estados Unidos)

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito realizar un análisis que permita proponer una metodología para priorizar las bandas de frecuencia a asignar en procesos de licitación para su explotación por parte de los operadores de Telecomunicaciones, teniendo en cuenta múltiples criterios. El análisis desarrollado en este documento aborda de manera general los criterios que se deben tener en cuenta para poder valorar la importancia que puede llegar a tener la asignación de una banda de frecuencias, con base en lo identificado en la revisión de la literatura realizada en procesos de asignación de espectro en países referentes y a la opinión de expertos. Este trabajo pretende entonces convertirse en un insumo para entidades que se encargan de tomar decisiones en lo referente a la gestión del espectro radioeléctrico, de tal manera que puedan contar con una herramienta para establecer una valoración que permita comparar diferentes porciones de espectro que puedan estar siendo contempladas para ser incluidas en un proceso de subasta, mediante una metodología clara, completa y sencilla, que entregue una evaluación cuantitativa para el potencial de la banda.

La metodología desarrollada, contempla el uso de herramientas matemáticas de toma de decisiones multicriterio, específicamente aquellas que hacen referencia a la aplicación del proceso analítico jerárquico (PAJ), a través de las cuales es posible caracterizar de una forma muy puntual y funcional cada una de las franjas de espectro evaluadas, de forma tal, que es posible, mediante comparaciones directas, encontrar una forma de establecer un ranking cuantitativo de los resultados de cada alternativa evaluada. La validación de la metodología se realiza en el contexto de un próximo proceso de asignación de frecuencias para el despliegue de la tecnología 5G en Colombia, luego de la aplicación de la metodología, el resultado muestra que las bandas medias tienen una importancia superior con respecto a las bandas bajas y bandas altas evaluadas. Este hecho se ratifica mediante la realización de un análisis de sensibilidad, en el cual, por medio de variaciones a los pesos de cada criterio, se confirma la robustez de los resultados, lo cual toma especial importancia al momento de argumentar el porqué de la priorización realizada.

**Palabras Claves:** Asignación, Espectro Radioeléctrico, Priorización, Proceso Analítico Jerárquico.

## ABSTRACT

The purpose of this research work is to carry out an analysis that allows proposing a methodology to prioritize the frequency bands to be allocated in bidding processes for their exploitation by Telecommunications operators, considering multiple criteria. The analysis developed in this document addresses in a general way the criteria that must be considered in order to assess the importance that would have the allocate of a frequency band, based on what was identified from the review of the literature about processes developed in referential countries and the opinion of experts. Then, this work intends to be a tool for entities that are responsible for making decisions regarding the spectrum management, in such a way that they can have a tool to stablish an assessment which let compare different spectrum portions that could be include in an auction process, through a clear, complete and simple methodology, which estimates a quantitative value for the band potential.

The applied methodology uses mathematical tools for multi-criteria decision-making, specifically those that refer to the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP), which allows characterizing, in a very specific and functional way, each of the spectrum bands evaluated. Consequently, by doing direct comparisons using experts, the methodology finds a way to establish a quantitative ranking of the results of each evaluated alternative. The validation process of the methodology is carried out in the context of an upcoming frequency allocation process for the deployment of 5G technology in Colombia, after the application of the methodology, the result shows that the medium bands have a higher importance than the low bands and high bands evaluated. This fact is ratified by a sensitivity analysis, making variations to the weights of each criterion it is possible to confirm the robustness of the results, which takes special importance when arguing the reason for the prioritization carried out.

**Keywords:** Allocation, Analytic Hierarchy Process, Prioritization; Radioelectric Spectrum.

## INTRODUCCION

Cuando se habla de espectro radioeléctrico, es evidente que no es un concepto con el cual los ciudadanos se encuentren familiarizados, sin embargo, es el espectro el que permite el desarrollo de muchos de los servicios que han definido la manera en la que el mundo vive actualmente, ya que es este, el que habilita el despliegue de todas las tecnologías de telecomunicaciones inalámbricas, desde la radio convencional, la televisión abierta, hasta la comunicación de las aeronaves con la torre de control o la comunicación móvil celular. La definición de espectro puede estar desde un concepto técnico como la franja por la que se desplazan las ondas radioeléctricas; lo económico, que lo considera un bien estratégico para el desarrollo de las telecomunicaciones [1]; o como la legislación lo define, como un bien de dominio público administrado por el estado [2], o bien público inajenable e imprescriptible integrante del territorio, como lo plantea la constitución colombiana [3]; lo que es claro es que es un recurso escaso y que está sujeto a la gestión y control del Estado, por lo que para su uso es necesaria una autorización expresa, para el caso de Colombia, del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, que sigue algunos parámetros definidos internacionalmente para que el uso del recurso sea eficiente y sin interferencias, y el pago de una contraprestación para que le sea asignado ese permiso de uso [4].

El proceso de asignación depende de las características de la banda solicitada, del servicio atribuido a dichas frecuencias y de la cantidad de interesados en su utilización, en caso de que sean múltiples interesados, el estado puede optar por la realización de un proceso de subasta público para asignar el espectro [5]. Sin embargo, estos procesos no siempre son 100% exitosos, no siempre se logra recaudar el valor esperado, en ocasiones hay bandas que se ofrecen y quedan sin proponente, entre otras dificultades que han hecho que las metas establecidas de asignación a nivel mundial no se hayan cumplido y que el despliegue de nuevas tecnologías no se esté dando de la manera ágil que se espera [6]. Por tanto, es muy importante hacer un estudio que permita generar un mecanismo que permita priorizar la asignación de espectro, determinar la banda de frecuencia que debe ser asignada de forma prioritaria, o el orden de las asignaciones.

El presente documento busca plantear una propuesta metodológica que permita priorizar la asignación de espectro en Colombia, contemplando múltiples criterios, para ello hace uso del Proceso Analítico Jerárquico, PAJ, una metodología de toma de decisiones multi criterio [7], que para el caso se utilizara como herramienta para lograr una valoración que entregue una lista de prioridades. Los criterios que se contemplan en la metodología son obtenidos a partir del estudio de los procesos que se llevan a cabo para la asignación de espectro en otros países, principalmente de la región, y se clasifican en criterios tecnológicos económicos, Políticos – regulatorios, socioculturales y Ambientales.

La propuesta metodológica debe ser aplicable a cualquier proceso de asignación de espectro en el país que se realice por medio de subasta, pero, para realizar la validación de dicha metodología, se escoge un caso de estudio, la priorización de la asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en Colombia, con base en las bandas de frecuencia propuestas por la ANE, frecuencias debajo de 1 GHz o bandas bajas, entre 1 y 6 GHz o bandas medias y superiores a 6 GHz o bandas altas [8]. Luego de aplicar la metodología se pudo evidenciar la importancia de contemplar estos múltiples criterios y se obtuvo como resultado que las bandas medias deben tener mayor prioridad en su asignación, seguidas de las bajas y por ultimo las altas, sin que esto signifique que las no prioritarias no sean importantes, ya que, como se presenta en el documento, cada una tiene sus fortalezas y es importante en el despliegue efectivo de 5G. Finalmente, y luego de evidenciar la eficacia de la metodología a partir del caso de estudio, se plantea la propuesta metodológica con su correspondiente guía de aplicación, que permita priorizar la asignación de espectro en Colombia.

Para mostrar el proceso descrito, este documento se desarrolla en 7 capítulos, el primero de ellos muestra el marco general del proyecto, es decir, un contexto general de la problemática, o justificación del proyecto, los objetivos, el alcance y la metodología. El capítulo dos se centra en la definición del espectro radioeléctrico, la importancia de su uso eficiente y los conceptos de asignación y otorgamiento de permisos de uso, para cerrar con una identificación de los procesos de asignación en algunos países a partir de sus leyes generales de telecomunicaciones y los últimos procesos de subasta efectuados o en progreso, de modo que se identifiquen los criterios que serán utilizados en la metodología. El capítulo tres, es un estudio de las medidas regulatorias vigentes relacionadas con el

espectro radioeléctrico en Colombia. Por su parte el capítulo cuarto da un contexto de 5G, su evolución y características, enfocado en los requerimientos de espectro radioeléctrico y las bandas definidas en Colombia para este propósito. El Capitulo quinto es el desarrollo paso a paso de la metodología para el caso de estudio de priorizar la asignación del espectro requerido para implementar 5G en el país, con su correspondiente análisis. El capítulo sexto es la propuesta metodológica general, con la explicación del uso de la herramienta básica que permite establecer la priorización de las bandas de frecuencia. Finalmente, el capítulo séptimo presenta las conclusiones del proyecto y las propuestas de trabajos futuros.

## 1 MARCO GENERAL DEL PROYECTO

Según la constitución política de Colombia [3], en su artículo 75, "El espectro electromagnético es un bien público inajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado"; la entidad encargada de dicha gestión en Colombia es la Agencia Nacional del Espectro, ANE; según sus objetivos y funciones referenciados en [9], se resalta el uso eficiente del espectro y su importancia en la masificación de banda ancha inalámbrica, buscando la ampliación de la cobertura y el mejoramiento de los servicios, lo que a su vez lo convierte en un elemento vital para el progreso del país.

La asignación de espectro cobra mayor importancia luego de la nueva ley de modernización del sector [10], ya que en su artículo 9, modifica el artículo 12 de la ley TIC [5], cambiando de 10 a 20 años el permiso para el uso del espectro, lo cual, si bien genera mayor confianza de inversión en los operadores, también causa incertidumbre en algunos sectores que resaltan la deficiente calidad en los servicios y la baja penetración de los mismos, sobre todo en las zonas más alejadas.

Un ejemplo de lo anterior se presenta en la Figura. 1.1, en la que se evidencia que Colombia apenas llegaba en 2018 a un 58.1% de penetración de internet, con 28,5 millones de usuarios, según [11], y llegó a 35,5 millones en enero de 2022 de acuerdo con [12].

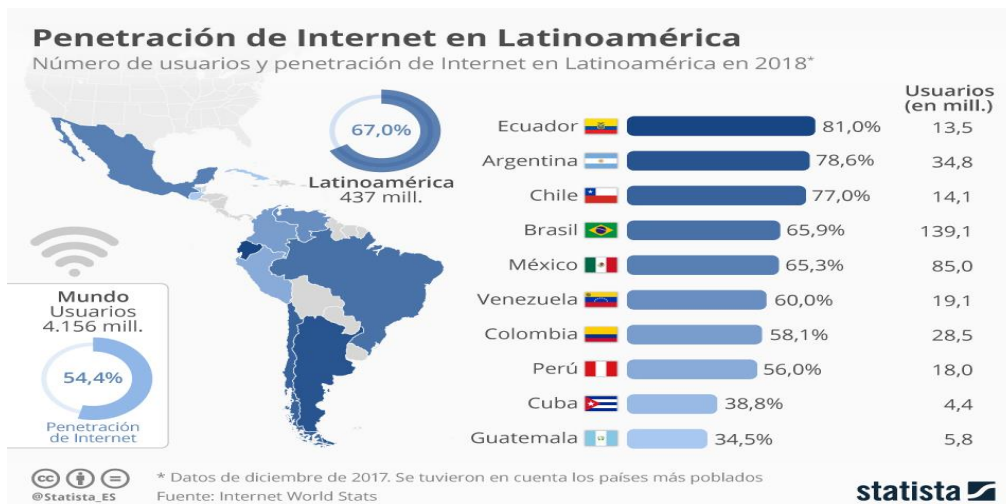


Figura. 1.1 Penetración de internet en América Latina para 2018. Fuente: [11].

Por otro lado, los recursos que ingresan al país luego de estos procesos de asignación son igualmente muy altos. [13], [14], [15], [16], [17] y [18] muestran subastas para espectro de 5G por valores de \$379 Millones en Suiza, \$696 Millones en Estados Unidos, €437,65 millones en España, entre otros, por lo que es de vital importancia tanto una adecuada asignación como una justa valorización del espectro que debe ser fruto de un proceso de priorización de las bandas.

Sin embargo, la Figura. 1.2, muestra como en las tecnologías anteriores este proceso, aunque ha ido avanzando, no ha sido del todo efectivo, para evidenciarlo se contrastan las cifras del boletín trimestral de las TIC, con cifras del cuarto trimestre de 2018, en el cual se observa que de 27,6 millones de conexiones de internet móvil, tan solo 16,2 correspondían a 4G [19], con las del mismo boletín para el cuarto trimestre de 2021, en el que se ven 38 millones de conexiones y de ellas 29.9 millones corresponden a 4G [20].

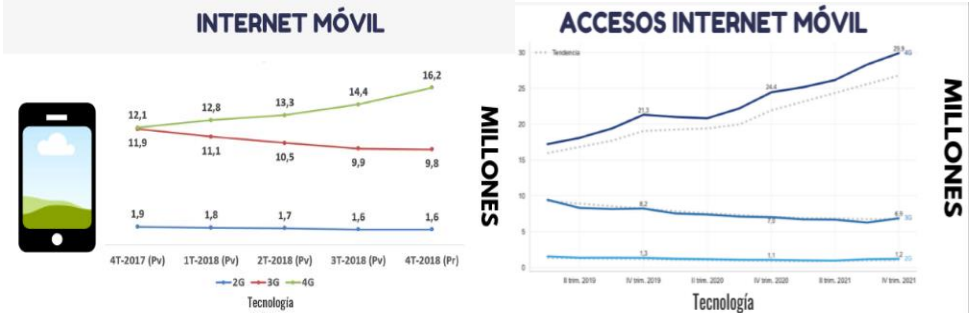


Figura. 1.2. Conexiones de internet móvil por tecnología para 4T de 2018 frente al 4T de 2021.  
Fuente: [19] y [20].

Teniendo en cuenta que el proceso de asignación de frecuencias para 5G debe desarrollarse en un corto plazo, es muy importante corregir los errores cometidos en los procesos anteriores, sin embargo, las condiciones actuales nos son 100% favorables, incluso existen personas que afirman que sin haber terminado la implementación de 4G y sin garantizar cobertura total de esta tecnología, no se recomienda iniciar con 5G; a este punto se suma [6], un análisis realizado por 5G Américas en el que se presenta un estudio de las recomendaciones de UIT para América Latina. Se debe considerar que para septiembre de 2018 el promedio de espectro asignado para servicios móviles era de 363,8 MHz, tan solo el 28% de la recomendación 2015 y solo ocho mercados habían licenciado 390 MHz o más, el 30% de la recomendación 2015. Esta realidad se presenta en la Tabla

1.1, que indica cuan atrasada esta la región en cuanto a asignación de espectro. En el caso particular de Colombia, el país apenas llega a un 27.1% de la asignación de estimación mínima para 2020.

Tabla 1.1. Porcentaje de espectro asignado según la recomendación para 2015 y 2020 de la UIT.

Fuente: [6].

País	Espectro (MHz)	Sugerencia 2015	Sugerencia 2020 (escenario alto)	Sugerencia 2020 (escenario bajo)
Argentina	390	30.0%	19.9%	29.1%
Bolivia	284	21.8%	14.5%	21.2%
Brasil	609	46.8%	31.1%	45.4%
Chile	490	37.7%	25.0%	36.6%
Colombia	362.5	27.9%	18.5%	27.1%
Costa Rica	400	30.8%	20.4%	29.9%
Ecuador	290	22.3%	14.8%	21.6%
El Salvador	244	18.8%	12.4%	18.2%
Guatemala	210.6	16.2%	10.7%	15.7%
Honduras	290	22.3%	14.8%	21.6%
México	584.3	44.9%	29.8%	43.6%
Nicaragua	420	32.3%	21.4%	31.3%
Panamá	240	18.5%	12.2%	17.9%
Paraguay	350	26.9%	17.9%	26.1%
Perú	394.4	30.3%	20.1%	29.4%
República Dominicana	270	20.8%	13.8%	20.1%
Uruguay	395	30.4%	20.2%	29.5%
Venezuela	324	24.9%	16.5%	24.2%
<b>PROMEDIO</b>	<b>363.8</b>	<b>28.0%</b>	<b>18.6%</b>	<b>27.1%</b>

A pesar de lo anteriormente expuesto, aún no existe en el país un mecanismo que permita priorizar la asignación de espectro, por lo que surge la siguiente pregunta problema:

**¿Cómo priorizar de manera eficiente la asignación de espectro en Colombia con base en un esquema que contemple múltiples criterios?**

## **1.1 OBJETIVOS**

### *1.1.1 Objetivo General*

Proponer una metodología para priorizar la asignación del espectro en Colombia, utilizando el proceso analítico jerárquico *PAJ*.

### *1.1.2 Objetivos específicos*

1. Identificar los criterios y procedimientos utilizados para la asignación de espectro en países referentes de diversas regiones del mundo, mediante la elaboración de un estudio comparativo que haga énfasis en lo tecnológico, lo económico, lo regulatorio y lo político.
2. Determinar cómo, las medidas regulatorias vigentes relacionadas con el espectro electromagnético en Colombia pueden afectar su proceso de asignación y consecuente priorización.
3. Proponer una forma de priorizar la asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en Colombia, con base en las bandas de frecuencia propuestas por la ANE, utilizando el proceso analítico jerárquico, *PAJ*.
4. Proponer una metodología con su correspondiente guía de aplicación, que permita priorizar la asignación de espectro en Colombia, con base en lo realizado en el objetivo anterior.

## **1.2 ALCANCE**

El presente proyecto busca plantear una propuesta metodológica para priorizar la asignación de espectro en Colombia con base en un esquema que contemple múltiples criterios, el *PAJ*; lo que implica una herramienta que pueda ser abordada de manera general para cualquier proceso de asignación de espectro que se tenga a futuro en el país, particularmente los que se realicen por medio de subasta. Los criterios que se contemplarán para dicha priorización se determinarán a partir del estudio de los procedimientos que se llevan a cabo en países referentes, principalmente en los que se encuentran en la misma

región de Colombia, que comparten con el país características y contextos similares, pero sin dejar de lado aquellos de otras zonas del mundo que puedan brindar información relevante. Por otro lado, se estudiarán las medidas regulatorias vigentes relacionadas con el espectro en Colombia, de modo que se pueda identificar si afecta el proceso de asignación y priorización de espectro y se documentara la forma en que lo hace.

Para el planteamiento de la propuesta metodológica, se parte de la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico a un caso de estudio, la asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en Colombia, con base en las bandas de frecuencia propuestas por la ANE; teniendo en cuenta este proceso y su respectiva validación, se plantea la propuesta metodológica general para priorizar la asignación de espectro en Colombia y se realiza una guía de aplicación de esta.

### **1.3 METODOLOGÍA**

El desarrollo del actual proyecto se abordará desde los 4 objetivos específicos, es decir, cada uno de estos se manejará como una etapa del proyecto. Los dos primeros objetivos, identificar los criterios y procedimientos utilizados para la asignación de espectro en países referentes de diversas regiones del mundo, y determinar cómo las medidas regulatorias vigentes pueden afectar el proceso de asignación y priorización del espectro en Colombia, se pueden desarrollar de manera simultánea; siendo estos parte de una fase de planificación del proyecto, lo que brindará las herramientas suficientes para iniciar el desarrollo del tercer objetivo, proponer una forma de priorizar la asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en Colombia, utilizando el proceso analítico jerárquico (PAJ); etapa en la que no solo se realiza el desarrollo de la metodología PAJ, sino que permite la verificación de la misma para alcanzar el objetivo, es decir, será la validación en un caso de estudio para posteriormente plantear una propuesta metodológica que permita priorizar la asignación de espectro en Colombia, de forma general, y realizar la correspondiente guía de aplicación de la metodología. Lo anterior corresponde al cuarto objetivo, el cual deberá interactuar con el tercero, es decir, los resultados de la validación serán los que determinen la propuesta metodológica final. Este proceso se ilustra en la Figura. 1.3.

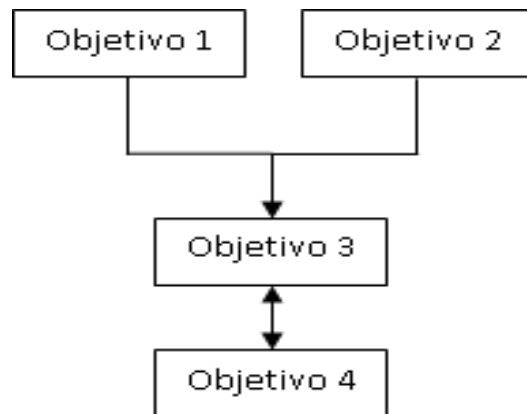


Figura. 1.3. Ilustración de las 4 etapas de la metodología, con base en los objetivos.

Igualmente, es importante en esta sección hacer referencia a la metodología PAJ, Proceso Analítico Jerárquico, el cual será utilizado para el planteamiento de la propuesta metodológica. El PAJ hace parte del análisis de decisiones multicriterio (MCDM), su objetivo es ayudar a los individuos o grupos a tomar decisiones en las que se ven involucrados diferentes puntos de vista y diversos interesados [7]; El PAJ permite determinar los pesos y ponderaciones de los múltiples criterios y los estandariza para poder realizar una comparación entre ellos [21]. En este caso, más que una decisión, se tomara la ponderación como elemento de priorización de las bandas de frecuencia que serían asignadas, en este proceso se deben tener en cuenta no solo múltiples criterios como lo económico, lo tecnológico, lo político o lo regulatorio, sino también la visión que diversos expertos tengan de estos.

No se tienen pasos definidos para el PAJ, sin embargo, una revisión de literatura en [7], [21], [22], [23] y [24] muestra la aplicación de la metodología en procesos de selección de tecnologías, presentan estructuras similares, y donde se plantean inicialmente las siguientes etapas:

- Estructurar el problema como una jerarquía de decisión, que incluya el objetivo, que para el caso general es, priorizar la asignación de espectro en Colombia y para el caso de estudio, priorizar la asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en el país. La definición de las alternativas, correspondientes a las bandas de frecuencia que serán estudiadas, en el caso de 5G, las ya

propuestas por la ANE. Y la elección de los criterios y los subcriterios correspondientes, esto, según la identificación de los criterios vistos en el estudio de procedimientos utilizados para la asignación de espectro en países.

- Recolectar la información correspondiente a cada una de las alternativas, en este caso, cada una de las bandas de frecuencia, teniendo en cuenta los criterios que se fijaron en el paso anterior.
- Comparar los elementos de decisión por parejas en cada nivel de la jerarquía, lo que lleva a la ponderación de los criterios.
- Calcular las prioridades relativas de los elementos de decisión en cada nivel.
- Valorar las bandas de frecuencia para cada uno de los criterios de decisión.
- Calcular la prioridad global de las alternativas, lo que indicará la prioridad de la banda de frecuencia en el proceso de asignación de espectro.
- Analizar los resultados, y realizar un estudio de sensibilidad y el correspondiente informe final.

## **2 CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ESPECTRO EN EL MUNDO**

En el capítulo inicial de este documento se da el planteamiento general del proyecto, particularmente en el numeral 1.1 se plantean los objetivos que buscan ser un proceso que sustentado en la metodología permitirán llegar a plantear la propuesta metodológica para priorizar la asignación del espectro en Colombia, utilizando el proceso analítico jerárquico PAJ. Este capítulo propone desarrollar el primer objetivo específico, relacionado con la identificación de los criterios y los procedimientos utilizados para la asignación de espectro en países referentes de diversas regiones del mundo, mediante la elaboración de un estudio que haga énfasis en lo tecnológico, lo económico, lo regulatorio y lo político.

Para esto, se presentará una visión general del concepto de espectro radioeléctrico, la importancia de su uso eficiente y una breve introducción a lo que es la asignación y otorgamiento de permisos para su utilización; a partir de esto, se expone el papel de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT y los países que la componen para escoger dentro de estos los que por sus características serán objeto del estudio comparativo que permitirá identificar los criterios más importantes dentro de los factores ya mencionados, y los procedimientos utilizados en dichos países para la asignación de espectro.

### **2.1 EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO**

En el capítulo 1, marco general del proyecto, se citó el concepto dado por [3] de espectro electromagnético, como bien público inajenable e imprescriptible; adicionalmente, [1] lo define como elemento integrante del territorio, desde lo técnico como "una franja de espacio alrededor de la tierra a través de la cual se desplazan las ondas radioeléctricas que portan diversos mensajes sonoros o visuales", y como un bien estratégico para el desarrollo de las telecomunicaciones. El segmento particular del espectro radioeléctrico, utilizado para la transmisión de las señales de telecomunicaciones se subdivide de forma general como se

muestra en la Figura. 2.1; dicho segmento, de acuerdo con el artículo 8 de [10], requiere para su uso de permiso previo y expreso por parte del Ministerio TIC, y su uso da lugar a una contraprestación económica para el Estado, la cual es administrada por el Fondo Único de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, según lo estipulado en el artículo 10 de la misma ley.



Figura. 2.1. Subdivisión general del espectro radioeléctrico. Fuente: [25].

En lo que corresponde a la gestión de frecuencias, son importantes 3 conceptos; atribución, que corresponde a la inscripción en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias [26], CNABF, del cual se encarga la ANE, de una banda de frecuencias determinada; adjudicación, que es la inscripción de un canal determinado en un plan; y, por último, asignación, autorización para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado [4].

### 2.1.1 Importancia del uso eficiente del espectro

De acuerdo con [27], para algunos países el negocio de servicios TIC inalámbricos representan hasta el 10% del producto interno bruto, sin contar con la contribución indirecta a otros negocios, y más si con él un uso eficiente del espectro se pueden generar nuevos servicios y mejores tarifas lo que dará un impacto positivo en la economía nacional. Teniendo en cuenta que apenas una parte del espectro, 300 MHz-3 GHz, cuenta con las más óptimas características (rangos de transmisión y anchos de banda) para soportar los servicios, es aún más importante la adecuada gestión de este recurso.

Desde lo administrativo, la gestión debe contemplar la utilización del espectro para defensa y seguridad nacional, para la aplicación de la ley y la garantía de la salud pública y la vida; así como el transporte. Igualmente, para las redes y servicios de telecomunicaciones públicos o comerciales, así como para las actividades de investigación.

Por otro lado, en lo económico se deben tener en cuenta las leyes de oferta y demanda, contemplar el mercado secundario del espectro radioeléctrico, garantizar que los recaudos de utilización autofinancien a la administración, contemplar la mejora de la infraestructura del país, realizar asignación oportuna para nuevos servicios teniendo en cuenta las dinámicas del mercado. También es importante regular los precios de espectro para que sean objetivos y no discriminatorios; y finalmente buscar que las bandas con uso ineficiente se puedan devolver para ser reasignadas si es necesario.

En el caso de lo técnico, es importante considerar el constante desarrollo de las radiocomunicaciones; el uso eficiente del espectro significa es la maximizar el número de usuarios, teniendo presente el número de canales disponibles y su utilización. Se debe garantizar neutralidad tecnológica, evitar interferencias y fomentar la introducción de tecnologías más eficientes.

Finalmente, es importante destacar que [28] presenta los fundamentos tanto nacionales como internacionales para la gestión del espectro radioeléctrico; en el caso nacional, destacando las razones sociales, jurídicas, técnicas y económicas, lo cual será un insumo de gran importancia para el desarrollo del proyecto. Todo lo anterior, junto con la presentación del diseño de políticas para la gestión y control del espectro.

### *2.1.2 Asignación y otorgamiento de permisos de uso de espectro*

Luego de considerar la importancia del uso eficiente y la gestión del espectro, se debe considerar la asignación de este, caso de estudio del trabajo propuesto. Según [29], para la asignación es importante tener en cuenta la naturaleza de las bandas de frecuencia, la destinación o uso, atribución, la disponibilidad, el grado de ocupación y el tiempo de asignación.

En [30] se presentan las políticas colombianas de asignación del espectro, se exponen los aspectos técnicos a tenerse en cuenta, al igual que los procedimientos generales para el otorgamiento de licencias de asignación de frecuencias, si son a solicitud de la parte interesada o si se realiza por selección objetiva; las consideraciones para propósitos no comerciales, uso oficial o uso libre; para propósitos comerciales, prestación de servicios de

telecomunicaciones u operación de redes; si son para uso provisional o con fines comerciales por subasta

### *2.1.3 El papel de la Unión Internacional de Telecomunicaciones*

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es una organización internacional que gestiona el espectro radioeléctrico a nivel global, está compuesta por 193 estados y más de 900 miembros entre empresas, universidades y organizaciones del sector, fue fundada como fundada en 1865 como Unión Telegráfica Internacional, y tomo su nombre actual en 1932 [31].

La UIT promueve el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones con el fin de poder conectar a cada una de las personas del mundo, busca igualmente la armonización de las políticas de telecomunicaciones entre los estados que la conforman, y se encarga también de dar recomendaciones en torno a regulación y normalización de los servicios de radiocomunicaciones, junto con la gestión internacional del espectro y las órbitas satelitales [32]. Para estos propósitos, UIT cuenta con la secretaria general y tres sectores, el de normalización, el de desarrollo y el de radiocomunicaciones.

UIT- R, o el sector de radiocomunicaciones de la UIT, se encarga de la gestión del espectro radioeléctrico a nivel global, por lo que, sus principales funciones son las de crear un reglamento, en el cual se establece que medidas se deben tener en cuenta a la hora de la atribución de las diferentes frecuencias, también debe realizar revisiones y controles constantes a las normativas, esto con el fin de poder actualizarlas a las nuevas necesidades o cualquier cambio que se pueda presentar, otra de sus funciones es establecer los derechos y deberes que tienen aquellas organizaciones que hacen uso del espectro, además la UIT debe brindar la respectiva información y asistencia para todos los miembros que hacen uso de sus recomendaciones; cada 4 años se realizan Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR), en las cuales se tratan estos temas, los cuales son trabajados durante los periodos entre cada CMR por comisiones de estudio, designadas por áreas particulares de estudio [33].

Sus principales funciones son las de crear un reglamento, en el cual se establece que medidas se deben tener en cuenta a la hora de repartir las diferentes frecuencias, también debe realizar revisiones y controles contantes a las normativas, esto con el fin de poder actualizarlas a las nuevas necesidades o cualquier cambio que se pueda presentar, otra de sus funciones es establecer los derechos y deberes que tienen aquellas organizaciones que hacen uso del espectro, además la UIT debe brindar la respectiva información y asistencia para todos los miembros que hacen uso de sus recomendaciones [33].

La UIT además de gestionar las frecuencias del espectro radioeléctrico, con el fin de hacer el mejor uso posible de este recurso, por medio de recomendaciones para su correcta administración y uso, también promueve el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones con el fin de poder conectar a cada una de las personas del mundo, y así mismo ofrecerles la mejor calidad de estos servicios de conexión [32].

## **2.2 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN ASIGNACIÓN DE ESPECTRO**

### *2.2.1 Regiones y países de la UIT*

La UIT cuenta con oficinas en diversas regiones del mundo, con lo que garantiza un contacto directo con las entidades u organizaciones nacionales y regionales. para este efecto se consideran 6 regiones: África, Américas, Estados Árabes, Asia y Pacífico, Europa y Comunidad de Estados Independientes (CEI), regiones donde las prioridades son el fomento de la transformación digital, el enfoque en garantizar conectividad para los sectores que no cuentan con conexión y el desarrollo de las TIC de cara a los objetivos de desarrollo sostenible 2030 [34].

Sin embargo, para lo correspondiente a la distribución de frecuencias, la UIT se divide en 3 regiones que procuran armonizar sus atribuciones de frecuencia de manera interna, estas son: Región 1, Europa, África, Medio Oriente, Mongolia y las Repúblicas que fueron parte la Unión Soviética; Región 2, Américas; y Región 3, el resto del mundo, particularmente países asiáticos y de Oceanía [31]; dicha división se presenta de forma detallada, por coordenadas, en el artículo 5 “atribuciones de frecuencia” del Reglamento de Radiocomunicaciones, [35], y se presenta en la Figura. 2.2.

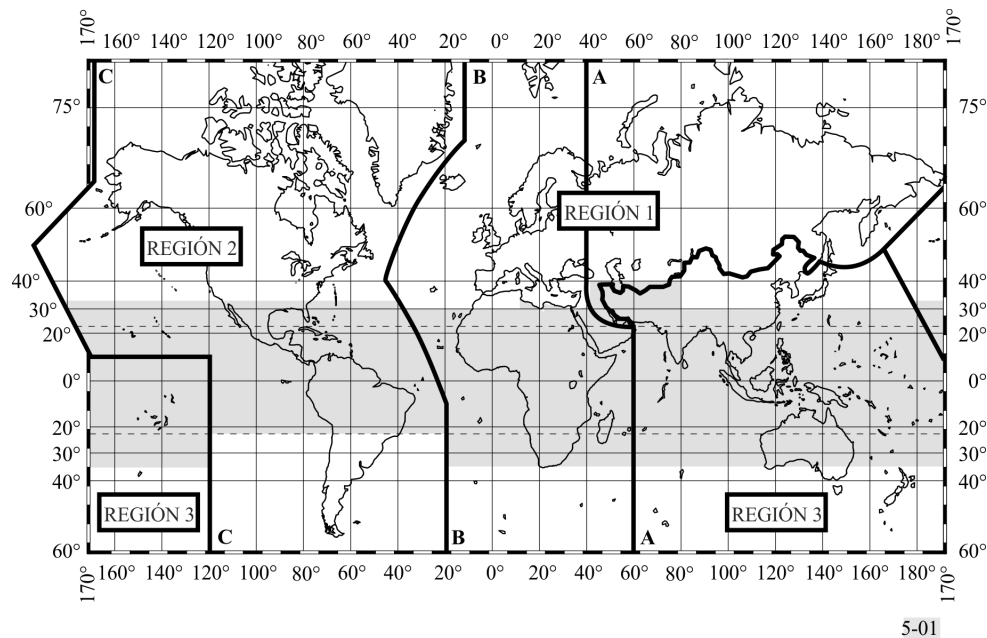


Figura. 2.2. Regiones de UIT para atribución de frecuencias. Fuente: [35].

De acuerdo con la división regional de UIT para el tema de frecuencias, se escogerán 4 países de la región 2, a la que Colombia pertenece, ya que estos poseen características socioculturales, económicas y políticas, similares a las del país. Adicionalmente se tomará un país de la región 1 y otro de la región 3, con el fin de incluir en el estudio las experiencias de países con otras características.

### 2.2.2 Países escogidos para el estudio

#### ➤ **Costa Rica**

Costa Rica es un país centroamericano, ubicado en la región 2 de UIT, con un área total de 51.100 Km<sup>2</sup> [36], que cuenta, según proyección, para 2022, del Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC [37], con 5.213.362 habitantes. En cuanto al mercado de telecomunicaciones, se destaca que generó 728.440 millones de colones en 2020 según [38]. El sector se encuentra en cabeza del Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones, MICITT, particularmente en el Viceministerio de Telecomunicaciones, que cuenta con tres direcciones, Dirección Espectro Radioeléctrico y Redes de Telecomunicaciones, Dirección de Evolución y Mercado de Telecomunicaciones, y

Dirección de Concesiones y Normas [39]; sus acciones se encuentran apoyadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones, SUTEL, encargada de regular el mercado de las telecomunicaciones, defender los derechos de los usuarios, vigilar el mercado, administrar el Fondo nacional de Telecomunicaciones, FONATEL, y velar por el uso eficiente del espectro radioeléctrico [40].

En Costa Rica, la Ley General de Telecomunicaciones es la Ley 8642 del 4 de junio de 2008, [41], la cual llegó a actualizar la Ley de Radio, Ley 1758 del 19 de junio de 1954. En lo referente a espectro, esta ley tiene entre sus objetivos asegurar la eficiente y efectiva asignación, uso, explotación y administración de este recurso. El capítulo 2 de la ley está destinado entonces a desarrollar lo referente al espectro radioeléctrico, desde su concepto como bien de dominio público; los objetivos de la planificación, administración y control, enfocados en optimizar su uso, garantizar su asignación de forma justa y transparente, y asegurar su explotación de forma eficiente y sin interferencias; la clasificación del espectro en uso comercial, no comercial, oficial, para seguridad, socorro y emergencia, y de uso libre; se definen procedimientos de concesión y permisos de uso del espectro, en este aspecto se destacan, el establecimiento de modalidades de uso y zona de cobertura, además de las obligaciones de acceso y servicio universal, es importante resaltar que Las concesiones de frecuencias se hacen por 15 años, prorrogables hasta 25, por su parte las autorizaciones se otorgarán por máximo 10 años, prorrogables hasta por 3 periodos de 5 años [41].

Las solicitudes de permisos de uso de frecuencias, según [42], dependen del uso para el que sean destinadas: para uso no comercial, oficial, así como seguridad, socorro y emergencia se presenta solicitud ante el Viceministerio de Telecomunicaciones del MICITT, quien lo remite a SUTEL para el correspondiente dictamen técnico, en el cual se basa el MICITT para otorgar o no el permiso respectivo, lo que finalmente se notifica al interesado. Para solicitud de concesión directa (enlaces microondas y satelitales), se presenta igualmente la solicitud al MICITT, SUTEL da dictamen técnico y además solicita una audiencia al interesado para valorar aspectos técnicos de la solicitud, para que el MICITT otorgue o no la concesión directa. Para frecuencias de usos comercial se realiza concurso público.

En cuanto a procesos de asignación, recientes o futuros, en Costa Rica, se resalta el documento de “Informe sobre asignación de espectro para despliegue futuro de redes 5G desde la perspectiva de la competencia”, [43], en el que se identifica espectro para despliegue 5G en tres rangos, bandas bajas (menores 1GHz), Bandas medias (entre 1 GHz y 6 GHz) y Bandas altas (mayores a 24 GHz), cada uno con sus características o propiedades físicas, como cobertura, capacidad o latencia, las cuales son necesarias para los desarrollos proyectados para la tecnología, por lo que se concluye que, sólo a través de una combinación de frecuencias distribuidas en los 3 rangos, se garantiza un exitoso despliegue de la tecnología, por lo que es necesario un fuerte trabajo en la gestión del espectro. En este sentido, el documento cita varias experiencias internacionales, en los que destaca la actualización de políticas para fomentar la inversión en redes 5G, la eliminación de barreras regulatorias y de trámites para el despliegue de infraestructura, entre otros.

Costa Rica podría, según [43], licitar espectro de forma inmediata, sobre todo en bandas altas, sin embargo, destaca la necesidad de recuperar espectro ocioso, usado de manera ineficiente o con impedimentos legales, principalmente en bandas medias, lo que implica para cualquier proceso de asignación, la evaluación de la disponibilidad actual de espectro y la viabilidad legal de regular sobre las frecuencias. Por otro lado, en lo referente a la regulación, se plantea la concentración de espectro actualmente asignado al Instituto Costarricense de Electricidad, ICE.

El mismo documento reconoce a 5G como un cambio tecnológico profundo, por lo que plantea un gran impacto en el mercado del sector, que igualmente se verá reflejado en la sociedad. También, cita a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE, en lo referente a los beneficios económicos que puede traer 5G, en cuanto a su alto potencial tecnológico que lo sitúa como habilitador de nuevos negocios, con lo que finalmente, en los objetivos de la implementación, habla de potenciar el uso y aprovechamiento de la tecnología en función de la calidad de vida de los habitantes [43].

Por otro lado, se cuenta con el documento de “Propuesta de informe adicional sobre los insumos técnicos, registrales, de mercado y condiciones para un eventual proceso concursal en las bandas de frecuencias de 700 MHz, 2300 MHz, 3300-3400 MHz, 26 GHz y 28 GHz para la prestación de servicios de telecomunicaciones disponibles al público a través de sistemas IMT”, [44], en el cual se presentan las consideraciones para eventual

proceso de subasta en costa rica, entre ellas, resulta relevante destacar el apartado de metodologías de pago alternativas, donde se habla de pagos monetarios diferidos, o las obligaciones de despliegue, como alternativa al pago monetario, destacando entonces la contraprestación por el permiso de uso como criterio a tener en cuenta para la asignación.

También [44] en el apartado “respecto al estudio de mercado”, reconoce a los ciudadanos como eje transversal sobre el que se diseña la política pública, por lo que es muy importante el análisis de las implicaciones de la posible subasta sobre los usuarios finales. De igual manera, contempla el análisis de precios, junto con el de competencia y estructura de mercados, donde es importante evaluar el interés de los operadores y la posibilidad de consolidar una competencia efectiva, e incluso la llegada de un nuevo operador al mercado. Finalmente, se piensa en las implicaciones en materia de brecha digital.

#### ➤ **México**

México es un país ubicado en la región 2 de UIT, el cual, según censo realizado en 2020 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI [45], cuenta con 126.014.024 habitantes. El sector se encuentra en cabeza de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, SICT, particularmente la Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico cuyos objetivos van desde el impulso del despliegue de infraestructura, la promoción de la cobertura social y el acceso a Internet, la transformación digital, hasta el desarrollo tecnológico de las telecomunicaciones y la radiodifusión, junto con la elaboración y evaluación de Políticas Públicas [46]. Igualmente, México cuenta con el Instituto Federal de Telecomunicaciones, IFT, del cual hace parte la Unidad de Espectro Radioeléctrico, encargada de la regulación, promoción y supervisión del uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico [47].

México cuenta con la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión [2], expedida el 14 de julio de 2014, en la cual, su título tercero hace referencia al espectro radioeléctrico, al que define como bien de dominio público de la Nación, cuya titularidad y administración corresponde al Estado. Igualmente, clasifica el espectro en, espectro determinado, que puede ser utilizado a través de concesiones para uso comercial, social, privado y público;

espectro libre; espectro protegido; y espectro reservado. El título cuarto define las concesiones, para uso comercial, público, privado o social; para el caso de las de uso comercial o privado, se otorga a través de licitación pública previo pago de una contraprestación, además que el IFT considera factores como la propuesta económica; la cobertura, la calidad e innovación; compromisos de inversión; menores precios para el usuario final; prevención de concentración; o la posible entrada de nuevos competidores al mercado.

Al igual que [43] para el caso de Costa Rica, México presenta el documento “Panorama del espectro radioeléctrico en México para servicios móviles de quinta generación”, [48], en el identifica los rangos de bandas para el despliegue de 5G, Frecuencias bajas (inferiores a 1 GHz), medias (entre 1 y 6 GHz) y altas (superiores a 6 GHz), con sus características que determinan su utilidad según los requerimientos de las aplicaciones, en cobertura, velocidad y latencia. Igualmente se considera la perspectiva técnica; las tendencias de armonización a nivel regional y mundial; la estandarización; la planificación realizada por el IFT y el posible reordenamiento de algunas bandas; y las recomendaciones de los organismos internacionales.

Por último, es importante destacar el factor de obligaciones de cobertura geográfica contemplado en el documento “Bases de la Licitación Pública para concesionar el uso, aprovechamiento y explotación comercial de segmentos de espectro radioeléctrico disponibles en las Bandas de Frecuencias 814-824 / 859-869 MHz, 1755-1760 / 2155-2160 MHz, 1910-1915 / 1990-1995 MHz y 2500-2530 / 2620-2650 MHz para la prestación de servicios de Acceso Inalámbrico”, [49], donde se establece que los concesionarios estarán obligados a cumplir con la prestación de los servicios de acceso inalámbrico con tecnología 4G o superior, en las zonas y bajo las condiciones previstas en el documento.

### ➤ **Brasil**

Brasil es un país ubicado en la región 2 de UIT, con una población urbana de 160.925.792 y rural de 29.830.007, de acuerdo con los datos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística, IBGE, en su censo del 2020, [50]. El sector de las telecomunicaciones se

encuentra en cabeza del Ministerio de Comunicaciones, anteriormente anexo al Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación; apoyado por la Agencia Nacional de Telecomunicaciones, ANATEL. En lo referente al espectro radioeléctrico, ANATEL cuenta con el Comité de Uso del Espectro y la Órbita, CEO, por sus siglas en portugués; y con la Superintendencia de Otorgamiento y Recursos para la Provisión, SOR por sus siglas en portugués. El primero apoya la toma de decisiones respecto al plan de atribución, asignación y distribución de bandas de radiofrecuencia y tiene como principios la seguridad de las comunicaciones, la racionalización del uso del espectro y la armonización de los planes de uso del espectro [51]. Y la segunda, la SOR, encargada de supervisar y gestionar el uso del espectro; elaborar reglamentos técnicos para la asignación, destino y condiciones de uso; realizar los procesos de licitación para otorgar concesión y autorización de uso de frecuencias; entre otras [52].

La ley general de telecomunicaciones, ley 9472 [53], expedida el 16 de julio de 1997, posteriormente modificada por la ley 13879 del 3 de octubre de 2019, [54], rige el sector en Brasil; esta ley dedica su título quinto al espectro radioeléctrico, al que reconoce como recurso limitado y bien público bajo la administración de ANATEL. En su capítulo 2 de Autorización para el Uso de Radiofrecuencia, artículo 164, hace referencia a los procesos de licitación para los cuales cita los principios constitucionales que reglamentan este proceso, dados en el artículo 89, entre los que se destaca que, se elija a quién pueda ejecutar, ampliar y universalizar el servicio con eficiencia, seguridad y tarifas razonables. Entre las modificaciones dadas por [54], es importante resaltar el nuevo plazo máximo de una concesión, el cual será de 20 años, prorrogables por períodos iguales.

Igualmente, ANATEL expidió en 2016 la resolución 671, Reglamento para el Uso del Espectro de Radiofrecuencias, del cual, es importante resaltar el artículo 38 de la sección cuarta, donde se refiere a los criterios para el dictamen de las licitaciones por el derecho de uso de radiofrecuencias, entre los que se encuentran: el mayor precio ofrecido por el derecho de uso; la mayor oferta de servicios, en cuanto a cobertura y cobertura de áreas con bajo índice de desarrollo; la preferencia por servicios de interés colectivo; la garantía de menor tiempo para cumplir con los compromisos asumidos; la menor tarifa para los usuarios; los proyectos de inclusión digital y social; las inversiones en investigación,

desarrollo e innovación tecnológica; y los compromisos asumidos de los listados en la licitación [55].

Con respecto a las licitaciones recientes, se destaca la subasta de espectro 5G, por las bandas 700 MHz, 2.3 GHz, 3.5 GHz Y 26 GHz, de la cual, en [56], se presenta toda la información del proceso, con condiciones particulares para cada una de las bandas. Sin embargo, se deben destacar Compromisos integrales de la subasta, obligaciones de servicio para los adjudicatarios, como por ejemplo: atender 5570 cabeceras municipales con 5G entre 2022 y 2029, según un calendario específico; 1700 ubicaciones mas con 5G para el 31 de diciembre de 2030; atender 7430 localidades con tecnología 4G o superior, entre 2023 y 2025; 2349 tramos de carretera con 4G, totalizando 35,784 km en los mismos años; implementar backhaul de fibra óptica en 530 cabeceras municipales; e Invertir 3,1 mil millones de reales para conectividad de escuelas públicas [57].

#### ➤ **Estados Unidos**

Estados Unidos es un país ubicado en la región 2 de UIT, con una población de 332.830.651 según la oficina del censo [58]. En el sector de las telecomunicaciones, cuenta con la Administración Nacional de Telecomunicaciones e Información, NTIA, por sus siglas en inglés, National Telecommunications and Information Administration, y con la Comisión Federal de Comunicaciones, FCC, por sus siglas en inglés, Federal Communications Commission; según lo plantea la Asociación Nacional de Radioaficionados, ARRL, por sus siglas en inglés, The National Association for Amateur Radio, en [59], las responsabilidades de la NTIA y la FCC son claramente distintas, la NTIA tiene jurisdicción sobre todas las comunicaciones del gobierno federal, y la FCC sobre todo lo demás; por otro lado, la FCC es una agencia independiente con supervisión del Congreso, mientras la NTIA hace parte del poder ejecutivo, A pesar de sus diferencias, las dos agencias trabajan de forma coordinada.

La NTIA cuenta con la Oficina de Gestión de Espectro, OSM, por sus siglas en inglés, Office of Spectrum Management, encargada de administrar el uso del espectro por parte del gobierno federal, esto lo hace mediante el establecimiento de políticas de asignación y reglamentos para el uso federal del espectro; el mantenimiento de las bases de datos de uso del espectro; la revisión de los nuevos sistemas de telecomunicaciones de las agencias

federales y la certificación del espectro disponible para estos; la preparación para emergencias relacionadas con las comunicaciones del gobierno federal; entre otras [60].

La FCC, por su parte, tiene la Oficina de Telecomunicaciones Inalámbricas, WTB, por sus siglas en inglés, Wireless Telecommunications Bureau, y es la encargada de reglamentar las telecomunicaciones inalámbricas a nivel nacional, además de implementar los procesos de la licitación de las subastas del espectro [61].

Con respecto a las subastas, es importante hablar sobre el espectro destinado para 5G en los Estados Unidos: bandas altas, en las que ya se concluyeron subastas en bandas de 28GHz, 24GHz, 37GHz, 39GHz y 47GHz; bandas medias, con trabajo en las bandas de 2.5GHz, 3.5GHz, 3.7GHz y 4.2GHz; banda baja, donde se han propuesto cambios en las bandas de 600MHz, 800MHz y 900MHz; y finalmente, el reconocimiento de las bandas sin licencia, para aplicaciones que soportarían el ecosistema 5G, como la próxima generación de Wi-fi en bandas de 6GHz y más de 95GHz. En todos estos casos bajo la premisa de garantizar el crecimiento económico, por lo que han venido modernizando medidas regulatorias, con acciones como la creación del fondo 5G para la América rural, que brinda apoyo económico a los proveedores para la implementación de servicios 5G avanzados en las zonas rurales, lo que invita a considerar la importancia del impacto que ve Estados Unidos en las zonas rurales y agrícolas [62].

Como ejemplo se toman dos de los últimos procesos de subasta realizados, en 2018 las subastas 101 y 102, publicadas de manera conjunta, para las bandas 28GHz y 24GHz respectivamente, [63], y en proceso para 2022 la subasta 108, correspondiente a la banda 2.5GHz, [64], es de resaltar que las asignaciones se realizan de forma regional, es decir, no se asignan frecuencias a nivel nacional, sino por zonas conforme se estipula en los documentos. Ambos documentos presentan la información general sobre el proceso de subasta, los requerimientos de aplicación, procedimientos de la subasta y elementos a considerar antes, durante y después de la subasta. En cuanto a criterios a tener en cuenta en la subasta, se resalta la distinción de zonas conocidas como tierras tribales, zonas de asociaciones de tribus o rancherías, las cuales generan beneficios para los licitadores o proponentes, como créditos especiales, en caso de optar por ellas. Por otro lado, se consideran elementos como el análisis de las implicaciones económicas y técnicas de un despliegue en las zonas determinadas y para las frecuencias dadas; igualmente, se destaca

la importancia de la coordinación internacional para las regiones de frontera con Canadá o México; y por último, requisitos de tipo ambiental, como seguir los procedimientos definidos por la Ley Nacional de Política Ambiental, NEPA, por sus siglas en inglés, National Environment Policy Act, y otras leyes ambientales, para la construcción de algunos tipos de instalaciones de comunicaciones, la elaboración de una evaluación ambiental previa que considere el impacto sobre la fauna y la flora de la región, la consulta previa a comunidades tribales y la evaluación de si la infraestructura instalada puede causar efectos adversos en las propiedades históricas o de importancia tribal, entre otros aspectos.

### ➤ **España**

España es un país ubicado en la región 1 de UIT, según el Instituto Nacional de Estadística, INE, cuenta con 47.432.805 habitantes [65]. El sector se encuentra en cabeza del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, encargado, como lo plantea [66], de la política económica, la transformación digital, y el desarrollo y fomento de la inteligencia artificial y las reformas en pro de la competitividad, las telecomunicaciones y la sociedad de la información. Dentro de los órganos superiores del ministerio se encuentra la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales, con competencias sobre el impulso del sector, el despliegue de infraestructuras y la conectividad, por lo que posee funciones de regulación [67].

España cuenta con la ley 9 de 2014, o Ley General de Telecomunicaciones, [68], que tiene entre sus objetivos y principios, establecidos en el artículo 3, los incisos c y g, referidos a la promoción del despliegue de redes y fomento de la conectividad y la interoperabilidad; y al uso eficaz de los recursos limitados de telecomunicaciones, como el espectro radioeléctrico, y su adecuada protección. Para el cumplimiento de estos objetivos, el título quinto trata del dominio público radioeléctrico, al que define como un bien de dominio público, cuya titularidad y administración corresponden al Estado, y al que le reconoce un importante valor social, cultural y económico, además de destacar la necesidad de establecer cooperación con otros Estados miembros de la Unión Europea para desarrollar planificación estratégica, coordinación y armonización.

Entre las Facultades del Gobierno para la administración del dominio público radioeléctrico, establecidos en el artículo 61 de [68], además de lo referente a planificación y control, se

destaca el inciso c, procedimientos, plazos y condiciones para la habilitación del ejercicio de los derechos de uso del dominio público radioeléctrico, para lo que la ley contempla como criterios referentes para la asignación, entre otras, la tecnología que será implementada; la relevancia y el impacto que los servicios desplegados pueda tener sobre el mercado y la población; las bandas de frecuencia, sus particularidades y cuanto pueden ser aprovechadas de cara al futuro. Por supuesto, el factor económico es igualmente importante, la valoración económica para el interesado del uso del espectro, dado que éste es un recurso escaso y, las ofertas presentadas por los participantes en la licitación.

Con el objetivo de garantizar el uso eficaz y eficiente del espectro, además de la consecución de los máximos beneficios para los usuarios, y garantizar el desarrollo de la competencia, se pueden limitar el número de concesiones, por lo que se debe desarrollar proceso licitatorio que respete los principios de publicidad, concurrencia y no discriminación para las partes. Para estos procesos la duración de los derechos de uso privativo es de mínimo 20 años, prorrogables por mínimo 5 y máximo 20 años, según criterios como, uso eficaz y eficiente; objetivos de cobertura territorial y de población, de alta calidad y velocidad, de cobertura de los grandes corredores de transporte; también se consideran las aportaciones al desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones inalámbricas; protección de la seguridad de la vida humana, así como de orden público, seguridad pública o seguridad nacional; junto con los compromisos establecidos en la licitación de [68]; los anteriores criterios, si bien se establecen en la ley como referentes para procesos de prórroga, pueden ser igualmente tenidos en cuenta como criterios de priorización.

Lo anteriormente expuesto se desarrolla con mayor detalle en reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico, Real Decreto 123 de 2017, [69]. Sin embargo, es importante hablar sobre una de las últimas licitaciones abierta por el gobierno español, la subasta de la banda 700MHz, o subasta 5G, la cual se abre en 2021. Esta subasta sigue los procesos descritos previamente, como adicionalmente, es importante destacar que las cláusulas 24 y 25 presentan las obligaciones genéricas y específicas de cobertura en la banda, que deben ser satisfechas de manera progresiva entre 2022 y 2025, según cronograma y porcentajes establecidos en municipios, aeropuertos, puertos, estaciones de ferrocarril y carreteras mencionadas en los apéndices del mismo documento [70].

## ➤ **Australia**

Australia es un país ubicado en la región 3 de UIT, el cual, según censo realizado en 2021 por la Oficina Australiana de Estadística (Australian Bureau of statistics), cuenta con 25.422.788 habitantes [71]. El sector se encuentra en cabeza del Departamento de Infraestructura, Transporte, Desarrollo Regional, Comunicaciones y Artes (Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and The Arts), el cual maneja el tema de espectro radioeléctrico desde su seccional de Medios, Comunicaciones y artes [72]. Igualmente existe la Autoridad Australiana de Comunicaciones y Medios, ACMA, por sus siglas en inglés, Australian Communications and Media Authority, una entidad independiente que regula los servicios de comunicaciones y medios [73].

En Australia rige la Ley de Radiocomunicaciones de 1992, [74], actualizada en el año 2021; en ella se establece que el Ministerio debe proporcionar orientación sobre políticas y prioridades de alto nivel, las cuales deben ser implementadas por ACMA en lo referente a la gestión del espectro, incluyendo, la asignación de este [75].

Según la ACMA en [76], las licencias de espectro tienen validez hasta por 20 años y pueden ser comercializadas como activos. Ya que la demanda de espectro supera a la oferta, lo más común es otorgar las licencias a través de subasta, en diversas modalidades; aunque, también pueden ser otorgadas por precio fijo, negociación o asignación directa. En caso de asignación, no se hace restricción respecto a la tecnología implementada o el servicio que se brinda, pero si en lo referente a la potencia de los equipos, además, se deben registrar todos los transmisores que se van a utilizar. Todos los requisitos y procedimientos se encuentran estipulados en la parte 3.2 de [74].

Con respecto a los últimos procesos de subasta realizados por Australia, existe la subasta de las bandas 850 MHz y 900 MHz, realizada en diciembre de 2021 por ACMA, y con la que se obtuvieron 2.092 millones de dólares por parte de dos operadores que desplegaran sobre ellas 4G y 5G [77]. Los objetivos de esta subasta son, soportar el desarrollo de las tecnologías 4G y 5G, ya que la banda garantiza cobertura de servicio; igualmente, se busca la promoción de un mercado competitivo, que a largo plazo genere beneficios a los consumidores; se plantea promover la inversión en infraestructura, principalmente en las

áreas regionales; y, por último, se tiene el objetivo de garantizar la continuidad del servicio [78].

Finalmente, en un proceso anterior se llevó a cabo la subasta de la banda de 26 GHz, identificada como una de las primeras bandas de espectro de ondas milimétricas para banda ancha inalámbrica 5G, con garantía de alta velocidad y capacidad [79]. Luego de que la Conferencia Mundial de Radio, CMR-19 identificara esta banda para IMT 5G, la ACMA realizó consulta sobre el uso de esta, evidenciando la necesidad de evaluar las condiciones de coexistencia con servicios fijos por satélite establecidos, de investigación espacial y de exploración pasiva de la Tierra por satélite; así como, la importancia de medidas de concesión de licencias de espectro para facilitar la generación de nuevos casos de uso de banda ancha inalámbrica [80]. Lo anterior indica la importancia de analizar la coexistencia de servicios y la no interferencia por parte de asignaciones previas con las que están en proceso, además de la proyección de nuevos negocios o potencial que a futuro pueda tener la asignación de esa banda. Con respecto a los objetivos de esta subasta, en [81] se evidencia que comparte los mismos de la subasta de 800MHz y 900MHz, junto con temas como la promoción de la coexistencia con servicios existentes y la innovación tecnológica para casos de uso de banda ancha inalámbrica. Como último elemento a destacar de esta subasta, el pago o contraprestación se realiza en 5 cuotas, esto con el fin de dar respaldo al despliegue de infraestructura 5G [82].

### **2.3 IDENTIFICACIÓN DE CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS**

La elección de los criterios de decisión se realizó inicialmente mediante una búsqueda bibliográfica, con la cual fuera posible poner a consideración de los expertos la identificación de aquellos criterios imprescindibles para el desarrollo del análisis propuesto. Normalmente en procesos de este estilo se tienen en cuenta metodologías como la BOCR, la cual, orienta la forma de agrupar criterios por niveles, teniendo en cuenta los beneficios, oportunidades, costos y riesgos que estén presentes en el análisis [23], [83].

Una vez realizada la búsqueda bibliográfica, se procedió a hacer la consulta a los expertos para identificar aquellos criterios que se consideraban pertinentes para el estudio, identificando 17 criterios enmarcados en 5 niveles de estudio. A continuación, se definen

los criterios de los dos niveles encontrados, en donde se tuvo en cuenta la opinión de los expertos.

### 2.3.1 *Criterios*

Los criterios de primer nivel o también llamados criterios padres son los siguientes:

- 1. Criterios Tecnológicos:** Para el criterio tecnológico se encuentran incluidos los aspectos o variables técnicas que se presentan como factores diferenciales y que por tanto tendrían un mayor impacto para establecer la priorización de asignación de espectro en Colombia.
- 2. Criterios Económicos:** El criterio económico contempla elementos que durante o después del proceso de asignación de la banda de frecuencia en estudio, representan un factor financiero para el país, como lo puede ser la contraprestación por la asignación o la habilitación de nuevos negocios tras la puesta en marcha de un servicio. Por otro lado, incluye el factor financiero visto desde el interés en invertir que puedan tener los operadores.
- 3. Criterios Políticos y regulatorios:** Los criterios políticos y regulatorios contemplan los lineamientos de la política que como nación se plantea en cuanto a lo tecnológico y particularmente a los objetivos como lo es la reducción de la brecha digital, que se impactará con la asignación de la banda. Por otro lado, corresponde también a las condiciones regulatoria que interfieren en la priorización de asignación de espectro en el país.
- 4. Criterios Socioculturales:** Este criterio pretende evaluar los factores que desde lo social y lo cultural impactaran en las comunidades, tras el proceso de asignación de una banda de frecuencias.
- 5. Criterios Ambientales:** El criterio ambiental considera el impacto o la afectación que puede tener la asignación de la banda de frecuencia en estudio sobre su entorno.

### 2.3.2 Subcriterios

Los criterios de segundo nivel o también llamados subcriterios o criterios hijos son los siguientes:

**Correspondientes al criterio Tecnológico:** En este nivel se agrupan los aspectos que hacen parte de los requerimientos técnicos a considerar en el estudio, y se definen a continuación.

- **Disponibilidad:** Este criterio corresponde a la posibilidad de asignar la banda de frecuencia candidata a los operadores para la implementación de una tecnología particular, es decir, con base en el espectro que se encuentra asignado en el momento para otras tecnologías, definir si es viable o no su asignación inmediata o si es necesario liberar la banda previo al proceso. Conforme la banda tenga mayor disponibilidad de asignación, mejor será su valoración.
- **Rango de Cobertura:** La cobertura corresponde al área geográfica en la que se podría garantizar acceso al servicio, donde la intensidad de la señal permitiría que el terminal usado para la comunicación acceda a la red. Se asigna una mayor valoración a la alternativa que garantice un mayor rango de cobertura.
- **Posibles interferencias:** Este criterio evalúa la posible presencia de señales no deseadas en el espectro, causada por el uso de las frecuencias estudiadas, o sobre estas; la interferencia, por tanto, puede ser generada o recibida, y dependerá de las asignaciones existentes y los servicios prestados en bandas adyacentes. Tendrá una mejor valoración la alternativa que menor posibilidad de interferencias presente.
- **Potencial futuro:** El criterio de potencial futuro corresponde a la proyección o los desarrollos futuros que puedan tener los servicios hagan uso de las bandas en estudio. Teniendo en cuenta el principio de neutralidad tecnológica definido en la ley 1341 de 2009, el potencial futuro igualmente corresponde a las tecnologías que potencialmente se implementarían sobre la banda, y las correspondientes características técnicas, como la velocidad de transmisión, la latencia o la densidad de conexiones que pueda soportar dicha tecnología. La mejor valoración será para

la alternativa que potencialmente ofrezca la posibilidad de proyectos o servicios con mayor impacto, o en mayor cantidad, así como las bandas que permitan la implementación de tecnologías con mejores características técnicas.

**Correspondientes al criterio Económico:** En este nivel se agrupan los aspectos que hacen parte de los requerimientos económicos a considerar en el estudio, y son los siguientes:

- **Contraprestación potencial por la asignación:** El criterio de la contraprestación potencial por la asignación hace referencia al posible valor que tenga la banda en el proceso de subasta, teniendo en cuenta la experiencia de otros países que ya han realizado el proceso. Se debe contemplar como contraprestación las obligaciones de hacer, por ejemplo, garantía de cobertura en zonas rurales u otras alternativas. Se asignará una mayor valoración a la alternativa cuya contraprestación potencial sea la más alta.
- **Interés de inversión por parte de los operadores:** Este criterio contempla la disponibilidad que tienen los operadores de participar en el proceso de asignación de la banda en estudio, según consultas previas y experiencias de los mismos operadores en otros países de la región. Tendrá en cuenta aspectos como el costo de implementación y de sostenimiento, al igual que el estudio del retorno a la inversión. Tendrá una mejor valoración la alternativa para la cual los operadores manifiesten mayor interés de inversión.
- **Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas urbanas:** La Capacidad de habilitar nuevos negocios corresponde a las posibilidades de nuevos servicios, proyectos, aplicaciones o tecnologías que surjan a raíz de la asignación de la frecuencia evaluada y que generen nuevos empleos o ingresos para, en este caso, las ciudades y zonas urbanas del país. Se dará una valoración más alta para aquella alternativa que tenga la capacidad de habilitar mayor cantidad de negocios nuevos y de mayor impacto en la zona urbana.

- **Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas rurales:** La Capacidad de habilitar nuevos negocios corresponde a las posibilidades de nuevos servicios, proyectos, aplicaciones o tecnologías que surjan a raíz de la asignación de la frecuencia evaluada y que generen nuevos empleos o ingresos para, en este caso, el campo y las zonas rurales del país. Se dará una valoración más alta para aquella alternativa que tenga la capacidad de habilitar mayor cantidad de negocios nuevos y de mayor impacto en la zona rural.

**Correspondientes al criterio Político-regulatorio:** En este nivel se agrupan los aspectos que hacen parte de los requerimientos políticos y regulatorios a considerar en el estudio, y se definen a continuación:

- **Reducción de la brecha digital:** Este criterio corresponde a la capacidad de brindar servicio en zonas rurales o distantes; lo cual está contenido en la política del gobierno para el sector TIC, la disminución de la brecha digital en estas zonas genera disminución de la pobreza. Conforme la alternativa tenga mayor impacto en la reducción de la brecha digital, mejor será su valoración.
- **Viabilidad regulatoria:** El criterio de viabilidad regulatoria se refiere a la posibilidad de generar regulación en Colombia para las bandas de frecuencia en estudio, teniendo en cuenta las atribuciones contenidas en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia, CNABF, y las asignaciones ya existentes. Tendrá una mejor valoración la alternativa para la cual la posibilidad de generar regulación sea mayor.
- **Impacto de la asignación de la banda en otros países:** El criterio de Impacto de la asignación de la banda en otros países tiene en cuenta los resultados del proceso de asignación de las bandas en estudio en otros países, igualmente, según la tecnología, se deben contemplar las asignaciones de los países de la región, de modo que se fomente la economía de escala y se permita disminuir los tiempos de adopción de nuevas tecnologías. Si la banda se encuentra asignada en los países

de la región y según lo positivo del impacto que esto haya tenido, su valoración será mejor.

**Correspondientes al criterio Sociocultural:** En este nivel se agrupan los aspectos que hacen parte de los requerimientos sociales y culturales a considerar en el estudio, y se presentan a continuación.

- **Reducción de la brecha digital:** El criterio Reducción de la brecha digital se refiere a la posibilidad, generada tras un proceso de asignación de espectro, de acceder a un servicio de telecomunicaciones en una comunidad, sobre todo para las poblaciones ubicadas en zonas rurales o distantes. Conforme la alternativa tenga mayor impacto en la reducción de la brecha digital, mejor será su valoración.
- **Impacto social para las zonas urbanas:** El impacto social hace referencia a las implicaciones que tiene la asignación de la banda de frecuencia en estudio sobre una comunidad, su cultura, su economía y en general su diario vivir; se evidencia desde los beneficios que se generan por las aplicaciones y servicios que se puedan brindar. En este caso se evalúa para ciudades y zonas urbanas. Tendrá una mejor valoración la alternativa para la cual se proyecte un mayor impacto en lo social para la zona urbana.
- **Impacto social para las zonas rurales:** El impacto social hace referencia a las implicaciones que tiene la asignación de la banda de frecuencia en estudio sobre una comunidad, su cultura, su economía y en general su diario vivir; se evidencia desde los beneficios que se generan por las aplicaciones y servicios que se puedan brindar. En este caso se evalúa para el campo y las zonas rurales. Tendrá una mejor valoración la alternativa para la cual se proyecte un mayor impacto en lo social para la zona urbana.

**Correspondientes al criterio Ambiental:** En este nivel se agrupan los aspectos que hacen parte de los requerimientos ambientales a considerar en el estudio, y son los siguientes:

- **Afectación por despliegue de infraestructura:** El criterio de afectación por despliegue de la infraestructura hace referencia al impacto sobre los lugares donde se debe desplegar la infraestructura, que pondrá en marcha los servicios que harán

uso de la frecuencia en estudio, al daño que se le hace al entorno y si se requiere afectar fauna o flora. La valoración de la alternativa será más alta si la afectación por el despliegue de la infraestructura es baja.

- **Contaminación visual:** Este criterio hace referencia a la cantidad de elementos que deben ser desplegados en la implementación de una tecnología particular, tras la asignación de la banda de frecuencia, elementos que puedan estar a la vista de las personas y generar un impacto sobre la comunidad, afectando la estética del entorno y generando preocupación en las personas. Tendrá una mejor valoración la alternativa para la cual la contaminación visual sea más baja.
- **Emisión de campos electromagnéticos:** El criterio Emisión de campos electromagnéticos contempla las potenciales emisiones de la infraestructura desplegada y los estudios que se hayan realizado sobre el impacto de emisiones en las frecuencias en estudio. Se dará una valoración más alta para aquella alternativa que tenga niveles más bajos de emisión de campos electromagnéticos.

### **3 MEDIDAS REGULATORIAS VIGENTES RELACIONADAS CON EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN COLOMBIA**

Este capítulo propone el desarrollo del objetivo específico 2, el cual busca encontrar limitantes desde el punto de vista regulatorio, medidas normativas vigentes en Colombia que están relacionadas con el espectro electromagnético que puedan afectar su proceso de asignación y consecuente priorización. En consecuencia, se iniciará el desarrollo y análisis partiendo de la actualidad normativa sobre el espectro radioeléctrico en el país y finalizando con un análisis de impacto de estas medidas regulatorias.

#### **3.1 MEDIDAS REGULATORIAS SOBRE EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN COLOMBIA**

El punto de partida a nivel regulatorio es la Constitución política de Colombia [3], que, como se había planteado inicialmente, en su artículo 75, establece que el espectro electromagnético es un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado. Después, por su relación directa con las Telecomunicaciones, está la Ley 1341 de 2009 [5], “por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las comunicaciones -TIC-, se crea la agencia nacional de espectro y se dictan otras disposiciones”. Gracias a esta ley, se implementaron reformas al régimen del espectro con el propósito de modernizar el régimen sobre su acceso, uso y explotación. Dentro de su alcance, se documentan seis aspectos notorios con relación al Espectro [28]:

1. El espectro radioeléctrico como un bien nacional: el espectro pasó de ser un bien estatal para ser un bien nacional, es decir, un bien de uso público para el beneficio de los ciudadanos, convirtiéndose así un instrumento de beneficios para la sociedad.
2. Alcance material y legal del espectro: la nueva ley reconoce que el espectro denomina al radioeléctrico, pues el artículo 75 de la Constitución Política no implica necesariamente a todo el conjunto de las bandas de frecuencia. De acuerdo con esto la ley 1341 ejerce sobre las frecuencias que se encuentren entre 3000 Hz a 3000 GHz.

3. Elemento de las redes de telecomunicaciones: el espectro radioeléctrico mediante esta medida la definición de telecomunicaciones realizadas por la Constitución, junto al Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) siguen conformando como una parte más de las redes de telecomunicaciones. Por lo tanto, es posible el uso de facilidades de comunicación electrónicas.
4. El espectro como recurso natural: el espectro radioeléctrico además de ser un bien nacional; de igual manera es un recurso escaso, así establece el Título II de la Ley 1341. De esta manera atribuye a la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) para regular y administrar alguno de ellos, como la numeración, identificación de redes, y otros usos para el espectro.
5. Principios orientados de la gestión y control nacional del espectro: gracias al artículo 4 de la ley 1341 se asegura la implementación y el uso correcto de la infraestructura de las redes de telecomunicaciones, como de igual forma la igualdad de oportunidades para los ciudadanos al uso de los recursos.
6. Régimen legal para el espectro: a partir de la nueva ley el espectro radioeléctrico se le reconoce una entidad propia denominada la Agencia Nacional del Espectro (ANE). Este nuevo ente es la encargada del control y vigilancia del espectro.

Es igualmente importante mencionar la ley 1978 de 2019, [10], “Por la cual se moderniza el Sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -TIC, se distribuyen competencias, se crea un Regulador Único y se dictan otras disposiciones”, el cual modifica varios de los elementos de la ley 1341 de 2009. Un cuadro comparativo entre las dos leyes es presentado en [84], y en lo referente al espectro marca que la ley de modernización del sector agrega: la asignación del espectro procurará la maximización del bienestar social y la promoción a la inversión, entendiendo esto como la reducción de la brecha digital, el acceso universal, la ampliación de la cobertura, el despliegue y uso de redes e infraestructuras y la mejora en la calidad de la prestación de los servicios a los usuarios; la posibilidad de establecer bandas exentas de contraprestación para la ampliación de cobertura en zonas rurales; la opción de ceder los permisos con autorización del MinTIC;

como se había nombrado previamente, se amplía la duración de los permisos de uso a 20 años; finalmente que se permite el pago de contraprestaciones de espectro mediante obligaciones de hacer.

Por otra parte, en Colombia se encuentran las siguientes medidas regulatorias vigentes, relacionadas con la asignación de espectro radioeléctrico:

- El Decreto 2870 de 2007, “Por medio del cual se adoptan medidas para facilitar la Convergencia de los servicios y redes en materia de Telecomunicaciones”
- La Resolución 290 de 2010, la cual fue modificada por la Resolución 2877 de 2011, “Por la cual se fija el monto de las contraprestaciones establecidas en los artículos 13 y 36 de la Ley 1341 de 2009 y se dictan otras disposiciones”
- La Resolución 106 de 2013 del MinTIC “Por la cual se establecen las condiciones y requisitos para la obtención del registro de proveedor de capacidad satelital y se dictan otras disposiciones”.
- El Decreto 1078 de 2015, “Decreto Único Reglamentario del Sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones”.
- La Resolución 1075 de 2020, expedida por el MinTIC, establece los requisitos previos para la asignación y modificación de permisos para las bandas VHF, UHF, SHF y EHF.

A continuación, se realiza el análisis del impacto de estas medidas regulatorias en la asignación de espectro en Colombia.

### **3.2 IMPACTO DE LAS MEDIDAS REGULATORIAS EN LA ASIGNACIÓN DE ESPECTRO EN COLOMBIA**

Los impactos de las medidas regulatorias en la asignación del espectro se reflejan mediante permisos para el uso del Espectro Radioeléctrico que son temporales, ya que no otorgan derecho de propiedad por ser un bien público; de igual forma, generando obligaciones a los

titulares para evitar interferencias a otras frecuencias. Al ser el espectro radioeléctrico considerado un bien público, este tiene tres tipos de categorías distintas para permitir el uso del espectro [29]:

- Para propósitos no comerciales: destinado al carácter público o privado como servicios de emergencias; a la comunidad en general, pues el espectro es un bien público, por lo que se consideran los propósitos que ofrecen alguna ventaja a la sociedad completa.
- Para fines comerciales: dispuestas para proveedores habilitados con el propósito de la prestación de servicios de telecomunicaciones mediante licencias por procesos de selección objetiva, concursos, licitaciones y subastas. De igual manera, el uso del espectro radioeléctrico se puede disponer para la operación de redes privadas de telecomunicaciones para los negocios de una empresa privada.
- Uso provisional del espectro: uso del espectro por días, semanas o meses, con el objetivo de pruebas, experimentos, eventos especiales, investigaciones científicas o garantizar continuidad de servicio.

### *3.2.1 Asignación de permisos de uso*

Los permisos de uso del espectro radioeléctrico son otorgados por medio de diferentes mecanismos de selección objetiva, por parte del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones [5]. El permiso se otorga, como se dijo antes, por 20 años y exige contraprestación económica, que ingresa al Fondo Único TIC, creado a través de [10] en remplazo del FONTIC. En este sentido, el Decreto 1078 de 2015, [85], establece las condiciones de asignaciones directas, para casos como continuidad del servicio, defensa y seguridad nacional y prevención o atención a situaciones de emergencia. Por otro lado, la Resolución 1075 de 2020, [86], establece los requisitos previos para la asignación y modificación de permisos para las bandas VHF, UHF, SHF y EHF, sobre las cuales se prestan servicios de comunicaciones fijo y móvil terrestre; en este no se contemplan las frecuencias atribuidas a IMT.

Para el caso de las asignaciones de frecuencias para IMT, el Plan Marco de Asignación de permisos de uso de espectro, [87], presenta un muy interesante recorrido por las formas en que ha sido asignado, a partir de la promulgación de las nuevas leyes a través del tiempo.

Antes de la Ley 1341 de 2009 se realizaba por medio de las medidas establecidas en la Ley 37 de 1993, [88], con esta se otorgaron permisos por regiones, en ese entonces se dividió el país en tres regiones y las concesiones se otorgaban para cada región. Por medio de esta modalidad ingresaron al mercado seis operadores que utilizaban la banda de 850 MHz, luego estos se funcionaron dejando dos operadores a los cuales se les otorgaron permisos para hacer uso de 15 MHz adicionales a cada uno en la banda de 1900 MHz, esto cumpliendo con el Decreto 4234 de 2004. En 2003, se dio un nuevo proceso de licitación pública en el cual ingreso un tercer operador al que se le otorgo permiso de uso de 30 MHz en la banda 1900 MHz, junto con 10MHz más en la misma banda, asignados en 2008.

Luego de promulgada la ley 1341 de 2009 se declara que los permisos para el uso de espectro deben seguir un proceso de selección objetiva en el que podrán participar todos los interesados. Bajo esta premisa, en abril de 2010, se asignan 20 MHz a dos de los operadores que ya se encontraban en el mercado, 10MHz a cada uno en la banda de 1900 MHz. En junio de 2010, por medio de subasta, fueron asignados 10 bloques de 5MHz en la banda de 2.5 GHz, de la misma manera en agosto de 2011 se asignaron tres bloques, dos de 5MH y uno de 15MHz en la banda de 1900MHz; y en junio de 2013, tres operadores, cada uno resultado asignatario de 30 MHz en la banda AWS, y dos operadores más obtuvieron 30MHz y 70MHz en 2.5GHz.

Finalmente, con Ley 1978 de 2019, de la cual ya se habían comentado algunos elementos que modificaban la 1341 de 2009, como la extensión de los permisos por 20 años, con su correspondiente renovación, también se abrió la posibilidad de incluir, como parte de los procesos de asignación, la obligación de ampliación de cobertura en zonas rurales. Bajo esta ley se realizó subasta de las bandas 700MHz y 2500MHz, en diciembre de 2019; en esta resultaron 3 adjudicatarios, entre ellos un nuevo operador que ingresa al mercado con 20MHz en banda 700MHz y 20MHz más en la banda de 2500MHz.

### *3.2.2 Contraprestación por el uso de espectro*

El mismo documento de Plan Marco de Asignación, [87], dedica una sección a la contraprestación por el uso de espectro, pago fijado por el Ministerio TIC cuyo propósito general es fomentar la inversión para beneficiar a los ciudadanos, se contemplan criterios

como el cierre de la brecha digital, el ancho de bandas asignado, número de usuarios potenciales, disponibilidad de servicios, planes de expansión y cobertura, demanda de espectro y su disponibilidad, entre otros factores.

Sin embargo, existen aún contraprestaciones definidas para bandas y servicios particulares, por la normatividad anterior, para empresas que hacen uso del espectro en algunos casos de forma privada, lo que ha detenido algunas oportunidades de avances tecnológicos, aun contando con el mercado; esto indica la importancia de tener una buena planificación de espectro y una correcta prioridad para la asignación de este, ya que podrían bloquearse nuevas implementaciones, más aún, teniendo en cuenta el aumento en el tiempo de la concesión. Algunos ajustes ya se han venido haciendo, sin embargo, existen servicios donde aún no se dan cambios.

### *3.2.3 Obligaciones de ampliación de cobertura*

Con el fin de reducir la brecha digital existente en el país, el gobierno colombiano tiene como premisa que los procesos de asignación de espectro sean más eficientes, permitan una mayor equidad, aporten en la ampliación de la cobertura, y en general, como es expresado en la ley, permitan maximizar el bienestar social; con este fin se realiza en 2019 la subasta de las bandas de 700 MHz y 2.500 MHz [89].

Para dar cumplimiento a esta subasta, primero se determinó 5.766 localidades para realizar ampliación de la cobertura, estas fueron escogidas teniendo en cuenta parámetros como la vulnerabilidad de la población, número de habitantes, características geográficas, etnias, entre otras [90]. El poder ampliar la cobertura de la banda de 700 MHz tiene como principales objetivos mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, ofreciendo un mayor número de servicios que les permitan fortalecer los medios para acceder a una mejor educación y posibilidades laborales, además de que empresas o entidades externas puedan invertir en el territorio, lo cual no solo beneficia a la localidad, sino a la modernización de la infraestructura de todo el país [89].

Para la subasta del espectro participaron las empresas Telefónica, Tigo, Claro y Partners, en donde de la banda baja de 700 MHz se lograron asignar 80 MHz, 20 MHz para Claro, 40Mhz para Tigo y 20 MHz para Partners. Estos resultados benefician a 3.658 localidades,

en donde los diferentes operadores deberán implementar la infraestructura necesaria para garantizar la cobertura [91].

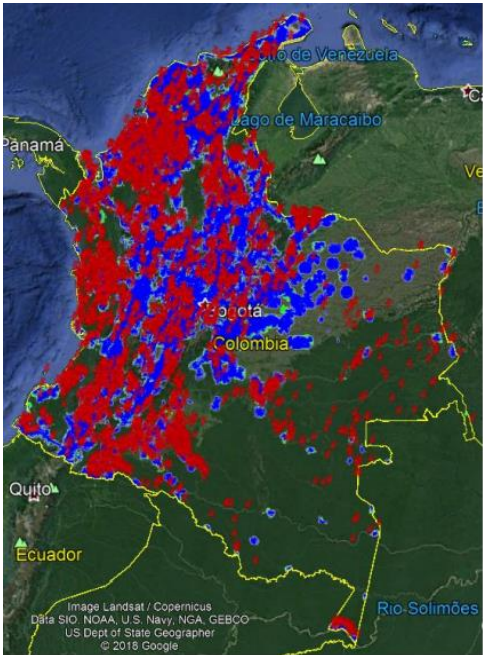


Figura. 3.1. Proyección de la cobertura del país luego de la ampliación de la banda 700 MHz y 2.500 MHz. Fuente: [91].

Cabe destacar que las diferentes compañías tienen un plazo máximo de 4 años para implementar las redes, además se deben cumplir con ciertas especificaciones, unas de ellas son las velocidades pico, las cuales se pueden evidenciar en la Tabla 3.1, y el nivel de potencia de LTE (RSRP), el cual debe ser de -100 dBm [90].

Tabla 3.1. Especificaciones de las velocidades pico teóricas. Fuente: [90].

Espectro asignado en el proceso de subasta de 700 MHz	Downlink Peak (Mbps)	Uplink Peak (Mbps)
Un bloque de 2x5 MHz	36,7	18,3
Un bloque de 2x10 MHz	73,7	36,7
Un bloque de 2x10 MHz y un bloque de 2x5 MHz	110,1	55,1
Dos bloques de 2x10 MHz	149,8	75,4

### 3.3 ANÁLISIS

Teniendo en cuenta lo encontrado en el desarrollo de este capítulo en materia de las medidas regulatorias vigentes relacionadas con el espectro radioeléctrico en Colombia, y su correspondiente impacto, se observa que, al igual que la tecnología en el campo de las telecomunicaciones, la parte regulatoria y normativa del sector también debe estar en una constante evolución, y aunque muchas veces la legislación no vaya al mismo ritmo que el desarrollo tecnológico y esto haga que tarde un poco más la masificación de la tecnología, cada vez la regulación va adaptándose más al desarrollo. Como ejemplo de lo anterior se puede ver la ley TIC, ley 1341 de 2009, que, si bien tuvo modificaciones, tardó 10 años en ser modificada de forma sustancial por la ley de modernización del sector, la ley 1978 de 2019.

Este análisis, al igual que el documento en general se centra en lo referente al espectro radioeléctrico y particularmente al proceso de asignación de este, sobre todo en los procesos de asignación a través de subasta, ya que es el caso de aplicación de la metodología en desarrollo, sin embargo, la ley 1978 realizó varias modificaciones al sector, como por ejemplo la liquidación de la Autoridad Nacional de Televisión y la consecuente distribución de sus funciones entre la Agencia Nacional del Espectro, la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones y el mismo Ministerio TIC; la unificación del Fondo de Televisión y el Fondo TIC en el Fondo Único de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, que permitirá una mayor y más equitativa inversión en todas las áreas del sector TIC y contribuirá a la disminución de la brecha digital; entre otros aspectos.

En lo referente al espectro radioeléctrico, hay varios aspectos a los que este documento no hace referencia, como la vigilancia y el control de este recurso, pero en lo que tiene que ver con los procesos de asignación, sin duda, entre los elementos más relevantes se encuentra el que la asignación del espectro deberá procurar la maximización del bienestar social, lo que trae consigo un concepto en el que los procesos de subasta, por ejemplo, no solo se centran en la cantidad económica que se entrega como contraprestación por el permiso de uso del recurso, sino en cuanto puede influir una asignación en la reducción de la brecha digital, en la garantía de acceso universal, o la mejora en la calidad de la prestación de los servicios a los usuarios. En esta línea, aparece la posibilidad de permitir el pago de contraprestaciones de espectro mediante obligaciones de hacer, entendidas estas como

compromisos por parte del operador en temas como cubrimiento en zonas apartadas del territorio, modernización de redes existentes, o incluso en entrega de tecnología y capacitación en zonas rurales. Lo anterior se puede evidenciar en la subasta realizada por las bandas 700MHz y 2500MHz, en las cuales se contempló como parte del proceso la obligación de llevar cobertura a municipios distantes, los cuales, según sus características, entregarían una puntuación al operador participante en la subasta.

Como parte importante de las consideraciones en cuanto a las subastas de espectro, se destacan los limitantes que se han aplicado para la participación de algunos operadores, de forma particular, como lo presenta el artículo [92], para la subasta de las bandas AWS y 2500 MHz llevada a cabo en 2013, se había restringido la participación del operador dominante, con el fin de garantizar que la competencia en el sector de telecomunicaciones fuera más equitativa y transparente, sin embargo, la decisión final del MinTIC fue no permitir al operador citado aplicar a la banda AWS sino solamente a la de 2500 MHz, la más alta y donde se necesitaba una mayor inversión para el despliegue del servicio. Un segundo elemento a tener en cuenta son los topes de espectro, [87] muestra como luego de la fusión o absorción de un operador por parte de otro, donde el primero tenía 50 MHz y el segundo 85 MHz, la unión tuvo que devolver 50 MHz de la banda 2500 MHz por superar el tope reglamentario de 85 MHz, tema que igualmente influye en los procesos de asignación, sin embargo, es válido decir que este asunto ya ha sido atendido por parte del MinTIC, mediante el decreto 984 de junio 13 de 2022, [93], el cual establece el tope máximo de espectro radioeléctrico por proveedor en 50 MHz para las bandas bajas, 100 MHz para banda medias y 100 MHz para bandas medias altas (entre 3 GHz y 6 GHz), pero no hay una definición para las bandas por encima de 6 GHz; conforme se vaya subastando mayor cantidad de espectro, estos límites podrían interferir en los procesos, pero por el momento permitirán llevar a cabo las asignaciones sin inconvenientes.

Igualmente, está la posibilidad de establecer bandas exentas de contraprestación para la ampliación de cobertura en zonas rurales; lo que permite que los operadores, para los que una zona de baja densidad poblacional no es tan atractiva en términos de negocio, principalmente en lo que respecta al retorno a la inversión, pueda desplegar redes y prestar su servicio en las regiones más alejadas.

Otro de los grandes cambios de la ley 1978 es, por supuesto, la ampliación de la duración de los permisos de uso del espectro, que pasan de 10 a 20 años, con opción de renovación, previa verificación del cumplimiento de requisitos de calidad, cobertura y renovación tecnológica. Esto se realiza con el fin de generar mayor confianza por parte del operador, de dar garantías en torno a la posibilidad de lograr retorno a su inversión por el tiempo que puede explotar el recurso, de hacer más atractiva la inversión para el operador, pero sobre todo de promover la inversión en última milla. Sin embargo, se corre el riesgo de que, si no se hace una constante vigilancia o exigencia del cumplimiento de los parámetros que se citaron como requisitos de renovación del permiso de uso, no solo con este fin, sino con el de garantizar un buen servicio para el ciudadano y la evolución de la tecnología en el país, se presente un estancamiento en el desarrollo por ser periodos tan largos.

A lo largo de la legislación es posible encontrar elementos que se consideran en los procesos de asignación de espectro, criterios que son tenidos en cuenta para que un operador tenga mayor valoración en un proceso de subasta, e incluso consideraciones por las cuales se deben realizar las asignaciones, teniendo en cuenta que en el sector se debe pensar de forma regional e incluso global, para poder ser parte de los beneficios que dan las economías de escala y para lograr armonizar el espectro con los países vecinos. Sin embargo, no se evidencia que la normatividad entregue lineamientos que permitan priorizar el valor de una banda de frecuencia a subastar sobre otra, o que determine el potencial que puede llegar a tener su asignación. Si bien este proyecto no pretende generar legislación sobre la asignación de espectro, sino más bien, ser una herramienta útil para las entidades encargadas de este proceso en el país (Ministerio TIC con la asesoría técnica de la Agencia Nacional del Espectro), es importante resaltar que luego de la revisión de literatura y normatividad se evidencia el carácter innovador de la metodología.

Finalmente, y con el fin de concluir el capítulo, es relevante realizar un par de comentarios con respecto a la normatividad estudiada, que, si bien no son parte del objeto de estudio de este documento, si pueden ser considerados como posibles ejes temáticos de trabajos futuros. Entre los aspectos evidenciados, se aprecia que no hay una regulación clara entorno a la calidad de servicio o calidad de experiencia frente a servicios como IMT, donde a diario se encuentran reclamos e inconformidades por parte de los usuarios, principalmente en aspectos como la calidad o la disponibilidad del servicio; esto podría ser

considerado de forma clara y establecido como acuerdos de nivel de servicio dentro de los procesos de asignación de espectro. Igualmente, se identifica la necesidad de exigencias claras en torno a garantías de uso óptimo del espectro, si bien existe en la ley el principio de neutralidad tecnológica, se pueden establecer compromisos u obligaciones en torno a la eficiencia espectral de la tecnología implementada. Por esta misma línea, la de la neutralidad tecnológica, falta regulación entorno a la obsolescencia tecnológica, principalmente, como ya se comentó en párrafos anteriores, por la ampliación del plazo de los permisos de uso del espectro radioeléctrico, la ausencia de regulación clara respecto al tema hace que aún hoy, mientras el mundo está en pleno proceso de despliegue e implementación de la tecnología 5G, Colombia aún tenga en funcionamiento redes de 2G y 3G que ya no cubren las necesidades de los usuarios; caso similar a la constante postergación del apagado de la televisión analógica, hace falta una ley que permita al estado hacer inversiones que garanticen que estos procesos de migración de tecnologías se realicen a un ritmo mayor, lo que además garantizaría la liberación de nuevo espectro para nuevas tecnologías. Por último, volviendo a lo que tiene que ver con las subastas de asignación de espectro, no se tienen normas que establezcan un tiempo máximo para iniciar una subasta luego de la atribución de la frecuencia al servicio IMT, o alguna estrategia que evite que tengamos retrasos como el actual frente a la asignación de espectro para 5G, proceso que ya está bastante adelantado en otros países del mundo e incluso en la región.

## **4 LAS REDES 5G Y EL ESPECTRO REQUERIDO PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA**

El presente capítulo presenta una breve contextualización de las redes 5G, haciendo un énfasis particular en el espectro radioeléctrico necesario para su implementación, adicionalmente se presentan las bandas de frecuencia consideradas por la Agencia Nacional del espectro, ANE, para el despliegue de 5G en Colombia. Con base en esto, y teniendo en cuenta los criterios definidos en la sección 2.3 del presente documento, se aplica el Proceso Analítico jerárquico, PAJ, con el fin de proponer una forma de priorizar la asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en el país.

### **4.1 REDES DE 5G**

Las redes móviles han venido desarrollándose de un modo que ha generado en los últimos años un gran cambio en el estilo de vida del ser humano, generando día tras día nuevos usos o servicios, que, a su vez, solicitan más de la red, que debe ir evolucionando en sus características, como velocidad, desempeño, latencias, entre otras. Esto se traduce en el cambio de generaciones de dichas tecnologías móviles, desde la primera con unas características básicas de transmisión de voz, hasta la vigente 4G, una red convergente de altas prestaciones.

Adicionalmente, el mundo vive hoy la transición de esa cuarta a una quinta generación de redes móviles, en gran medida gracias a, como lo expone [30] países como Japón, Corea, China, Estados Unidos y algunos países europeos, que junto con instituciones y empresas tanto públicas como privadas han organizado investigaciones y han contribuido al proceso de normalización de esa 5G.

#### *4.1.1 Evolución de las tecnologías móviles*

Como se planteó, las redes móviles han evolucionado hasta llegar a las puertas la quinta generación, [94] precisamente hace referencia a este proceso desde la década de los 70 en lo que podría ser llamado 1G, donde se utilizaban sistemas analógicos para las comunicaciones móviles y surgieron los microprocesadores y la digitalización del enlace de

control entre el teléfono y la ubicación de la célula para mejorar los servicios de radiotelefonía, únicamente para transmisión de voz. Entre el fin de los 80 y el principio de los 90, se da la transición de comunicaciones analógicas a comunicaciones digitales, y con ello la llegada de 2G, con un enlace de control digital e igualmente digitalización de la voz, logrando así mejor calidad con menores costos.

Para el inicio del nuevo milenio, el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT- R), elaboro las normas técnicas que definirían los sistemas de la tercera generación, ahora con el nombre de IMT-2000, sistemas de telecomunicaciones móviles internacionales. 3G incluiría la posibilidad de nuevas aplicaciones y servicios como el entretenimiento multimedia, la navegación, los servicios basados en geolocalización, entre otros.

Por otro lado, en asamblea de radiocomunicaciones de enero de 2012, la AR-12, se dictaron las especificaciones de la cuarta generación, esta vez conocida como las IMT- Avanzadas; esta tecnología aún se encuentra en implementación en el mundo y ha permitido mejoras en torno a la capacidad y velocidad de la red, respecto a generaciones anteriores.

Finalmente, ese mismo año se inició el trabajo para la definición de las IMT-2020, con lo que se definieron las bases de lo que será 5G, reforzando esto en la CMR-15, conferencia mundial de radio llevada a cabo en el año 2015, donde se habló de una sociedad 5G conectada por banda ancha móvil, con comunicaciones altamente fiables y de baja latencia, incluyendo comunicaciones masivas maquina a máquina o M2M, además de las tecnologías de Internet de las cosas, IoT.

Para concluir, la Tabla 4.1 presenta los diferentes estándares y la velocidad correspondiente desarrollada por estas tecnologías, incluyendo una generación intermedia conocida como 2.5G. Adicionalmente, se muestra como a medida que se ha dado esta evolución, la velocidad de transmisión ha aumentado notoriamente permitiendo nuevos y mejores servicios para los usuarios.

Tabla 4.1. Evolución de las redes de comunicación móvil. Fuente: Elaboración propia.

Características	Tipo de red de comunicación móvil					
	1G	2G	2.5G	3G	4G	5G
<b>Año</b>	1970-1980	1980-1990	2000-2003	2000	2010	2015
<b>Estándares</b>	AMPS (Advanced Mobile Phone System)	GSM, CDMA y JDC	Servicio General de Paquetes de Radio (GPRS) y EDGE	UMTS (WCDMA) y CDMA 2000	LTE-TDD, LTE-FDD y estándar WiMAX móvil	Banda ancha IP LAN / WAN / PAN
<b>Velocidad</b>	1Kbps a 2,4 Kbps	14Kbps a 64 Kbps	115Kpbs (GPRS) 384 Kbps (EDGE)	384Kbps a 2Mbps	100 Mbps en movimiento y 1 Gbps cuando se permanece inmóvil	1 a 10Gbps

#### 4.1.2 Características de la red de 5G

Luego de esta breve reseña sobre las generaciones anteriores, se presentan las redes 5G, con base en el estudio de la Agencia Nacional del Espectro, ANE, contenido en [8], las redes 5G son redes de nueva generación con velocidades de entre 1Gbps y 20Gbps, latencias menores a 1ms, gran eficiencia energética, eficiencia espectral hasta 3 veces mayor que 4G, con alta densidad de conexiones hasta 10 millones de conexiones por kilómetro cuadrado, y velocidad de movilidad de hasta 500 kilómetros por hora. Estas redes incorporan tecnologías como MIMO, múltiples entradas y múltiples salidas, además de estaciones base con mayor número de celdas por ser Femto y Pico celdas, que permiten el mejoramiento de la cobertura en ambientes complicados e incrementan la capacidad de datos en la red. Las redes 5G soportan ambientes heterogéneos de acceso de radio e interfaz área; ambientes C-RAN, Centralized Radio Access Network o D-RAN, Distributed Radio Access Network, estos basados en cloud computing o computación en la nube, además de otras particularidades que están expuestas en [30]. Sin embargo, el presente documento se centra en los detalles técnicos del espectro para 5G, dichas características se presentan en [95], un documento muy completo donde también se presentan los requerimientos de experiencia de usuario, en cuanto a latencia y movilidad, junto con los KPI propios de este ítem; el desempeño del sistema, en lo correspondiente a densidad de conexiones, densidad de tráfico, eficiencia espectral y cobertura; además de los requerimientos propios de los dispositivos.

En lo correspondiente a las bandas de frecuencia para 5G se plantea que estas deberán admitir gran número de aplicaciones y por tanto bandas de espectro con características diversas. 5G se basará en tecnologías móviles de generaciones anteriores pero repotenciadas, por lo que podrá aprovechar las bandas del espectro ya asignadas para dichas tecnologías, es decir, permitir que los operadores las reasignen. Igualmente se requiere de asignación de espectro adicional, basado en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y decisiones de asignación regional y nacional. Se afirma que dicho espectro debe armonizarse lo más ampliamente posible para garantizar que los sistemas 5G tengan una escala global, evitando así la complejidad técnica tanto en la red como en el terminal.

Se debe pensar en canales de ancho de banda muy amplio que admitan velocidades de datos muy altas y conectividad móvil de corto alcance para soportar la multitud de servicios, además de tener en cuenta la posible necesidad de acomodar redes múltiples. Las bandas particulares serán tratadas en un apartado posterior de este capítulo.

#### *4.1.3 Aplicaciones y tendencias*

Con la implementación de 5G se abre todo un mundo de posibilidades en cuanto a aplicaciones y servicios. Samsung en [96] resalta la mejoría en el desempeño de la banda ancha y el internet de las cosas y da como ejemplos puntuales aplicaciones de experiencia inversiva, aplicaciones de telepresencia y otras que requieran conectividad ubicua, presente en todo lugar. Igualmente [8] y [97] presentan varios casos de uso y tendencias que surgen a partir de 5G, estas se listan a continuación:

- IoT
- Ciudades, hogares y oficinas inteligentes
- Video UHD tanto 4K como 8K, al igual que video 3D
- Realidad virtual y realidad aumentada
- E-Learning e e-health
- Telemedicina
- Juegos en la nube y en tiempo real
- Automatización industrial
- Aplicaciones en entornos peligrosos y misiones de rescate.

- Vehículos autónomos
- Redes de sensores para monitoreo industrial, energético y ambiental, entre otros

#### 4.1.4 Análisis, planteamiento y estrategias de aplicación

Como se planteó, la llegada de 5G traerá consigo grandes cambios en la forma en que vivimos, por eso es necesario un proceso para poder hacer que su implementación se dé de forma global y armónica; así que debe existir un proceso de estandarización. En [30] este proceso es mostrado, desde la reunión del grupo de trabajo 5G de ITU-R en San Diego, California que definió las metas generales y procesos para el desarrollo 5G bajo el nombre IMT-2020 en el que se establecieron las fases de las investigaciones sobre 5G, para ser tratados en la “Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019, CMR-19, llevada a cabo del 28 de octubre al 22 de noviembre de 2019 y en donde se delibero sobre el espectro para 5G. Este proceso se presenta en la Figura. 4.1.

PROCESO DE ESTANDARIZACIÓN DE IMT-2020			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plan de desarrollo</li> <li>- Vista servicios de mercado</li> <li>- Visión kick off de investigación IMT-2020</li> <li>- Vista del espectro &gt;6GHz</li> <li>- Proceso de optimización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arreglos de banda del espectro (post CMR-15)</li> <li>- Requerimientos de desempeño técnico</li> <li>- Criterios de evaluación</li> <li>- Propuestas de innovación</li> <li>- Parámetros (IMT CMR-19)</li> <li>- Estudios compartidos (CMR- 19)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propuestas</li> <li>- Evaluaciones</li> <li>- Edificio de consenso</li> <li>- Reporte de estudios compartidos (CMR-19)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arreglos de banda de espectro</li> <li>- Marco de referencia</li> <li>- Especificaciones detalladas de radio IMT-2020</li> <li>- Planes de mejoras futuras/ planes de actualizaciones y procesos</li> </ul>
2012-2015	2016-2017	2018-2019	2019-2020
Vendiendo el escenario para el futuro: Visión, espectro y perspectiva tecnológica		Definiendo la tecnología	

Figura. 4.1. Procesos de Estandarización de IMT 2020. Fuente: adaptada de [30].

#### 4.1.5 *IMT-2020*

En el numeral anterior se hace referencia a IMT-2020 como referente de las especificaciones y características de 5G, por lo que es importante aclarar que, como lo marca [98], IMT es la forma de designar los sistemas móviles de banda ancha, incluye IMT-2000 para despliegues 3G, IMT-Avanzadas para 4G e IMT-2020 para 5G, y son los estándares que permiten la armonización e implementación de la banda ancha en redes móviles.

A partir del cumplimiento de los estándares, se reconocen las tecnologías consideradas como parte de ellos. Para IMT-2000 las tecnologías: CDMA Direct Spread, CDMA Multi-Carrier, CDMA TDD, TDMA Single-Carrier, FDMA/TDMA y OFDMA TDD WMAN. Para IMT-Avanzado: LTE-Advanced y WirelessMAN-Advanced. Finalmente, para IMT-2020 se tienen ya cuatro tecnologías reconocidas tras la evaluación realizada por grupos evaluadores de todo el mundo: 3GPP 5G-SRIT, 3GPP 5G-RIT, 5Gi y DECT 5G-SRIT. Esto es muy importante ya que zona altos los requisitos para reconocer a la tecnología como parte del estándar, lo que puede limitar el establecimiento de 5G en algunos mercados.

De manera general, las especificaciones para IMT-2020 incluyen, como lo presenta [99], compatibilidad de servicios con otras redes IMT y fijas, interoperabilidad con otros sistemas de acceso de radio, servicios móviles de alta calidad, itinerancia mundial, comunicaciones tipo de máquina, ultra confiables y de baja latencia y aplicaciones multimedia de alta calidad. Y otros parámetros, establecidos en [98], como velocidad pico de datos de 20 Gbit/s en downlink y 10 Gbit/s en uplink, y experimentada por el usuario de 100 Mbit/s y 50 Mbit/s, respectivamente para downlink y uplink; latencia de 4 ms para banda ancha móvil mejorada, eMBB, por sus siglas en inglés Enhanced Mobile Broadband, y 1 ms para comunicaciones ultra confiables y de baja latencia, uRLLC, por sus siglas en inglés Ultrareliable and Low Latency Communications; y densidad de conexión de 1 millón de dispositivos por km<sup>2</sup>.

#### 4.1.6 *Avances y proyecciones en la puesta en marcha de 5G*

El proceso mostrado en la Figura. 4.1 se ha visto materializado de diferentes maneras en lugares distintos del mundo, [30] cita ejemplos de proyectos que venían en proceso desde

2013, como los prototipos desarrollados por Samsung, Huawei y Ericsson, o los requisitos ya establecidos por Japón y Corea para la tecnología; en 2014 ya se habían realizado unas primeras pruebas experimentales por parte de NTT Docomo en Japón; en 2016, AT&T probó un servicio inalámbrico 5G en Austin, Texas; en 2018, SK Telecom de Corea del Sur realizó demostración en los Juegos Olímpicos de Invierno de Pyeongchang; entre otros avances. Este mismo documento afirmó que la tasa de adopción proyectada para 5G será impulsada, principalmente, por los nuevos usos del IoT, además de nuevos usos para la conectividad de banda ancha.

Más allá de esto, para 2022 ya los procesos de asignación de espectro en el mundo han avanzado de forma significativa, y aunque países como Colombia aún no han desarrollado procesos de subasta para las frecuencias 5G, aunque ha hecho pruebas piloto, ya hay países con despliegues y asignaciones en varias bandas, como son los casos de China con asignaciones en 700MHz, 2.6GHz, 3.6GHz y 4.9GHz, en las que ya cuentan con 916.000 estaciones base desplegadas y 460 millones de suscriptores; Corea del Sur que ha asignado 3.6GHz y 28GHz, tiene 162.000 estaciones base y 17 millones de suscriptores; Japón, 3.6GHz, 3.7GHz, 4GHz, 4.5GHz y 28GHz, 50.000 estaciones base y 14.19 millones de suscriptores; o Estados Unidos, con asignaciones en 600MHz, 2.5GHz, 3.45 – 3.55GHz, 3.5-3.7GHz, 3.7-3.98GHz, 24GHz, 28GHz, 39GHz y 47GHz, con 50.000 estaciones base y 80 millones de suscriptores [100]; en esta misma línea, el observatorio europeo de 5G actualiza permanentemente las noticias sobre los procesos de subasta de las bandas de frecuencia para 5G en los países de la unión, información disponible en [101].

En [102] se presenta el top 10 de los países con mayor despliegue de 5G para marzo de 2022, entre ellos se destaca, junto con los países ya nombrados en el párrafo anterior, casos como el de España, que proyecta altas inversiones post pandemia en iniciativas de digitalización, y donde el proveedor Telefónica ya cuenta con servicios 5G para el 80% de la población, alrededor de 1300 pueblos y ciudades del país. Reino Unido, donde desde 2019 se comercializa 5G, y su principal operador proyecta llegar a todo el país en 2028, además el segundo operador ya tiene despliegues para 180 ciudades. En Australia Telsat, proveedor de servicio, ya ha instalado 2.000 estaciones base 5G, cubriendo 41% de la población. En Finlandia, primer país en introducir 5G, el operador Elisa tiene una red 5G en 100 lugares, cubriendo alrededor del 50% de la población. Igualmente es importante

nombra de nuevo a China, con 961.000 estaciones base, cifra que muestra el crecimiento respecto al valor citado anteriormente, y más de 10.000 aplicaciones 5G en áreas como, la educación, el transporte, la atención médica, entre otros.

Colombia no es ajena a este proceso y desde hace un tiempo se encuentra adelantando varios estudios para determinar en qué tipo de bandas puede funcionar 5G en el país. En el artículo "Así se prepara Colombia para la llegada del 5G" [103], publicado en el periódico EL Tiempo el 2 de febrero de 2018, la directora, en ese momento, de la Agencia Nacional del Espectro, ANE, la doctora Martha Suárez presenta la estrategia que se lleva en el país. Se destaca la necesidad de nueva infraestructura, por supuesto la importancia de la realización de un proceso de subasta para adjudicar las frecuencias de despliegue a los operadores; está la posibilidad de usar la banda de 600MHz, luego del apagón analógico, la banda de 700MHz, que permite mayor despliegue de la red 4G, red sobre la cual se apoyara 5G, ya fue subastada durante 2019. A continuación, se presenta la información específica respecto al espectro 5G para Colombia.

## **4.2 ESPECTRO PROPUESTO PARA LA IMPLEMENTACION DE 5G EN COLOMBIA**

### *4.2.1 Espectro propuesto para implementación de 5G*

Como se ha planteado, las redes 5G brindan muchas posibilidades y son hoy por hoy un proceso vigente en el mundo entero, sin embargo, como lo presenta [104], para cumplir con todas las expectativas formadas por 5G es necesario cumplir con varios requisitos técnicos, en el caso del espectro radioeléctrico, serán relevantes el tipo y la cantidad de espectro necesarios para garantizar una operación óptima. Por ejemplo, un enlace de ultra alta velocidad requerirá amplios anchos de banda de portadora; transmisiones de Rango corto necesitaran frecuencias más altas, como ondas milimétricas; transmisiones de rango largo, Frecuencias más bajas, probablemente inferiores a 3 GHz; aplicaciones que requieran penetración de suelos u obstáculos, frecuencias aún más bajas, seguramente inferiores a 1 GHz.

Teniendo en cuenta lo anterior, [105] presenta un avance del resultado del trabajo de los principales organismos internacionales de la industria para la definición de IMT-2020, particularmente en la identificación de las nuevas frecuencias de espectro radioeléctrico que serán empleadas. UIT identifica 11 bandas por encima de 6 GHz, capaces de transmitir

a altas velocidades y cortas distancias, e igualmente, bandas bajo los 6 GHz ya adjudicadas para IMT, como el rango de 698 - 960 MHz; 1710 - 2025 MHz; el 2110 - 2200 MHz y el 2500 - 2690 MHz, junto con bandas entre 24 GHz y 86 GHz, que han sido fruto de estudios en varios países. Esto se resume en la Tabla 4.2, donde se muestra en la parte superior la distribución del espectro actual, y debajo las frecuencias estudiadas para 5G.

Tabla 4.2. Frecuencias actuales en comparación a 5G. Fuente: adaptado de [105].

Frecuencias		Espectro Radioeléctrico				
<b>Frecuencias Actuales para telefonía y banda ancha móvil en las Américas</b>	698 MHz- 960 MHz	1710 MHz- 2025 MHz	2110 MHz- 2200 MHz	2500 MHz- 2690 MHz	3550 MHz- 3700 MHz	
<b>Frecuencias para 5G entre 24 GHz – 47 GHz</b>	24.25 GHz- 27.5 GHz	31.8 GHz- 33.4 GHz	37 GHz- 40 GHz	40.5 GHz- 42.5 GHz	42.5 GHz- 43.5 GHz	45.5 GHz – 47 GHz
<b>Frecuencias para 5G entre 47 GHz – 86 GHz</b>	47 GHz- 47.2 GHz	47.2 GHz - 50.2 GHz	50.4 GHz- 52,6 GHz	66 GHz- 76 GHz	81 GHz- 86 GHz	

#### 4.2.2 Recomendaciones para las políticas públicas de asignación de espectro 5G

Para el despliegue de la infraestructura de 5G, es necesario que se adjudique el espectro correspondiente, de acuerdo con lo presentado en la Figura. 4.2 y a los resultados de dicho estudio, sin embargo, este proceso de adjudicación depende no solo de factores técnicos sino también de factores de política pública, por esto es importante tener en cuenta algunas recomendaciones dadas por actores del sector, en el caso de [106] GSMA, estas recomendaciones son:

- Se requiere gran cantidad de espectro y la armonización de este para cumplir con los requerimientos de la tecnología 5G.
- 5G requiere espectro en tres bandas, inferiores a 1 GHz, de 1-6 GHz y por encima de 6 GHz.
- Es importante que los países tengan posiciones claras acerca del espectro de 5G para lograr, en los escenarios internacionales que corresponda, acuerdos que permitan cumplir con las necesidades y bajar costos de implementación y puesta en marcha de la tecnología, a través de la consecución de economías de escala.

- Si bien son importantes las bandas sin licenciar, estas deben desempeñar un rol complementario, la gestión del espectro debe estar basada en espectro licenciado.
- Es importante garantizar la coexistencia de 5G con otros servicios inalámbricos para las frecuencias altas.
- Las bandas hoy usadas para otras tecnologías móviles deben poder ser reasignadas para 5G; neutralidad tecnológica.
- Se deben fomentar las inversiones a largo plazo en redes 5G, esto solo se logra con la disposición de los gobiernos y de los entes reguladores.

#### 4.2.3 Espectro proyectado en Colombia

Teniendo en cuenta las recomendaciones y lo propuesto para IMT-2020 desde la CMR-15 y luego en la CMR-19, Colombia ha venido trabajando en el estudio de espectro 5G desde hace algunos años, parte de la posición del país se presentó en el apartado avances y proyecciones en la puesta en marcha de 5G, sin embargo, en esta sección se hará de una manera más específica. Inicialmente, es importante resaltar la existencia de [8], el Documento de Consulta Pública sobre las Bandas De Frecuencia para 5G en Colombia; llegar a él ha sido un trabajo largo, se debe destacar la sexta edición del congreso internacional del espectro, realizada en 2016, donde fabricantes como Ericsson, Huawei, Nokia y Samsung presentaron sus visiones de 5G, particularmente en torno a las posibilidades que esta tecnología brindaría y a las frecuencias que requeriría, esto se presenta en [96], [107], [108] y [109]. Dos años después, en el octavo congreso internacional del espectro la doctora Liliana Suárez Peñaloza presento [110], "Estudio prospectivo estratégico para el desarrollo de la banda ancha móvil en Colombia con una visión de 10 años", donde presento la definición de las bandas primarias y secundarias de lo que se ha definido sea el espectro asignado a 5G en el país. Este es el resultado de años de investigación con el apoyo de la industria y la academia; se presenta en la

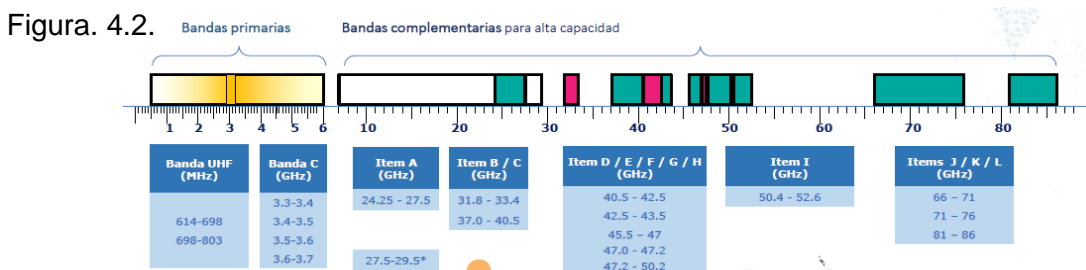


Figura. 4.2. Espectro para 5G en Colombia. Fuente: tomada de [110]

La ANE ha realizado un estudio de las bandas potencialmente utilizables en IMT de acuerdo con la UIT, este se presenta en [111], donde se presentan las bandas de frecuencia, su uso en otros países y en Colombia, para finalmente entregar un cuadro de estudio con del nivel de ocupación de estas, el cual se presenta en la Tabla 4.3, en la que se evidencia que las bandas con menor ocupación son la AWS-Ext, L y la de 3,5GHz.

Tabla 4.3. Ocupación de bandas candidatas para uso en IMT - Colombia. Fuente: adaptado de [111].

Banda	Uso actual	Cantidad de usuarios	Autorizaciones vigentes	Expiran a Dic. 2018	Expiran a Dic. 2019	Expiran a Dic. 2021
<b>600MHz (617-698)</b>	TV (Digital y analógica)	19 operadores	111 Estaciones transmisoras de TV			
<b>800MHz b27 (807-824/ 852-869)</b>	Trunking-Radio convencional	8 operadores con redes móviles terrestres	21 Expedientes y 88 redes	5 Expedientes de 4 operadores	1 Expediente de 1 operador	10 Expedientes de 5 operadores
<b>850ext b26 (814-824/ 859-869)</b>	Trunking-Radio convencional	8 operadores con redes móviles terrestres	20 Expedientes y 86 redes	5 Expedientes de 4 operadores	1 Expediente de 1 operador	9 Expediente de 5 operadores
<b>900MHz (895-715/ 950-960)</b>	Acceso fijo inalámbrico	7 operadores AFI	22 Licencias regionales/ municipales	20 Licencias regionales/ municipales	1 Licencia regional	1 Licencia regional
<b>L (1427.9-1510.9)</b>	Servicios fijos (punto a punto)	6 Usuarios	25 Enlaces- 6 expedientes	4 Expedientes/ 21 estaciones	-	1 Expediente/ enlace
<b>AWS-Ext (1755-1780/ 2155-2180)</b>	Servicios fijos (microondas- otras estaciones terrestres)	3Usuarios	5 Enlaces/ estaciones autorizadas	1 Enlace/ estación	-	3 Enlaces/ estaciones de 1 usuario
<b>2300MHz (2300-2400)</b>	Servicios fijos (microondas- otras estaciones terrestres)	6 Usuarios	49 Enlaces/ estaciones autorizadas	32 Enlaces/ estaciones de 3 usuarios	11 Enlaces/ estaciones de 2 usuarios	-
<b>3500MHz (3400-3600)</b>	Servicios fijos (punto a punto)	3Usuarios con licencias vencidas en 2017	11 Enlaces con licencias vencidas en 2017	11 Enlaces con licencias vencidas en 2017	-	-

Por otra parte, el documento de consulta pública sobre las bandas de frecuencia para 5G en Colombia, [8] en concordancia con las sugerencias dadas en [106], afirma que es necesaria la armonización mundial de un amplio bloque de espectro de acuerdo con los tres rangos de frecuencias presentados:

- Frecuencias por debajo de 1 GHz o bandas bajas

Estas bandas se utilizan para suplir cobertura; las opciones estudiadas por la ANE han sido, primero Banda de 600 MHz (614 – 698 MHz), hoy atribuida a servicios de radiodifusión de televisión tanto de canales análogos como de digitales, se espera liberar canales tras el apagón analógico; y para servicio móvil, este último por la Resolución 450 de 2017 de la ANE, de acuerdo con la CMR-15.

Y una segunda banda, de 700 MHz (698 – 806 MHz), banda contemplada en el documento gracias a que había sido liberada, sin embargo, esta fue posteriormente subastada, en 2019, y asignada a dos de los operadores ya presentes en el mercado y un operador entrante, en todos para despliegue de 4G; lo anterior a través de las resoluciones 330 [112], 331 [113], 332 [114] y 333 [115] del 20 de febrero de 2020.

- Frecuencias entre 1 y 6 GHz o Bandas Medias

El rango de frecuencias de 3300 – 3800 MHz, estas bandas son utilizadas para capacidad, en el caso de Colombia ya están atribuidas a servicio móvil, aunque de 3700 a 4200 MHz se tiene atribución co-primaria con servicio fijo por Satélite, por lo que, en principio, no se tomará en cuenta.

Teniendo en cuenta esto, restan tres bandas, la primera de 3.4 GHz (3.3 – 3.4 GHz), sin permisos vigentes, por lo que es susceptible de asignación, pero se debe evaluar la convivencia con el servicio de radiolocalización utilizado por las fuerzas militares.

La segunda banda de 3.5 GHz (3.4 – 3.6 GHz) hoy canalizada para enlaces punto a punto de Servicio Fijo (3400 – 4200 MHz), pero donde la mayoría de los permisos no fueron renovados en 2017, sin embargo, operan los enlaces de bajada (Banda C extendida) satelitales, con permiso hasta 2027. Igualmente, se esta la banda de 3.6 GHz (3.6 – 3.7 GHz) con una situación similar a la banda anterior.

En este mismo rango se encuentra la banda de 2.5 GHz, la cual fue igualmente asignada en la subasta de 2019, mediante las resoluciones 325 [116], 326 [117], 327 [118], 328 [119] y 329 [120] del 20 de febrero de 2020.

- Frecuencias superiores a 6 GHz o bandas altas

El rango de frecuencia de 24.25 a 86 GHz, bandas que serán tenidas en cuenta para transmisión de datos de alta velocidad, ya que su gran ancho de banda tendría tasas de datos más altas y latencias más bajas.

## **5 CASO DE ESTUDIO: PRIORIZAR LA ASIGNACIÓN DEL ESPECTRO REQUERIDO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE 5G EN COLOMBIA**

El presente capítulo presenta una propuesta para priorizar la asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en Colombia, con base en las bandas de frecuencia propuestas por la ANE, utilizando el proceso analítico jerárquico, PAJ.

### **5.1 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO, CASO DE USO**

La determinación de la priorización de las bandas de frecuencia a evaluar se realiza con base en el método del proceso analítico Jerárquico, el cual, permite trabajar con gran cantidad de información, facilita la agregación de opiniones y valoraciones de diferentes expertos, la comprensión del método es sencilla para las personas que lo desconocen y permite medir el nivel de consistencia de los juicios de los expertos. Por último, es posible realizar un análisis de sensibilidad a través de un software, lo que facilita la forma de presentar comparaciones entre las diferentes alternativas al variar los pesos de niveles y criterios.

Al momento de utilizar el PAJ se tienen en cuenta la opinión de expertos, mediante la cual se hace la selección de los criterios de decisión, que son necesarios para poder completar el análisis propuesto en este capítulo. Los pasos que se siguen para su desarrollo de forma mucho más puntual son [121]:

1. Identificación del objeto de estudio.
2. Elección de las alternativas.
3. Elección de expertos.
4. Elección de los criterios de decisión.
5. Ponderación de los criterios.
6. Valoración de las alternativas según cada criterio.
7. Análisis de dominancia
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.

### 5.1.1 *Identificación del objeto de estudio.*

Priorizar la asignación del espectro requerido para la implementación de la tecnología 5G en Colombia, con base en las bandas de frecuencia propuestas por la Agencia Nacional del Espectro, utilizando el proceso analítico jerárquico, PAJ.

### 5.1.2 *Elección de alternativas:*

Según lo presentado en el apartado 4.2.3. *Espectro proyectado en Colombia*, la Agencia Nacional del espectro, en línea con los procesos de armonización internacionales, contempla tres rangos de frecuencias para definir las bandas que serán parte de los procesos de asignación de frecuencias que se requieren para el despliegue e implementación de la tecnología 5G en Colombia. Estos tres rangos serán los tomados en cuenta como las alternativas para el presente caso de estudio.

- **FRECUENCIAS POR DEBAJO DE 1 GHZ O BANDAS BAJAS**
- **FRECUENCIAS ENTRE 1 Y 6 GHZ O BANDAS MEDIAS**
- **FRECUENCIAS SUPERIORES A 6 GHZ O BANDAS ALTAS**

### 5.1.3 *Elección de los expertos*

La elección de los expertos fue realizada teniendo en cuenta las diferentes áreas (niveles) de estudio que fueron definidas, de un listado preliminar de posibles expertos, en donde se estableció comunicación con 10 profesionales, vinculados con la academia y con las entidades encargadas de tomar decisiones alrededor de los procesos de asignación de espectro en Colombia; con ellos se socializó el proyecto y se obtuvieron comentarios y sugerencias alrededor del mismo. Finalmente, para la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico, se escogieron 5 expertos con los siguientes perfiles:

#### ➤ **Experto 1:**

Doctor en Ingeniería de la De la Pontificia Universidad Javeriana, Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Distrital de Bogotá, Ingeniero Electrónico de la Universidad Antonio Nariño, docente investigador en temas de Espectro

radioeléctrico, con participación en varios proyectos de investigación en huecos espectrales y mecanismos de acceso para comunicaciones móviles.

➤ **Experto 2:**

Magister en Tecnologías de la Información y la Comunicación de la Universidad Pontificia Bolivariana, ingeniero electrónico de la Universidad Santo Tomás, especialista en Gestión de Sistemas y Tecnologías de la Información de la Empresa de la Universidad EAN y la Universidad Politécnica de Madrid. Con experiencia profesional en diferentes empresas del sector y entidades del estado, como el Ministerio de Comunicaciones, la Comisión de Regulación de Comunicaciones y la Agencia Nacional del Espectro, en esta última como subdirector de Gestión y Planeación Técnica del Espectro.

➤ **Experto 3:**

Ingeniero electrónico, especialista en proyectos informáticos. Con experiencia profesional en diferentes empresas del sector y en la Agencia Nacional del Espectro, en la coordinación del Grupo de Ingeniería de Espectro.

➤ **Experto 4:**

Ingeniero electrónico, especialista en Gerencia de Proyectos de Telecomunicaciones, con Maestría en Derecho. Con experiencia profesional como docente y en entidades del sector, como el Ministerio de Comunicaciones, la Autoridad Nacional de Televisión y la Agencia Nacional del Espectro, en esta última, en la coordinación del Grupo Técnico de Monitoreo y radiodifusión.

➤ **Experto 5:**

Ingeniero de Telecomunicaciones, especialista en Gestión de Proyectos de ingeniería y en interventoría de proyectos, Magister en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Doctor en Ingeniería de Sistemas y Computación. Con experiencia de más de 10 años en docencia, en campos como las comunicaciones ópticas, redes de datos, comunicaciones móviles, y el espectro electromagnético, entre otros.

#### *5.1.4 Elección de los criterios de decisión*

Los criterios que serán utilizados son los presentados en el numeral 2.3, donde a su vez se definieron para evitar ambigüedades. La forma de valorar los criterios se realizó utilizando una escala Likert de 1-9, donde 9 representa el valor que significa la mayor valoración para cada criterio y 1 la menor, teniendo especial cuidado en que todos los criterios fuesen evaluados a maximizar, es decir que para todos el 9 fuese el valor máximo y que aportara positivamente al análisis. Para encontrar los pesos se utilizó la comparación por pares propia del PAJ, además de técnicas de normalización, lo que permitió definir los pesos de cada criterio como un valor entre (0-1).

Los criterios seleccionados se enmarcaron en 5 bloques, como se observa en la estructura jerárquica que se presenta en la Figura. 5.1.

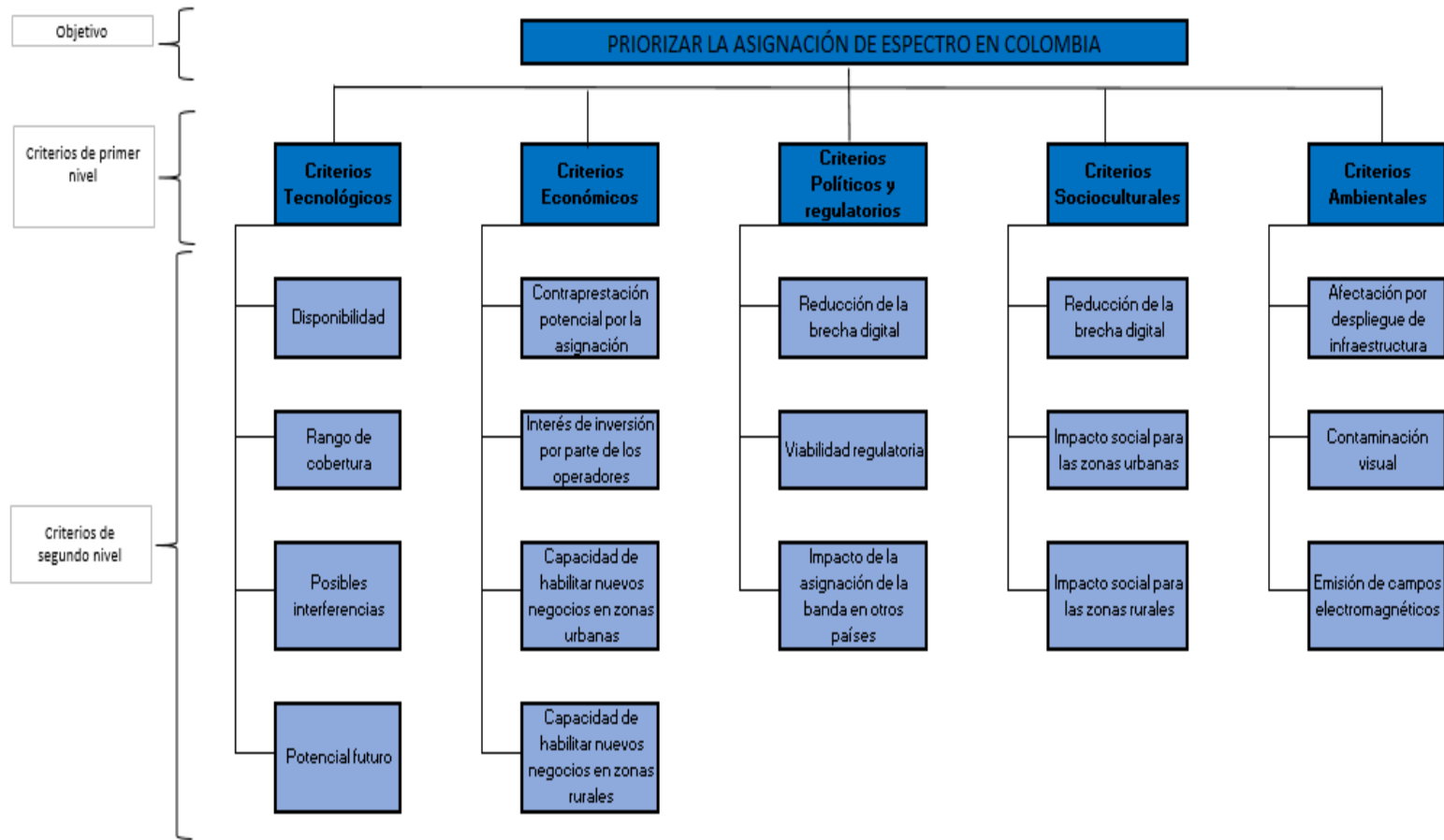


Figura. 5.1. Estructura Jerárquica

El resultado resaltado (47%) indica que las bandas bajas tienen una dominancia en el 47% de los criterios evaluados con respecto a las bandas altas, en este caso ninguna alternativa tuvo el 100% de dominancia (No hubo óptimo de Pareto), por lo que, para tener una mejor comprensión de los datos, se hace necesario encontrar el Índice de dominancia ( $D_i/d_i$ ), donde  $D_i$  es la sumatoria de las filas evaluadas y  $d_i$  es la suma de las columnas evaluadas. Estos resultados se pueden apreciar en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Matriz de dominancia con índices de dominancia

	<b>Bandas Bajas</b>	<b>Bandas Medias</b>	<b>Bandas Altas</b>	<b>D<sub>i</sub></b>	<b>D<sub>i</sub>/d<sub>i</sub></b>
<b>Bandas Bajas</b>	0	6	8	14	0,7
<b>Bandas Medias</b>	11	0	9	20	1,43
<b>Bandas Altas</b>	9	8	0	17	1
<b>d<sub>i</sub></b>	20	14	17		

Se puede apreciar con claridad, que la alternativa con mayor índice de dominancia corresponde a las bandas medias, seguida por las bandas altas, y finalmente están las bandas bajas con un índice de dominancia de 1.43, 1 y 0.7, respectivamente. Esto se puede interpretar como que al tener el menor índice de dominancia las bandas bajas, son las bandas más dominadas por las demás, y así mismo, las bandas medias son las que más dominan.

### 5.1.5 Ponderación de los criterios

La ponderación de los criterios se realizó aplicando la media geométrica a las valoraciones dadas por los expertos, esta técnica permite tener una valoración objetiva en términos de discrepancias ya que minimiza el impacto de valoraciones muy distantes a las realizadas por los demás expertos, caso que puede suceder como consecuencia de que un experto valorara algún criterio que no sea de su completo dominio. Los resultados de este proceso se pueden ver en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Ponderación Final de los Criterios de Primer Nivel

<b>Criterios Primer Nivel</b>	<b>Peso</b>
Criterios Tecnológicos	0,1853
Criterios Económicos	0,2313
Criterios Políticos y regulatorios	0,2040
Criterios Socioculturales	0,2238
Criterios Ambientales	0,1554
Suma General	1

Se puede observar que adicional a los niveles establecidos inicialmente, hay una casilla nombrada como Peso, la cual muestra un número en un rango entre 0 y 1 Para este caso en particular, al criterio tecnológico se le asignó un valor de 0.1853 correspondiendo al 18,5%, los demás niveles están expresados de la misma forma dando una total del 100%. Este valor hallado, es consecuencia de haber aplicado la primera parte del PAJ y debe entenderse como el peso que tendrá cada nivel en la ponderación final, al momento de evaluar los criterios correspondientes a ese nivel en particular entre cada una de las alternativas. A continuación, en la Tabla 5.3, Tabla 5.4, Tabla 5.5, Tabla 5.6 y Tabla 5.7 se muestra el mismo resultado con cada uno de los criterios de cada nivel.

Tabla 5.3. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Tecnológico

<b>Criterios Tecnológicos</b>	<b>Peso</b>
Disponibilidad	0,2974
Rango de cobertura	0,2886
Posibles interferencias	0,1704
Potencial futuro	0,2436
Suma General	1

Tabla 5.4 Ponderación Final de los Criterios del Nivel Económico

<b>Criterios Económicos</b>	<b>Peso</b>
Contraprestación potencial por la asignación	0,2312
Interés de inversión por parte de los operadores	0,2856
Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas urbanas	0,2293
Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas rurales	0,2539
Suma General	1

Tabla 5.5. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Político-Regulatorio

<b>Criterios Políticos-Regulatorios</b>	<b>Peso</b>
Reducción de la brecha digital	0,4042
Viabilidad regulatoria	0,3499
Impacto de la asignación de la banda en otros países	0,2459
Suma General	1

Tabla 5.6. Ponderación Final de los Criterios del Nivel sociocultural

<b>Criterios Socioculturales</b>	<b>Peso</b>
Reducción de la brecha digital	0,3610
Impacto social en zonas urbanas	0,2826
Impacto social en zonas rurales	0,3564
Suma General	1

Tabla 5.7. Ponderación Final de los Criterios del Nivel Ambiental

<b>Criterios Ambientales</b>	<b>Peso</b>
Afectación por despliegue de infraestructura	0,2816
Contaminación visual	0,2633
Emisión de campos electromagnéticos	0,4551
Suma General	1

En este punto es importante mencionar, que el método PAJ contempla un análisis para cada una de las matrices que valora cada experto, en donde la inconsistencia encontrada de las matrices debe ser inferior al 10%. En el desarrollo de algunas valoraciones por parte de los expertos hubo que repetir el proceso de valoración, ya que se superaba el umbral estipulado de la inconsistencia.

#### 5.1.6 *Valoración de las alternativas según cada criterio*

Para hacer la valoración de las alternativas para cada criterio, algunos expertos según su área de experticia estimaron los ratios de preferencia por cada uno de los criterios y subcriterios en particular. Para obtener la matriz de decisión, se aplicó la media geométrica a las valoraciones dadas. En la Tabla 5.8 se aprecia este resultado con los valores normalizados por la suma, así como, una justificación de lo que se tuvo en cuenta para dar dicha valoración.

Tabla 5.8. Valoraciones normalizadas con su correspondiente justificación

		Elementos contemplados para la valoración	Valoración		
			Bandas bajas	Bandas medias	Bandas altas
Criterios Tecnológicos	Disponibilidad	<p>En el documento de consulta pública de la ANE, [122], se hace un estudio de la ocupación actual de las bandas de frecuencia estudiadas, en cuanto a bandas bajas, la banda de 600MHz (614-698MHz) tiene atribución previa para servicio móvil, pero la ocupación actual de la banda corresponde únicamente al Servicio de Radiodifusión televisión, por lo que requiere un proceso de liberación; la banda de 700MHz (698- 806MHz) contemplada en dicho documento fue asignada tras un proceso de subasta en el año 2019. Para el caso de bandas medias, la banda de 3.4 GHz (3.3 – 3.4 GHz) no tiene permisos vigentes por lo que se pueden adoptar nuevas tecnologías en ella; la banda de 3.5 GHz (3.4 – 3.6 GHz) tiene canalización para enlaces punto-punto del Servicio Fijo, pero tenían permiso hasta el año 2017 y la mayoría no fueron renovados dejando la banda libre de enlaces microondas; por último Banda de 3.6 GHz (3.6 – 3.7 GHz) es similar a la banda de 3500 MHz, operaban algunos enlaces del Servicio Fijo y enlaces de bajada (Banda C extendida) de algunos satélites, según la ANE, por la disponibilidad de espectro en el corto plazo, esta banda ofrece una valiosa oportunidad para el país. Para el caso las bandas altas, los rangos de asignación son bastante amplios y estas llamadas frecuencias milimétricas representan un alto potencial para la tecnología.</p>	0,176	0,353	0,471
	Rango de cobertura	<p>El documento ANE [122] resalta la importancia de las bandas bajas para suplir las necesidades de cobertura. De igual manera la GSMA en [123] dice que sin las frecuencias por debajo de 1GHz los servicios 5G se enfrentarán a dificultades para dar cobertura más allá de los centros urbanos y en el interior de los edificios. Por otro lado, las frecuencias entre 1 y 6 GHz ofrecen una buena combinación entre cobertura y capacidad para los servicios 5G.</p>	0,471	0,353	0,176
	Posibles interferencias	<p>De acuerdo con lo expresado en el criterio de disponibilidad, para las bandas bajas se debe tener en cuenta que la banda 700MHz ya se encuentra asignada para IMT, por su parte la banda de 600MHz requiere ser liberada, luego de lo cual podría asignarse, sin presentar alto riesgo de interferencia con otros servicios, si con otros dispositivos como amplificadores o bloqueadores. Para la banda media, en la cual se tienen algunas asignaciones de banda C y microondas, se debe tener en cuenta la posible interferencia de alguno de estos servicios sobre la transmisión 5G. Finalmente para bandas altas, se debe considerar la posibilidad de la masificación de aplicaciones, por ejemplo, de IoT, en lo que se debe cuidar la interferencia entre estos dispositivos.</p>	0,389	0,278	0,333
	Potencial futuro	<p>Con respecto al potencial futuro, en el Plan 5G del MinTIC, [124], se destacan pruebas realizadas en Europa para servicios como Industria 4.0, e-Health, ciudades inteligentes, realidad virtual, vehículos autónomos, seguridad pública, y entretenimiento, la mayoría de ellas en las bandas 3.5 GHz y 3.8GHz, igualmente se destacan en Corea del Sur servicios de entretenimiento como espectáculos deportivos con realidad virtual o realidad aumentada o con video 360°. También, en</p>	0,292	0,375	0,333

	<p>[125] se resalta la importancia de la tecnología 5G como habilitador del desarrollo de IoT, en este caso, se contempla el uso principalmente de frecuencias milimétricas. Finalmente, Vodafone presenta una serie de informes y estudios, inicialmente aplicados en España, donde presenta los distintos campos en los que 5G tiene potencial, mostrando avances en el sector sanitario y farmacéutico [126], en la logística y el transporte [127], en el sector energético [128], en el sector turismo [129], en el sector agroalimentario [130], en el sector educativo [131] y en el sector de la industria [132], por lo que es evidente el alto potencial futuro de la implementación de 5G.</p> <p>Igualmente al contemplar las tecnologías que potencialmente se implementarían sobre la banda, en este sentido, es importante hablar de un parámetro técnico como la velocidad de transmisión; Ericsson en sus comentarios frente al documento de consulta de 5G, [133], sugiere bloques de asignación por operador de 20 a 40 MHz en banda baja, 100MHz en banda media y de 800 a 1000MHz en bandas altas; de acuerdo con [122], la banda alta que tendrá grandes anchos de banda potencialmente disponibles proporcionará tasas de datos más altas y latencias más bajas; por lo que tendrá la valoración más alta para el criterio velocidad. Finalmente, la GSMA en [123] afirma que las frecuencias por encima de 6 GHz se deberán destinar para banda ancha móvil de velocidad ultra alta y que sin estas frecuencias 5G no podrá proporcionar las mayores Velocidades. Por otro lado, la densidad de conexiones, o La cantidad de usuarios, se ve limitada por el ancho de banda del canal, teniendo en cuenta la información citada en la valoración de velocidad, proyección del ancho de banda dada por Ericsson, este será mayor en las frecuencias altas y menor en las bajas, por tanto, la relación será igual para la densidad de conexiones.</p>			
<p><b>Criterios Económicos</b></p>	<p>Contraprestación potencial por la asignación</p> <p>En cuanto al componente económico, es importante aclarar que se toman como referencia países latinoamericanos, al considerar sus experiencias mucho más cercanas a las de Colombia, teniendo esto en cuenta, para verificar el criterio de contraprestación potencial por asignación de las bandas, se toma como referencia la experiencia de Chile, Republica Dominicana y Brasil, países citados en [134].</p> <p>Chile realizó tres subastas independientes, 700 MHz, AWS y 3.5 GHz, junto con una asignación directa de la banda de 26 GHz. Se asignó a un primer operador 20 MHz en la banda de 700 MHz y 30 MHz en AWS, por valor de 82 y 22.3 millones de dólares, respectivamente; tres operadores obtuvieron 50 MHz en la banda de 3.5 GHz por valor 163 millones de dólares; y se asignaron 400 MHz a los tres operadores en la banda 26 GHz, sin subasta. Lo anterior junto con contraprestaciones sociales como la conexión de 366 localidades con Internet móvil de alta velocidad y 199 hospitales, además de aeropuertos, centros de interés científicos y puertos marítimos.</p> <p>República Dominicana asignó a dos operadores 70 MHz de la banda de 3.5 GHz a cada uno, obteniendo 73.7 millones de dólares; la subasta por la banda de 700 MHz quedó desierta.</p> <p>Brasil licitó las bandas de 700 MHz, 2.3 GHz, 3.5 GHz y 26 GHz, por un valor de 9.15 mil millones de dólares, de los cuales 876 millones corresponden a recaudación y los demás a inversiones en compromisos de cobertura hasta 2029. Los tres</p>	<p>0,350</p>	<p>0,450</p>	<p>0,200</p>

		<p>operadores más grandes obtuvieron 100 MHz cada uno en la banda de 3.5 GHz junto con bloques en las bandas de 2.3 GHz y 26 GHz, por su parte los operadores regionales obtuvieron frecuencias en 2.3 GHz y 26 GHz.</p> <p>Es importante citar a [135], ya que afirma que los precios de subasta de las bandas altas a nivel internacional tienden a ser una fracción de los de las bandas por debajo de 6 GHz, esto principalmente por la menor propagación, lo que implica una mayor inversión en infraestructura para ofrecer cobertura.</p>			
	Interés de inversión por parte de los operadores	<p>Como en el criterio anterior, se toma como referencia los países latinoamericanos, citando de nuevo los resultados de las subastas y asignaciones dadas por [134], donde se evidencia que la banda de 3.5 GHz, ha tenido gran interés por parte de los operadores, para el caso de bandas bajas, es importante analizar la subasta desierta por la banda 700MHz en República Dominicana, y para el caso de las bandas altas, se ve una asignación sin retribución para el caso de 26 GHz en Chile, lo que puede ser interesante para los operadores. Por otro lado, en [136] ya están implementando 5G, no como resultado de subastas, sino por adecuación en licencias ya otorgadas; el Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú autorizó a dos operadores a usar la banda de 3.5 GHz para prestar servicios 5G; lo mismo que sucedió en México, donde el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) aprobó modificación a su título de concesión en la banda de 3.5 GHz, con el mismo fin.</p> <p>Lo anterior, junto con el análisis realizado en [135], donde se afirma que la banda de 3.5 GHz es considerada como de capacidad apta para el desarrollo de redes 5G, igualmente resalta las subastas para 700MHz, y cita que Uruguay, sin un proceso de subasta autorizo en uso de la banda de 28 GHz, además de los procesos ya citados para 26 GHz.</p> <p>Finalmente, el MinTIC solicitó a los operadores una manifestación de interés en el proceso para otorgar permisos del uso del espectro radioeléctrico en algunas bandas de frecuencia para la operación y prestación de servicios móviles terrestres, cuya respuesta, [137], muestra el interés de 6 operadores en 4 bandas de frecuencia, entre las que no se indaga por las bandas altas, obteniendo como resultado, 3 de 6 interesados en la banda 700MHz, 1 de 6 interesado en 1900MHz, 4 de 6 con interés en la banda de 2500MHz y 5 de 6 con interés en la banda de 3.5 GHz.</p>	0,300	0,450	0,250
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas urbanas	<p>En [125], [126], [127], [128], [129], [130], [131] y [132] se presentan algunas de las oportunidades que se habilitan con el despliegue de 5G, entre ellos, las bandas medias juegan un papel muy importante, como lo manifiesta [135], al igual que las bandas altas, sobre las cuales se centran temas como IoT. En este caso por tratarse de zonas urbanas en las cuales ya hay garantía de cobertura, el enfoque de los nuevos despliegues puede estar en servicios específicos, además, la densidad de habitantes, es decir, de clientes potenciales para los operadores, es mayor, por lo que seguramente la inversión en infraestructura es justificada.</p>	0,200	0,350	0,450

<b>Criterios Políticos y regulatorios</b>	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas rurales	Al igual que en el criterio anterior, es válido citar [125], [126], [127], [128], [129], [130], [131] y [132] como oportunidades que llegan con la nueva tecnología, sin embargo, al tratarse de zonas rurales, en las cuales aún no se tiene garantía de cobertura al 100%, es prioridad lograr cerrar esa brecha, además, la distancia que existe entre un hogar y otro en estas zonas, limita la inversión que realiza el operador, ya que no es tan cercano el retorno a dicha inversión. Por tanto, resultan más significativas las bandas bajas que permiten garantizar cobertura con menor despliegue de infraestructura.	0,471	0,353	0,176
	Reducción de la brecha digital	Dentro del Plan Nacional de Desarrollo, [138], se resalta el Pacto por la Transformación Digital de Colombia, y la meta 14, “lograr que 11.8 millones de hogares (70%) estén conectados a internet”, para el cumplimiento de esta meta es necesario priorizar las bandas que garanticen un mejor rango de cobertura, es decir, las de bandas bajas.	0,500	0,333	0,167
	Viabilidad regulatoria	Basado en el documento de consulta [122], se encuentra que hay una mayor posibilidad de regular sobre las bandas altas, ya que estas no presentan una considerable ocupación actual, en cuanto a las bandas bajas, ya se tiene asignada la banda de 700MHz y la de 600MHz cuenta ya con atribución IMT; por su parte bandas medias requieren evaluar la convivencia con otros servicios para utilizar ese espectro para 5G, sin embargo, hay grandes posibilidades regulatorias en esta banda.	0,263	0,316	0,421
	Impacto de la asignación de la banda en otros países	Con El fin de revisar el impacto de las asignaciones, es importante tener presentes las asignaciones citadas en el criterio “contraprestación potencial por la asignación”, con base en [134], [135] y [136], además 5G Américas ofrece en [139] un panorama de 5G para América del Sur, donde se destaca la existencia de 14 redes 5G en 7 países y la realización de pruebas 5G en 8 países. Brasil, por ejemplo, tiene 4 redes 5G, con asignaciones en las bandas 700MHz, 2.3GHz, 3.5GHz y 26GHz; En Paraguay se consideran las bandas de 3.5GHz y 26GHz como las aptas para despliegue 5G; Uruguay tiene una red 5G en 28GHz y pruebas en 26GHz; Argentina tiene varias pruebas 5G en las bandas de 3.5GHz y 28GHz; Chile ha desplegado 3 redes 5G, asignando las bandas de 700MHz, AWS-3, 3.5GHz y 26GHz; Bolivia ha realizado pruebas en la banda de 3.5GHz; Perú tiene 3 redes 5G, ya que se autorizó el uso de asignaciones preexistentes en las bandas AWS, 2.5GHz y 3.5GHz, además que han realizado pruebas en 26GHz y 28GHz; Ecuador considera la banda de 3.5GHz; y finalmente Colombia, que ha desplegado una red sobre el espectro 2.5GHz, ha realizado pruebas en la banda 3.5GHz y considera 600MHz, 700MHz, banda L, 2.3GHz, 26GHz y 38GHz como bandas aptas para 5G.	0,273	0,409	0,318

<b>Criterios Socioculturales</b>	Reducción de la brecha digital	Para el caso de la reducción de la brecha digital, desde la perspectiva de lo sociocultural, es importante resaltar lo planteado por 5G Américas en [140], donde afirma que al menos 77 millones de personas en zonas rurales de América Latina y el Caribe no cuentan con conexiones con estándares mínimos de calidad, se tiene un promedio de 27 puntos porcentuales de brecha entre la conectividad urbana y rural, para cambiar esta realidad, igualmente 5G Américas en [141] plantea que 5G es una alternativa para el despliegue de redes de telecomunicaciones rurales a una fracción de lo que costaría este despliegue a través de redes cableadas, lo anterior, según [142], se haría principalmente con el uso de frecuencias por debajo de 1GHz, particularmente bandas de 600MHz y 700MHz, por sus características técnicas de propagación de señal, por lo que serían ideales para brindar servicios de banda ancha móvil inalámbrica en zonas de baja densidad poblacional.	0,500	0,333	0,167
	Impacto social en zonas urbanas	Con respecto al impacto social en las zonas urbanas, es importante resaltar las posibilidades que, como lo expresa [125], surgen en temas como IoT, donde la comunicación máquina a máquina puede traer grandes impactos en el bienestar de las personas y proyectos que generan cambios en el estilo de vida de una sociedad que cada vez introduce la tecnología con mayor agilidad en su entorno; lo anterior, con un despliegue principalmente sobre bandas altas. Igualmente, elementos del sector sanitario y farmacéutico [126], en la educación [131] y en la industria [132], son de alto impacto en las zonas urbanas, en este caso, sobre todo con despliegues, algunos ya probados en Colombia, sobre banda de 3.5GHz, bandas medias.	0,222	0,333	0,444
	Impacto social en zonas rurales	Para las zonas rurales, hay un impacto importante en sectores como el de la logística y el transporte [127], igualmente en lo energético [128], en el turismo [129] y sobre todo en lo agroalimentario [130], sin embargo, en estas zonas donde no se ha tenido acceso a servicios de telecomunicaciones, lo más importante es la garantía de reducción de la brecha digital, lo cual se logra con despliegue sobre las bandas bajas.	0,450	0,350	0,200
<b>Criterios Ambientales</b>	Afectación por despliegue de infraestructura	Como se ha mencionado, las bandas altas requieren mayor despliegue de infraestructura, sin embargo, el tamaño de las pico y nano celdas utilizadas es muy pequeño por lo que la afectación será muy baja, además que no se contempla mayor despliegue de estas tecnologías en zonas rurales y distantes; aunque se debe considerar que se tiene una infraestructura previa, con despliegue en algunas de estas zonas, por lo que la migración a la nueva tecnología no tendría una afectación nueva. En contraste, las  Bandas bajas, que requieren de menor cantidad de infraestructura, generaran mayor afectación, debido a que las estaciones tienen un tamaño mucho mayor, adicionalmente, se deben desplegar en zonas rurales ya que es por medio de estas que se garantizara cobertura a las zonas alejadas, por lo que el impacto a la fauna y la flora puede ser considerable en los espacios donde se coloquen las estaciones base.	0,167	0,333	0,500

	Contaminación visual	El caso de las bandas altas, que requieren mayor cantidad de celdas, no es el que genera mayor contaminación visual, esto debido a que el tamaño de dichas celdas es muy pequeño y estas se ubican utilizando estrategias de mimetización que en muchos casos las hacen imperceptibles. Las bandas bajas tienen una menor cantidad de estaciones base, sin embargo, sus tamaños son considerables. Finalmente, para las bandas medias, se tiene un tamaño medio, superior al de las celdas de bandas altas, aunque inferior al de las estaciones de banda baja, igualmente en cuanto a la cantidad, son menos que en la de bandas altas, pero más que en las bandas bajas, por lo que se considera una mayor contaminación visual.	0,286	0,286	0,429
	Emisión de campos electromagnéticos	Este criterio será mayor para el caso de las bandas bajas ya que la cobertura a garantizar es más alta y se requiere de una mayor potencia de la estación base; de esta misma manera y de forma proporcional sucede en las frecuencias medias y altas. Sin embargo, las tecnologías cumplen con los parámetros dados por la Organización Mundial de la Salud, y los despliegues deben cumplir con la normatividad vigente en el país.	0,222	0,333	0,444

La Tabla 5.9 muestra este proceso consolidado a manera de lo que es conocido en el método PAJ como la matriz de decisión.

Tabla 5.9. Matriz de Decisión

Criterios de primer nivel	Subcriterios	MAX/MIN	Valoración		
			Bandas bajas	Bandas medias	Bandas altas
<b>Criterios Tecnológicos</b>	Disponibilidad	MAX	0,176	0,353	0,471
	Rango de cobertura	MAX	0,471	0,353	0,176
	Posibles interferencias	MAX	0,389	0,278	0,333
	Potencial futuro	MAX	0,292	0,375	0,333
<b>Criterios Económicos</b>	Contraprestación potencial por la asignación	MAX	0,350	0,450	0,200
	Interés de inversión por parte de los operadores	MAX	0,300	0,450	0,250
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas urbanas	MAX	0,200	0,350	0,450
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas rurales	MAX	0,471	0,353	0,176

<b>Criterios Políticos y regulatorios</b>	Reducción de la brecha digital	MAX	0,500	0,333	0,167
	Viabilidad regulatoria	MAX	0,263	0,316	0,421
	Impacto de la asignación de la banda en otros países	MAX	0,273	0,409	0,318
<b>Criterios Socioculturales</b>	Reducción de la brecha digital	MAX	0,500	0,333	0,167
	Impacto social en zonas urbanas	MAX	0,222	0,333	0,444
	Impacto social en zonas rurales	MAX	0,450	0,350	0,200
<b>Criterios Ambientales</b>	Afectación por despliegue de infraestructura	MAX	0,167	0,333	0,500
	Contaminación visual	MAX	0,286	0,286	0,429
	Emisión de campos electromagnéticos	MAX	0,222	0,333	0,444

### 5.1.7 Análisis de Dominancia

El análisis de dominancia se realiza mediante la utilización de una matriz cuadrada donde se evalúa cada una de las alternativas criterio a criterio, identificando el número de veces que una alternativa domina a otra en el total de los criterios evaluados. Al tener la matriz completa, se procede a hacer un análisis de dominancia donde se puede identificar el grado en que una alternativa domina a otra (medido en porcentaje), e inclusive, ese análisis mostraría eventualmente si existe una alternativa que domine a todas las demás en todos los criterios “óptimo de Pareto”, los resultados de este análisis se evidencian en la Tabla 5.10, también llamada matriz de dominancia.

Tabla 5.10. Matriz de dominancia

	<b>Bandas Bajas</b>	<b>Bandas Medias</b>	<b>Bandas Altas</b>
<b>Bandas Bajas</b>	0%	35%	47%
<b>Bandas Medias</b>	65%	0%	53%
<b>Bandas Altas</b>	53%	47%	0%

### 5.1.8 Cálculo de la prioridad global en el conjunto de alternativas

Teniendo en cuenta que todos los criterios y subcriterios fueron evaluados a maximizar, no hubo necesidad de revisar criterios a minimizar, por lo que se procedió a aplicar dos métodos de normalización a los datos de la matriz de decisión, los cuales corresponden a la normalización por la suma (Método Distributivo) y a la normalización por el mayor (Método Ideal).

Una vez han sido obtenidos los valores de haber aplicado cada método, se realiza una multiplicación directa de cada valor normalizado por el valor del vector prioridad encontrado para cada criterio y subcriterio. Y para poder determinar cuál es la forma de priorizar las bandas de frecuencia, se deben sumar los valores obtenidos por cada alternativa. Los resultados de haber aplicado el método distributivo se muestran en la Tabla 5.11 y así mismo en la Tabla 5.12 se hace lo correspondiente para el método Ideal.

Para facilidad al momento de interpretar la Tabla 5.11, el valor 0.0097 (resaltado en amarillo) obtenido por las bandas bajas en el criterio de disponibilidad, corresponde al valor encontrado después de haber realizado la media geométrica con las valoraciones de los expertos y su correspondiente normalización, realizada con el método distributivo (0.176), este valor es multiplicado por el vector prioridad para el criterio de disponibilidad (0.2974), y a su vez multiplicado por el vector prioridad del nivel tecnológico (0.1853), lo que da como resultado (0.0097).

Así mismo, para entender los valores de la Tabla 5.12, se aplicó la misma metodología anterior, la única diferencia radicó en el método utilizado para realizar la normalización, ya que en esta oportunidad se utilizó el método de normalización ideal (normalización por el mayor número dentro del set de datos, es decir entre los valores de cada criterio evaluado).

Tabla 5.11. Cálculo de la Prioridad Global (Método Distributivo)

Criterios y Subcriterios		Alternativas		
Criterios Padres	Criterios Hijos	Bandas bajas	Bandas medias	Bandas altas
Criterios Tecnológicos	Disponibilidad	0,0097	0,0195	0,0259
	Rango de cobertura	0,0252	0,0189	0,0094
	Posibles interferencias	0,0123	0,0088	0,0105
	Potencial futuro	0,0132	0,0169	0,0151
Criterios Económicos	Contraprestación potencial por la asignación	0,0187	0,0241	0,0107
	Interés de inversión por parte de los operadores	0,0198	0,0297	0,0165
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas urbanas	0,0106	0,0186	0,0239
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas rurales	0,0276	0,0207	0,0104
Criterios Políticos y regulatorios	Reducción de la brecha digital	0,0412	0,0275	0,0137
	Viabilidad regulatoria	0,0188	0,0225	0,0301
	Impacto de la asignación de la banda en otros países	0,0137	0,0205	0,0160
Criterios Socioculturales	Reducción de la brecha digital	0,0404	0,0269	0,0135
	Impacto social en zonas urbanas	0,0141	0,0211	0,0281
	Impacto social en zonas rurales	0,0359	0,0279	0,0160
Criterios Ambientales	Afectación por despliegue de infraestructura	0,0073	0,0146	0,0219
	Contaminación visual	0,0117	0,0117	0,0175
	Emisión de campos electromagnéticos	0,0157	0,0236	0,0314
		0,336	0,353	0,311

Tabla 5.12. Cálculo de la Prioridad Global (Método Ideal)

Criterios y Subcriterios		Alternativas		
Criterios Padres	Criterios Hijos	Bandas bajas	Bandas medias	Bandas altas
Criterios Tecnológicos	Disponibilidad	0,0207	0,0413	0,0551
	Rango de cobertura	0,0535	0,0401	0,0201
	Posibles interferencias	0,0316	0,0226	0,0271
	Potencial futuro	0,0351	0,0452	0,0401
Criterios Económicos	Contraprestación potencial por la asignación	0,0416	0,0535	0,0238
	Interés de inversión por parte de los operadores	0,0440	0,0661	0,0367
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas urbanas	0,0236	0,0412	0,0530
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas rurales	0,0587	0,0441	0,0220
Criterios Políticos y regulatorios	Reducción de la brecha digital	0,0825	0,0550	0,0275
	Viabilidad regulatoria	0,0446	0,0535	0,0714
	Impacto de la asignación de la banda en otros países	0,0335	0,0502	0,0390
Criterios Socioculturales	Reducción de la brecha digital	0,0808	0,0539	0,0269
	Impacto social en zonas urbanas	0,0316	0,0474	0,0633
	Impacto social en zonas rurales	0,0798	0,0620	0,0355
Criterios Ambientales	Afectación por despliegue de infraestructura	0,0146	0,0292	0,0438
	Contaminación visual	0,0273	0,0273	0,0409
	Emisión de campos electromagnéticos	0,0354	0,0531	0,0708
Resultado Normalizado		0,333	0,354	0,314

### 5.1.9 Análisis de resultados

Teniendo en cuenta que todas las valoraciones dadas por los expertos se hicieron a maximizar, es decir que el mayor número posible representa una mejor valoración en cada uno de los criterios, se utilizaron dos métodos distintos para normalizar los cuales conservan proporcionalidad, estos resultados se pueden evidenciar en la Tabla 5.11 y Tabla 5.12. Los resultados obtenidos por el método distributivo arrojan que las bandas que mayor porcentaje obtuvieron son las bandas medias, con un valor del 35.3%, seguido por las bandas bajas que obtuvieron un 33.6%, y finalmente las bandas altas con un 31,1%. De la misma manera, se encontró que los resultados fueron muy similares a los que se precisaron con el método del ideal, ya que las bandas medias nuevamente se posicionaron en el primer lugar con un 35,4% y para el segundo lugar se encontró nuevamente a las bandas bajas con un 33,3%, a lo que siguieron las bandas altas con un 31,4%.

Teniendo en cuenta lo anterior, se evidencia que en ambos casos las bandas de frecuencia mantuvieron sus posiciones, las bandas medias se posicionan como la alternativa evaluada que obtiene el mayor porcentaje, seguida por las bandas bajas y finalizando con las bandas altas. Lo anterior da a entender que, al momento de priorizar la asignación de las bandas de frecuencia, se debería establecer el orden encontrado así:

1. Bandas Medias
2. Bandas Bajas
3. Bandas Altas

Como último paso del PAJ, se hace necesario realizar un análisis de sensibilidad, con el fin de conocer la robustez de los resultados precisados anteriormente, para esto, los valores obtenidos en los vectores de prioridad serán variados con la finalidad de ver los posibles comportamientos en el resultado global, y así mismo, poder resaltar las áreas fuertes y/o débiles, de las tecnologías que se posicionan en primer y segundo lugar. Estas variaciones se muestran a continuación.

## 5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA SELECCIÓN REALIZADA.

Como se mencionó anteriormente, Para completar el proceso del PAJ, en esta parte del documento se realizará un análisis de sensibilidad para confirmar que los resultados sean suficientemente robustos y concluyentes. Para realizar este análisis, se utiliza una herramienta informática de cálculo denominada Expert Choice.

Este software, permite observar la importancia de los criterios, con lo cual ayuda a determinar diferentes escenarios que pueden llegar a cambiar una decisión, gracias a que permite cambiar los valores obtenidos en los vectores de prioridad (pesos) de los criterios y subcriterios analizados durante todo el proceso matemático del PAJ.

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 afectan el resultado obtenido inicialmente, lo que se verá reflejado en que las bandas de frecuencia medias seguirán siendo las bandas prioritarias a pesar de los cambios, o, que alguna de las otras bandas de frecuencia podrían posicionarse como las bandas a escoger, en caso de que los cambios resulten en que el modelo jerárquico evaluado tenga cierta fragilidad.

### 5.2.1 Modelo Jerárquico

El modelo jerárquico analizado se muestra en la Figura. 5.2, se observa como en la parte superior del modelo se posiciona el objetivo del problema a resolver (Goal), a partir del cual se establecen criterios y subcriterios, sobre los cuales se valora cada una de las alternativas. Se observa una estructura similar a la presentada en la Figura. 5.1, objetivo, criterios de primer nivel y criterios de segundo nivel.

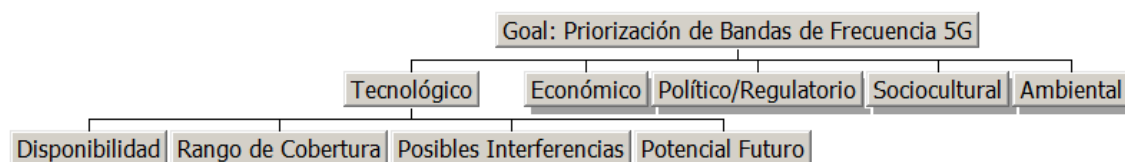


Figura. 5.2. Árbol jerárquico. Fuente: Simulador

Para una mejor comprensión de la Figura. 5.2, se puede apreciar que los criterios identificados, para priorizar las bandas de frecuencia, son los mismos 5 que se han venido trabajando hasta el momento, Tecnológico, Económico, Ambiental, Político-Regulatorio y Sociocultural. Así mismo, para no saturar la imagen, solo se muestran los subcriterios del nivel tecnológico, los cuales son: disponibilidad, rango de cobertura, posibles interferencias y potencial futuro. Finalmente, debe entenderse que en la base del modelo jerárquico están las alternativas estudiadas, lo que significa que todos los criterios y subcriterios identificados son evaluados para cada banda de frecuencia en particular.

Una vez establecido el modelo jerárquico, se ingresan los datos que se obtuvieron con la media geométrica, la cual fue aplicada a las valoraciones de los expertos. En la Figura. 5.3 se muestran los valores calculados por el software (pesos) para cada criterio, donde la letra L (Local), debe entenderse como el peso del subcriterio en relación con los otros que están en el mismo clúster. Así mismo, la letra G (Global), corresponde al peso que tiene un criterio o subcriterio en particular dentro de todo el modelo, es decir, su peso específico frente al objetivo planteado.

Es de anotar, que el software en su implementación utiliza el PAJ para corroborar los datos que se obtienen de forma matemática con las operaciones y las matrices, y cuando se han insertado todas las valoraciones necesarias, muestra un color verde que también se aprecia en la Figura. 5.3 antes del nombre de cada criterio, señalando que, si el modelo jerárquico está listo para ponderar las valoraciones, la parte del objeto de estudio (Goal) también se pone en verde.

En los criterios y subcriterios, se puede observar que el nivel de color verde dentro del cuadro es proporcional a la ratio de importancia dentro de cada nivel del modelo jerárquico, es decir corresponde a su importancia local. Esto se evidencia, por ejemplo, en el criterio ambiental, donde el cuadro verde muestra su participación cercana al 15% (cerca del 85 % del cuadro está en gris), mientras que cada uno de sus subcriterios muestra un cuadro con una participación proporcional al peso de cada uno de ellos.

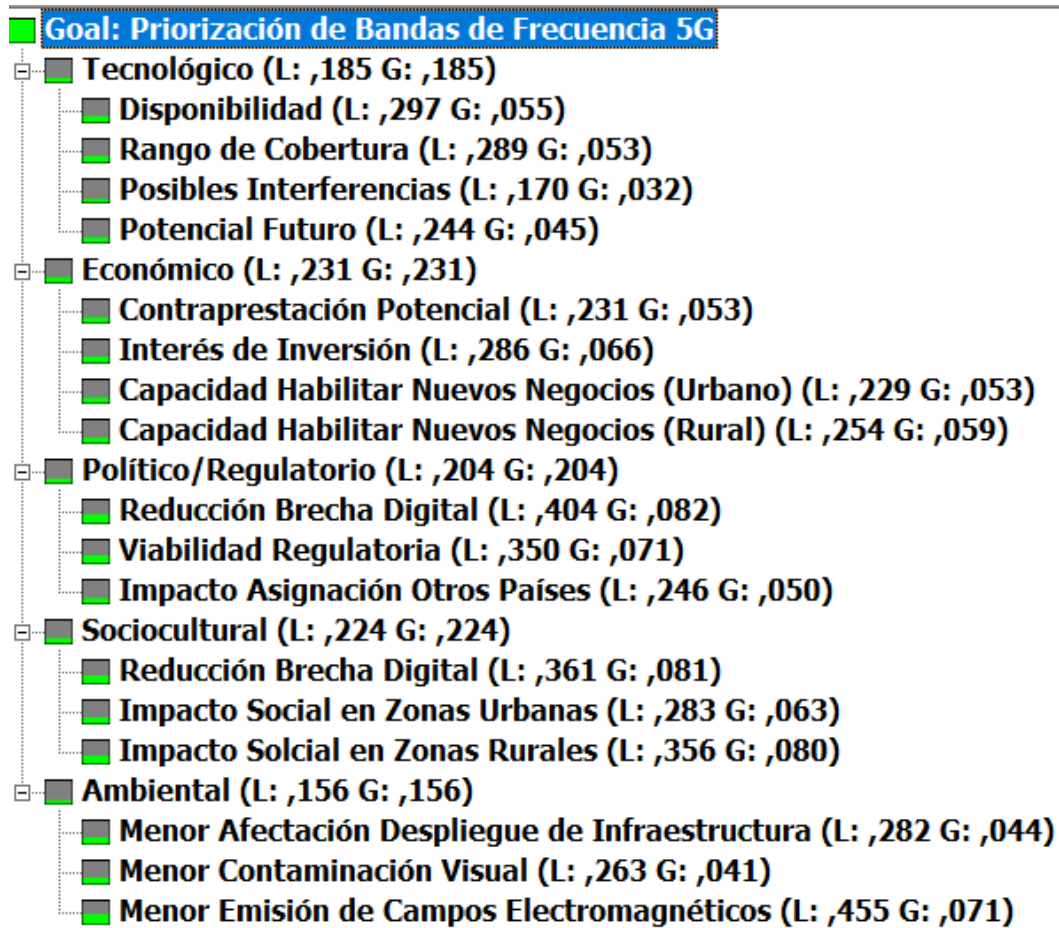


Figura. 5.3.Pesos de los Niveles y Subniveles en el Expert Choice. Fuente: Simulador

Una vez se ha confirmado que todos los criterios están en verde, se puede calcular el resultado del modelo, en la Figura. 5.4 se muestran el resultado obtenido al aplicar el modo distributivo con la ayuda del programa Expert Choice.



Figura. 5.4. Resultado Modo distributivo. Fuente: Simulador

Por otro lado, la Figura. 5.5 presenta el resultado obtenido al aplicar el modo ideal, igualmente con la ayuda del programa Expert Choice. En ambos casos se aprecia que los resultados obtenidos de forma matemática coinciden con los arrojados por el software, lo que indica que el PAJ fue aplicado de buena manera. En este punto es que tiene sentido hacer las variaciones en los pesos de los criterios.



Figura. 5.5. Resultado Modo ideal. Fuente: Simulador

5.2.2 Análisis De Sensibilidad

En la Figura. 5.6 se puede observar cómo Expert Choice en una de sus herramientas analíticas, muestra los resultados de una forma diferente a la convencional y permite comparar los desempeños de las distintas bandas de frecuencia para cada uno de los criterios evaluados.

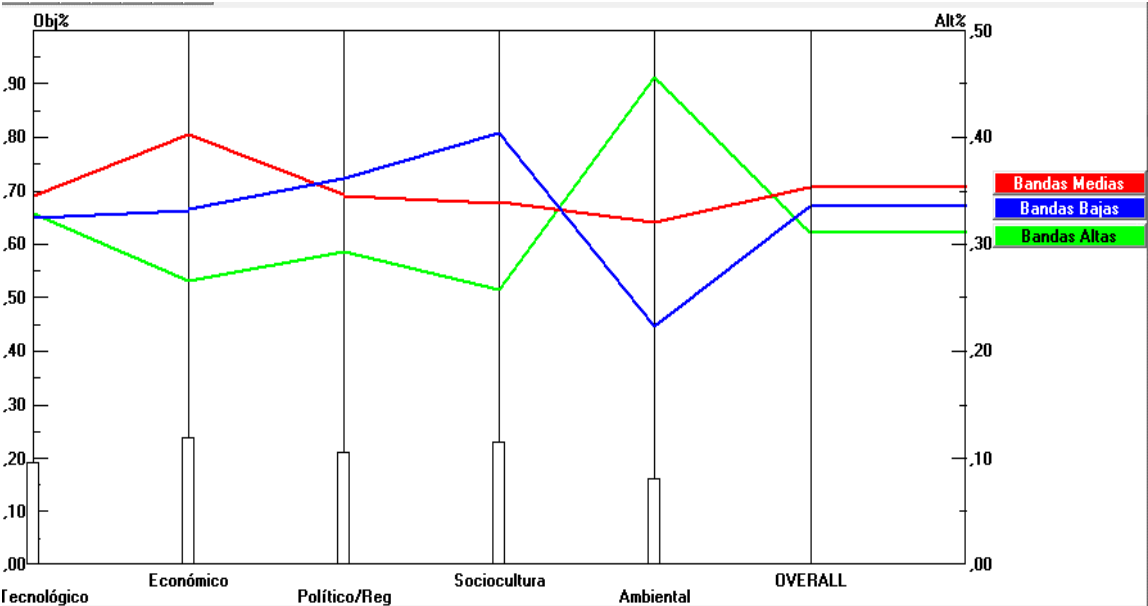


Figura. 5.6. Análisis de sensibilidad Modo Distributivo. Fuente: Simulador

Gracias a la utilización de colores en el entorno gráfico, se puede apreciar como las bandas medias (en rojo), obtienen el primer lugar, y de segundo lugar encontramos las bandas bajas, seguidas por las bandas altas. Se puede ver con facilidad que uno de los aspectos débiles de estas bandas de frecuencia corresponde al nivel sociocultural, sin embargo, posee fortalezas a nivel ambiental. A continuación, se muestran las variaciones menores a un 10%, realizadas sobre los pesos de estos criterios.

### 1. Sensibilidad a la variación menor al 10%

Como punto de partida para el análisis de sensibilidad, se puede observar en la Figura. 5.7, el resultado encontrado sin variar los pesos encontrados, es decir, tomando los pesos originales asignados por los expertos.

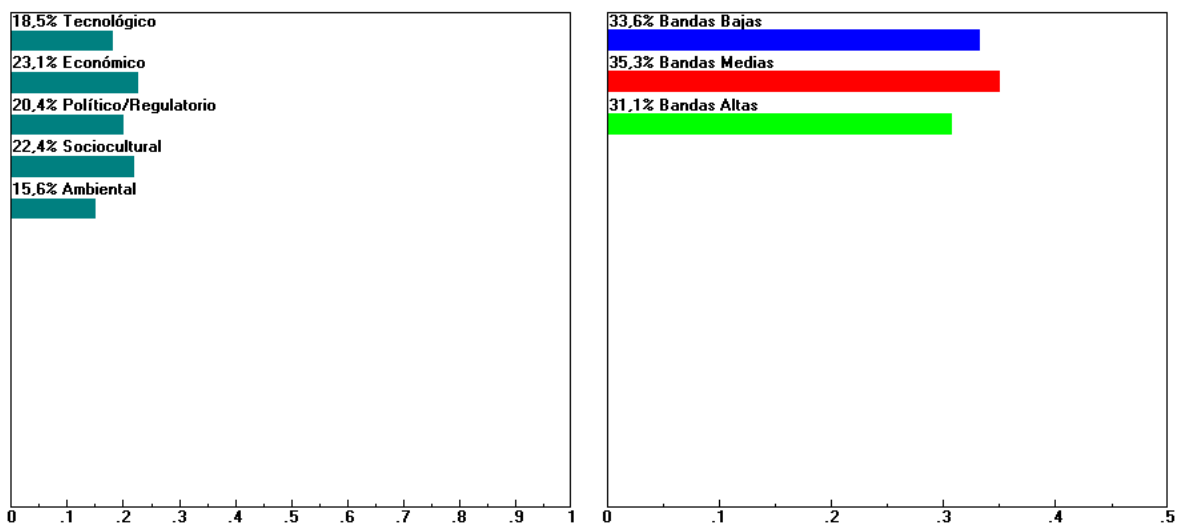


Figura. 5.7. Resultado Original sin Variaciones. Fuente: Simulador

Del mismo modo, la Figura. 5.8 muestra el desempeño de los criterios, pero en este caso permitiendo una variación para el criterio tecnológico en cerca del 10 %.

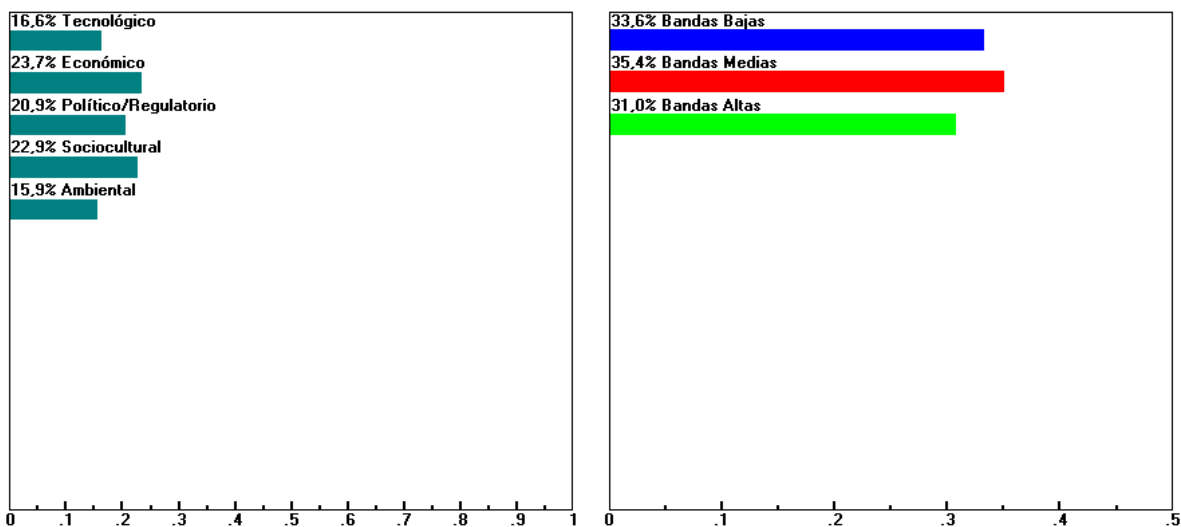


Figura. 5.8. Análisis de sensibilidad Dinámico Para Criterio Tecnológico. Fuente: Simulador

Los resultados de estas variaciones para cada criterio en el caso distributivo y su repercusión en la elección de la tecnología a escoger se consolidan en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Análisis de Sensibilidad < a 10%

Criterios					Alternativas		
Tecnológicos	Económicos	Políticos y regulatorios	Socioculturales	Ambientales	Bandas bajas	Bandas medias	Bandas altas
16,6	23,7	20,9	22,9	15,9	33,6	35,4	31
20,5	22,6	19,9	21,9	15,2	33,6	35,3	31,1
19,1	20,9	21	23	16	33,6	35,2	31,2
18	25,2	19,8	21,8	15,1	33,6	35,5	30,9
19	23,7	18,3	23	16	33,5	35,4	31,1
18	22,5	22,6	21,8	15,1	33,7	35,3	31
19	23,8	21	20,2	16	33,4	35,4	31,2
18	22,5	19,8	24,5	15,1	33,8	35,3	30,9
18,9	23,6	20,8	22,8	14	33,8	35,4	30,8
18,2	22,8	20,1	22	16,9	33,4	35,3	31,3

Al variar 10% del valor de cada criterio se logró comprobar que los valores son constantes y que su variación es mínima, y por consiguiente las bandas de frecuencia medias se posicionaron en todos los casos en el primer lugar, del mismo modo ocurrió con las bandas bajas y las altas, ocupando el segundo y tercer lugar respectivamente.

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 10%

A continuación, en la Tabla 5.14 se muestran los resultados consolidados de variar los pesos de los criterios hasta por un 50%.

Tabla 5.14. Análisis de Sensibilidad > a 10%

Criterios					Alternativas		
Tecnológicos	Económicos	Políticos y regulatorios	Socioculturales	Ambientales	Bandas bajas	Bandas medias	Bandas altas
9,7	25,6	22,6	24,8	17,2	33,7	35,4	30,9
26,7	20,8	18,4	20,1	14	33,5	35,3	31,2
21,2	12,1	23,3	25,6	17,8	33,6	34,6	31,7
15,7	35	17,2	18,9	13,2	33,5	36,1	30,4
20,9	26	10,4	25,2	17,5	33,3	35,4	31,3
16,2	20,3	30,2	19,6	13,6	33,9	35,3	30,8
21,2	26,5	23,4	11,1	17,8	32,6	35,6	31,8
16	19,9	17,6	33,1	13,4	34,5	35,2	30,3
20,3	25,3	22,3	24,5	7,6	34,7	35,7	29,7
16,7	20,8	18,4	20,1	24	32,5	35	32,5

A pesar de las variaciones tan considerables, se siguen estableciendo las bandas medias en el primer lugar. Así mismo, los resultados dan a entender que las posiciones del segundo y tercer lugar quedaron muy bien definidas, ya que las bandas bajas y las altas siempre están en el segundo y tercer lugar respectivamente, solo en un caso hay un empate entre estas últimas (Variación cercana a + 50% para el criterio ambiental). Por lo anterior, una comparación directa entre las diferentes bandas es deseable, con el fin de ver sus fortalezas y debilidades de una forma más gráfica. Esta comparación se realiza a continuación.

### 5.2.3 Comparación entre bandas

Con la ayuda de Expert Choice se realizó una comparación entre las bandas evaluadas. En la Figura. 5.9 se presenta la comparación entre las bandas bajas y las bandas medias.

### Bandas Bajas <> Bandas Medias

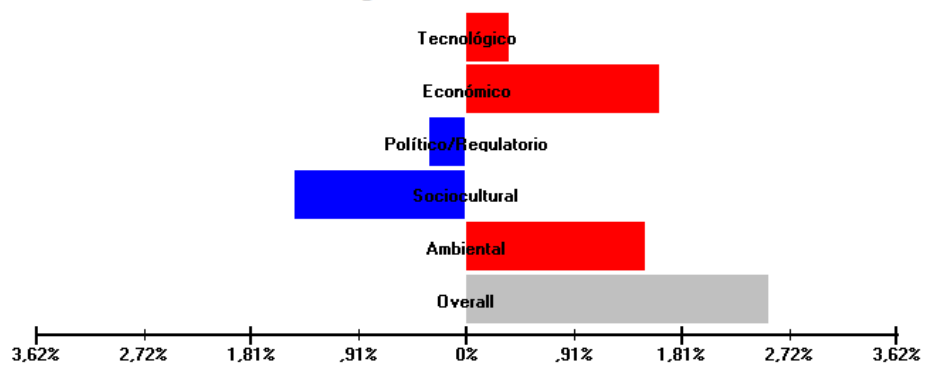


Figura. 5.9. Bandas Bajas vs Bandas Medias. Fuente: Simulador

Por su parte, la Figura. 5.10 hace lo propio con las bandas bajas y las bandas altas.

### Bandas Bajas <> Bandas Altas

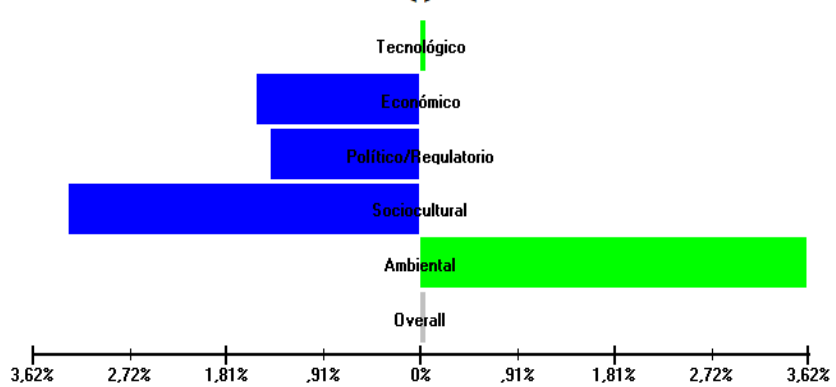
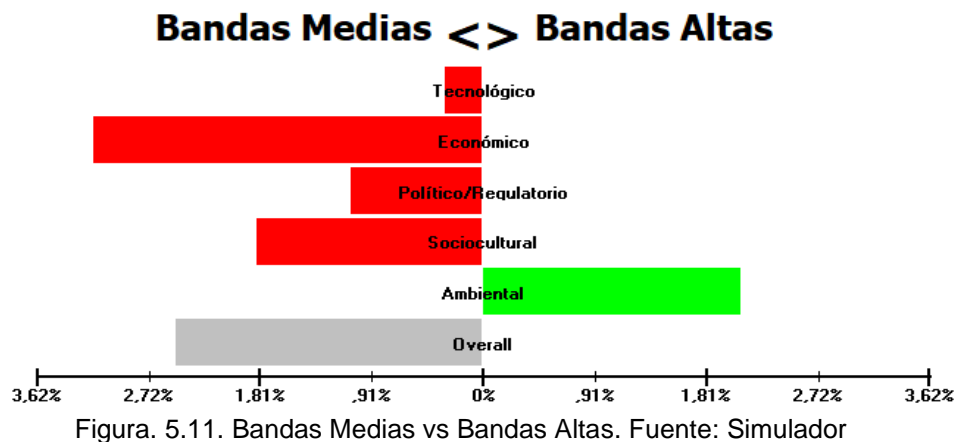


Figura. 5.10. Bandas Bajas vs Bandas Altas. Fuente: Simulador

Y finalmente, la Figura. 5.11 se encarga de comparar el desempeño de los criterios para las bandas medias y las bandas altas.



Al comparar la Figura. 5.9, la Figura. 5.10 y Figura. 5.11 se puede afirmar que las bandas medias tienen gran ventaja en el nivel económico, en el cual superan significativamente a las bandas bajas, pero sobre todo a las bandas altas, siendo este criterio el que tiene mayor peso en el proceso de priorización, es en gran medida lo que hace inclinar la balanza hacia estas bandas. Para este criterio lo más significativo es el interés que los operadores muestran en invertir en esta banda, pero también es importante que la contraprestación potencial por su asignación es la más alta entre las tres opciones; y en los otros dos subcriterios, la capacidad de habilitar nuevos negocios tanto en zonas rurales como en urbanas, se sitúa en ambos casos en un punto medio, indicando que puede generar oportunidades tanto para el campo como para las ciudades, caso contrario a lo que se espera de las bandas bajas, de las que se espera una gran relevancia en las zonas alejadas, gracias a la cobertura que brindan; o a las bandas altas, a las que no se les ve mucho futuro en las zonas rurales, porque su cobertura es baja, pero sí en las urbanas, donde se puede aprovechar su alta velocidad y baja latencia de cara a la creación de nuevos negocios. Estos puntos contrarios entre las bandas bajas y las altas, es decir, que donde una es fuerte la otra es débil, explica que su valoración es muy similar en lo tecnológico, mínimamente inclinada hacia las bandas bajas.

En lo referente al criterio tecnológico, también se evidencia, aunque en menor medida, que las bandas medias tienen una mayor valoración frente a los otros dos segmentos de bandas en estudio, aunque este criterio no es de los más importantes para los expertos. En este aspecto resalta el valor del subcriterio potencial a futuro, que está relacionado con la

proyección de esta banda para permitir un despliegue tecnológico que potencie aplicaciones con valor agregado para el usuario, representando para las bandas medias la mejor valoración, pero lo que más contribuye a que estas bandas se destaquen en el criterio tecnológico es que, una vez más, presentan características intermedias, tanto para la disponibilidad, donde las bandas mejor valoradas son las altas, como en el rango de cobertura, donde lo son las bandas bajas.

Por otro lado, en el aspecto sociocultural, segundo en importancia para la priorización, las bandas medias superan en gran medida a las bandas altas, pero se ven ampliamente superadas por las bandas bajas, que a su vez superan a las bandas altas en gran medida, lo que explica en cierto modo el segundo lugar de la prioridad para las bandas bajas. Esto se explica por el gran potencial que tienen estas bandas en los dos subcriterios más relevantes para la priorización en este ítem, la reducción de la brecha digital y el impacto en zonas rurales, esto influenciado por el parámetro más importante de esta banda, su muy buen rango de cobertura que facilita la implementación de la tecnología en zonas apartadas.

Por su parte, las bandas altas son evaluadas como las de menor impacto negativo en lo ambiental, superando a las otras dos bandas por mucho, sin embargo, es este el criterio de menor peso al momento de evaluar la prioridad de asignación. Aquí, las bandas altas se destacan en los tres subcriterios, afectación por despliegue, contaminación visual y emisiones electromagnéticas, ya que serán estaciones de bajo tamaño, del orden de pico y nano celdas, que pueden ser mimetizadas en cualquier espacio y cuya potencia es baja.

Si se evalúa el criterio político-regulatorio, se encuentra la particularidad que cada banda se destaca en un subcriterio. Las bandas bajas tienen el mejor desempeño en la reducción de la brecha digital, como ya se mencionó, a causa de la buena cobertura que brindan, y es importante tener en cuenta que este es el aspecto más importante para el proceso de priorización en lo que se refiere a este criterio. El segundo subcriterio en importancia es la viabilidad regulatoria, aspecto en el que se considera que en las bandas altas no hay implementados tantos servicios como en las otras dos bandas, además que se tiene una mayor cantidad de ancho de banda por asignar. Por último, el impacto de la asignación de la banda en otros países, que es el subcriterio con menos peso en la priorización, es en el cual se destacan las bandas medias, ya que se evidencia que en otros países, este es el segmento del espectro que ha tenido mejor recepción en los procesos de subasta.

Finalmente, el resultado de la priorización, es decir, que deben ser priorizadas las bandas medias para ser asignadas, coincide con lo planteado por MinTIC en [124], donde se planeaba un proceso de asignación de frecuencias en la banda 3.5 GHz para el tercer trimestre de 2021, proceso que se vio afectado por la pandemia del COVID-19, y que aún no cuenta con una fecha definida para su realización.

## **6 PROPUESTA METODOLÓGICA PARA PRIORIZAR LA ASIGNACIÓN DE ESPECTRO EN COLOMBIA**

Teniendo en cuenta la metodología aplicada en el capítulo 5 para determinar la priorización de asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en Colombia, y aclarando que este caso se utiliza como validación del proceso, el capítulo 6 busca presentar una metodología que pueda ser aplicada de manera general a cualquier caso de asignación de espectro, por medio de subasta, que se presente en Colombia; mediante la presentación de una guía de aplicación de la propuesta metodológica.

La propuesta que se desarrolla en el presente proyecto está vinculada con la búsqueda de una forma de priorizar bandas del espectro radioeléctrico, con el objetivo de realizar su asignación a través de un proceso de subasta, como se dijo antes, bajo el entendimiento del valor que estas tienen como recurso escaso y de especial interés para el estado colombiano. Lo anterior, teniendo en cuenta que, a pesar de grandes esfuerzos, muchas veces parece que no se es consciente del valor real que puede llegar a tener una banda de frecuencias a ser licitada. Esta propuesta, busca consolidar los criterios que se tuvieron en cuenta en la aplicación del método PAJ para el caso de 5G, ya que presenta una forma clara, concreta y novedosa de poder hacer una ponderación matemática adecuada, que es validada a nivel científico.

Para esta estrategia, se utilizó un archivo Excel, que permite desarrollar la metodología de una forma intuitiva y secuencial, para al final entregar el resultado esperado. Para utilizar el método PAJ se empieza por establecer los distintos niveles de complejidad del problema logrando que los participantes obtengan un mayor entendimiento de la situación iniciando su recorrido desde lo general hasta lo puntual. De esta forma a medida que la información se va organizando, se va diseñando una imagen del problema, que va haciéndose más clara y mejor, a medida que llega más información [121].

La jerarquía que propone el PAJ, se conforma por un objetivo general o meta, un conjunto de alternativas y un conjunto de criterios que relacionan las diferentes alternativas al objetivo planteado. De los criterios se pueden desprender criterios menores (subcriterios) que a su vez pueden llegar a ser divididos en otros subcriterios si es necesario. Un ejemplo

de este modelo jerárquico se presenta en la Figura. 6.1, donde se aprecia la meta u objetivo en la parte superior, nivel 0; los criterios que van en posiciones intermedias, en este caso, criterios en el nivel 1 y subcriterios en el 2; y las alternativas en el nivel inferior.

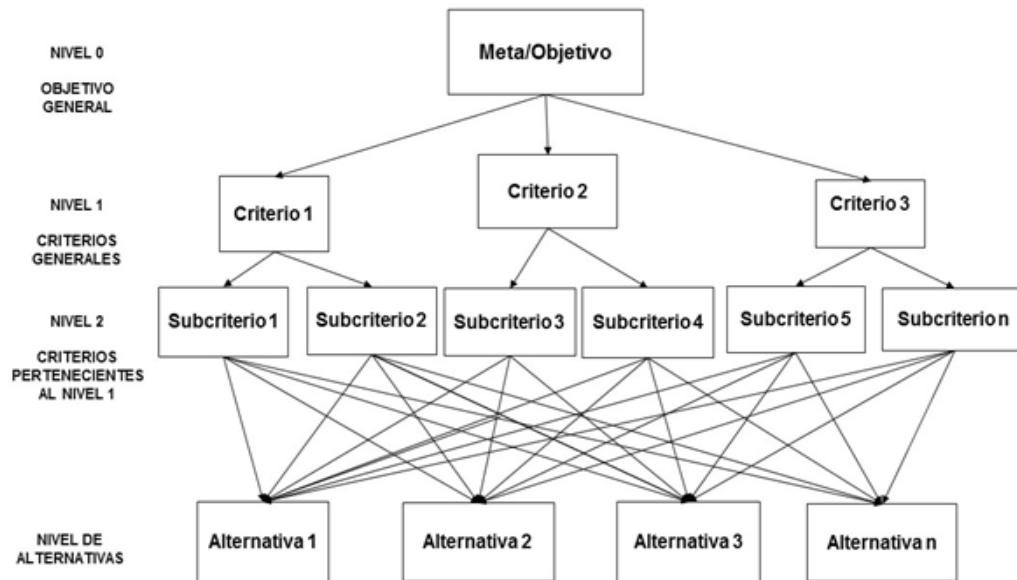


Figura. 6.1. Jerarquía del modelo PAJ. Fuente: adaptado de [143].

## 6.1 JUSTIFICACIÓN

Es importante aclarar que, en la actualidad no existe un método definido para la priorización de espectro en Colombia, por lo anterior, este trabajo surge como una iniciativa que puede llegar a ser utilizada, como insumo y/o herramienta, por parte de las entidades que a nivel Colombia, están encargadas de los procesos licitatorios para la asignación de espectro en el país.

## 6.2 LA METODOLOGÍA

Para tener una forma de priorizar las bandas de frecuencias que se deben analizar, esta metodología propone la utilización del método PAJ, partiendo de los criterios establecidos en la sección 2.3 del documento, criterios que pueden ser aplicables de manera general para cualquier proceso de asignación de espectro, a través de subasta, que se tenga a

futuro en el país; junto con la ponderación obtenida para cada uno de los criterios y subcriterios, producto de la interacción con los expertos y que fue presentada en el caso de estudio de 5G, en el numeral 5.1.6. Teniendo en cuenta esto, los pasos restantes para la implementación de la metodología se resumen en la Figura. 6.2.

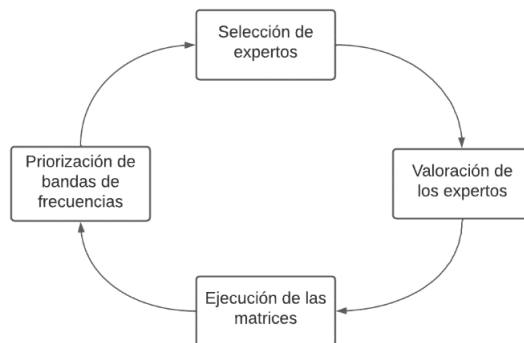


Figura. 6.2. Ciclo General de la Interacción con la Herramienta.

En la Figura. 6.2 se observan las 4 etapas del Ciclo General de la Interacción con la Herramienta que permite establecer la priorización de las bandas de frecuencia. A continuación, se explica cada una de ellas:

- 1. Elección de las alternativas:** Definición de las bandas de frecuencia a priorizar. En la interacción con la Interfaz de la metodología, es posible seleccionar los nombres de las alternativas a evaluar. Esto se aprecia en la Figura. 6.3.



Figura. 6.3. El Botón Alternativas. Fuente el Autor

Al dar clic en el botón de “alternativas”, se desplegará una interfaz como se muestra en la Figura. 6.4.

A dialog box with a title bar that says 'Dar Nombre a las Alternativas a Evaluar' and a close button (X) in the top right corner. The main area contains three rows, each with a text label and an input field: 'Digite nombre de la Alternativa # 1', 'Digite nombre de la Alternativa # 2', and 'Digite nombre de la Alternativa # 3'. At the bottom of the dialog, there are three buttons: 'Iniciar', 'Grabar', and 'Salir'.

Figura. 6.4. Dar Nombre a las Alternativas. Fuente el Autor

Se debe escribir el nombre de las 3 alternativas a evaluar, y oprimir “grabar”, la herramienta presenta un mensaje de confirmación de que los nombres se registraron de forma correcta, se acepta dicho mensaje y se procede a pulsar el botón “salir” para volver al menú principal.

En caso de haber cometido un error al escribir los nombres, es posible pulsar “iniciar” para borrar lo registrado.

2. **Elección de expertos:** Las personas que por sus conocimientos o su experticia pueden aportar a la correcta valoración de las alternativas según cada criterio.
3. **Valorización de los expertos:** En esta etapa los expertos deben asignar su valoración para cada una de las alternativas, evaluándolas en cada uno de los subcriterios establecidos.

➤ **Valoraciones que son tomadas del caso de estudio 5G:**

Esta etapa hace referencia a la utilización de las escalas de valoración para encontrar los pesos y las ratios de satisfacción. Para la utilización de la metodología, se usaron por defecto las valoraciones dadas por expertos en el tema, y que permitieron validar los valores en el caso analizado de 5G. Para ello se utilizó la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Tabla de valoración directa de Saaty Fuente: [144].

<b>Escala Numérica<sup>a</sup></b>	<b>Escala Verbal</b>	<b>Explicación</b>
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

<sup>a</sup>Los valores 2,4, 6 y 8 suelen utilizarse en situaciones intermedias, y las cifras decimales en estudios de gran precisión.

Como ejemplo del uso de esta escala para encontrar los pesos de los criterios del primer nivel se aprecian en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Tabla de valoración Ejemplo

	Tecnológico	Económico	Político-Regulatorio	Social	Ambiental
Tecnológico	1,00	1,00	0,25	0,33	1,00
Económico	1,00	1,00	3,00	1,00	2,00
Político-Regulatorio	4,00	0,33	1,00	1,00	2,00
Social	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ambiental	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00

En la Tabla 6.2 se aprecia cómo, en este caso un experto, da su apreciación con respecto a la importancia relativa entre dos criterios en particular. Nótese que la forma de colocar una valoración tiene que ver con la interpretación de cómo se leen los criterios a comparar; es decir, en este caso se colocará un valor de 1-9 comparando el criterio que está en la fila vs el que está en la columna, y dará a entender que el de la fila tiene una importancia relativa mayor/menor en la proporción de los valores de la escala Saaty. También nótese, que solo es necesario valorar una de las diagonales de la matriz, ya que la otra será consecuencia de calcular el valor del recíproco correspondiente.

Los expertos dieron estas valoraciones para los criterios de primer nivel (criterios padres) y para los subcriterios (criterios hijos) que componen cada criterio padre.

➤ **Valoraciones que deben dar los expertos en el desarrollo de la metodología:**

Es decir, que para el desarrollo de la metodología es necesario que los expertos valoren los niveles de satisfacción de las alternativas. Para cumplir con esta parte, el experto debe hacer uso de la escala Likert, una escala que va de 1 a 9, donde 9 es la valoración máxima, 1 la mínima y los demás números serán valoraciones intermedias y proporcionales. Esta escala se usa para evaluar las ratios de satisfacción sobre cada una de las alternativas, para el caso, cada una de las bandas de frecuencia que se encuentran en estudio, en cada criterio que propone tener en cuenta la metodología. Los criterios que deben ser valorados según esta escala se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Criterios a ser Valorados

Criterios de primer nivel	Subcriterios	Valoración (1-9)		
		Alt.1	Alt.2	Alt.3
<b>Criterios Tecnológicos</b>	Disponibilidad			
	Rango de cobertura			
	Posibles interferencias			
	Potencial futuro			
<b>Criterios Económicos</b>	Contraprestación potencial por la asignación			
	Interés de inversión por parte de los operadores			
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas urbanas			
	Capacidad de habilitar nuevos negocios en zonas rurales			
<b>Criterios Políticos y regulatorios</b>	Reducción de la brecha digital			
	Viabilidad regulatoria			
	Impacto de la asignación de la banda en otros países			
<b>Criterios Socioculturales</b>	Reducción de la brecha digital			
	Impacto social en zonas urbanas			
	Impacto social en zonas rurales			
<b>Criterios Ambientales</b>	Afectación por despliegue de infraestructura			
	Contaminación visual			
	Emisión de campos electromagnéticos			

La Figura. 6.5 muestra la forma en que se debe interactuar con la interfaz de la metodología, para poder realizar el proceso de valoración con los expertos:

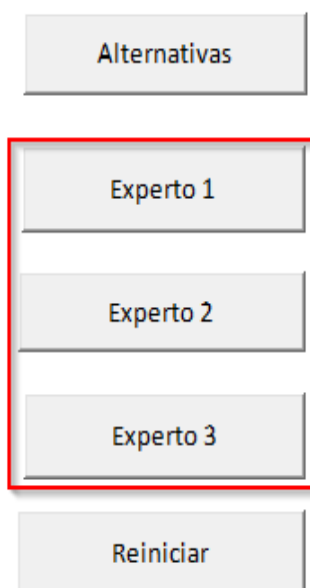


Figura. 6.5. Interfaz de la herramienta. Fuente: El Autor

Al dar click en el botón que corresponde a cada experto, en este caso se consideraron 3 para la herramienta, se desplegará la interfaz que se presenta en la Figura. 6.6.

Evaluación Experto Uno X

DISPONIBILIDAD ALT 1	<input type="text"/>	DISPONIBILIDAD ALT 2	<input type="text"/>	DISPONIBILIDAD ALT 3	<input type="text"/>
RANGO DE COBERTURA ALT 1	<input type="text"/>	RANGO DE COBERTURA ALT 2	<input type="text"/>	RANGO DE COBERTURA ALT 3	<input type="text"/>
POSIBLES INTERFERENCIAS ALT 1	<input type="text"/>	POSIBLES INTERFERENCIAS ALT 2	<input type="text"/>	POSIBLES INTERFERENCIAS ALT 3	<input type="text"/>
POTENCIAL FUTURO ALT 1	<input type="text"/>	POTENCIAL FUTURO ALT 2	<input type="text"/>	POTENCIAL FUTURO ALT 3	<input type="text"/>
CONTRAPRESTACIÓN POTENCIAL ALT 1	<input type="text"/>	CONTRAPRESTACIÓN POTENCIAL ALT 2	<input type="text"/>	CONTRAPRESTACIÓN POTENCIAL ALT 3	<input type="text"/>
INTERÉS INVERSIÓN ALT 1	<input type="text"/>	INTERÉS INVERSIÓN ALT 2	<input type="text"/>	INTERÉS INVERSIÓN ALT 3	<input type="text"/>
NUEVOS NEGOCIOS URBANOS ALT 1	<input type="text"/>	NUEVOS NEGOCIOS URBANOS ALT 2	<input type="text"/>	NUEVOS NEGOCIOS URBANOS ALT 3	<input type="text"/>
NUEVOS NEGOCIOS RURAL ALT 1	<input type="text"/>	NUEVOS NEGOCIOS RURAL ALT 2	<input type="text"/>	NUEVOS NEGOCIOS RURAL ALT 3	<input type="text"/>
RED BRECHA DIGITAL (POLITICO) ALT 1	<input type="text"/>	RED BRECHA DIGITAL (POLITICO) ALT 2	<input type="text"/>	RED BRECHA DIGITAL (POLITICO) ALT 3	<input type="text"/>
VIABILIDAD REGULATORIA ALT 1	<input type="text"/>	VIABILIDAD REGULATORIA ALT 2	<input type="text"/>	VIABILIDAD REGULATORIA ALT 3	<input type="text"/>
IMPACTO ASIG OTROS PAÍSES ALT 1	<input type="text"/>	IMPACTO ASIG OTROS PAÍSES D ALT 2	<input type="text"/>	IMPACTO ASIG OTROS PAÍSES ALT 3	<input type="text"/>
RED BRECHA DIGITAL (SOCIAL) ALT 1	<input type="text"/>	RED BRECHA DIGITAL (SOCIAL) ALT 2	<input type="text"/>	RED BRECHA DIGITAL (SOCIAL) ALT 3	<input type="text"/>
IMPACTO SOCIAL URBANO ALT 1	<input type="text"/>	IMPACTO SOCIAL URBANO ALT 2	<input type="text"/>	IMPACTO SOCIAL URBANO ALT 3	<input type="text"/>
IMPACTO SOCIAL RURAL ALT 1	<input type="text"/>	IMPACTO SOCIAL RURAL ALT 2	<input type="text"/>	IMPACTO SOCIAL RURAL ALT 3	<input type="text"/>
AFECTACIÓN DESPLIEGUE ALT 1	<input type="text"/>	AFECTACIÓN DESPLIEGUE ALT 2	<input type="text"/>	AFECTACIÓN DESPLIEGUE ALT 3	<input type="text"/>
CONTAMINACIÓN VISUAL ALT 1	<input type="text"/>	CONTAMINACIÓN VISUAL ALT 2	<input type="text"/>	CONTAMINACIÓN VISUAL ALT 3	<input type="text"/>
EMISIÓN CAMPOS CEM ALT 1	<input type="text"/>	EMISIÓN CAMPOS CEM ALT 2	<input type="text"/>	EMISIÓN CAMPOS CEM ALT 3	<input type="text"/>

Figura. 6.6. Interfaz Para Evaluación del Experto 1. Fuente: El Autor

Para cada uno de los subcriterios, el experto debe seleccionar del menú desplegable un número que corresponde a la escala Likert definida anteriormente, es decir, el menú mostrara los números enteros de 1 a 9. Al igual que para la interfaz de las alternativas, cuándo se completan todas las valoraciones se debe pulsar el botón “grabar” para almacenar las valoraciones, con esto el sistema presenta un mensaje que informa el correcto registro de las valoraciones; y del mismo modo que en el caso anterior, el botón inicio reiniciará todas las valoraciones en caso de cometer algún error en el proceso; luego de guardar la valoración, se debe pulsar “salir” para volver al menú principal. Este procedimiento debe ser realizado por parte de los tres expertos seleccionados. Es importante anotar que la definición de los criterios, así como las consideraciones necesarias para poder hacer la valoración de las alternativas, se pueden apreciar en la definición de los criterios y la Tabla 5.9 del capítulo 5.

- 4. Ponderación de los criterios:** La herramienta internamente desarrollará de forma automática las ponderaciones matemáticas necesarias. Esto se hace garantizando el correcto desarrollo del método PAJ. Teniendo en cuenta que las ponderaciones las realizan varios expertos, la herramienta propone que sean personas con la suficiente experticia que permitan tener un acercamiento lo mejor posible al proceso de las valoraciones. Una vez sean tenidas las valoraciones independientes por cada uno de los expertos, internamente se maneja una forma de promediar los resultados mediante el uso de la media geométrica, ya que de esta forma las valoraciones son menos susceptibles a valores atípicos. Este proceso se realiza en la hoja oculta resultado, que está dentro del archivo Excel. Esto se aprecia en la Figura. 1.1.

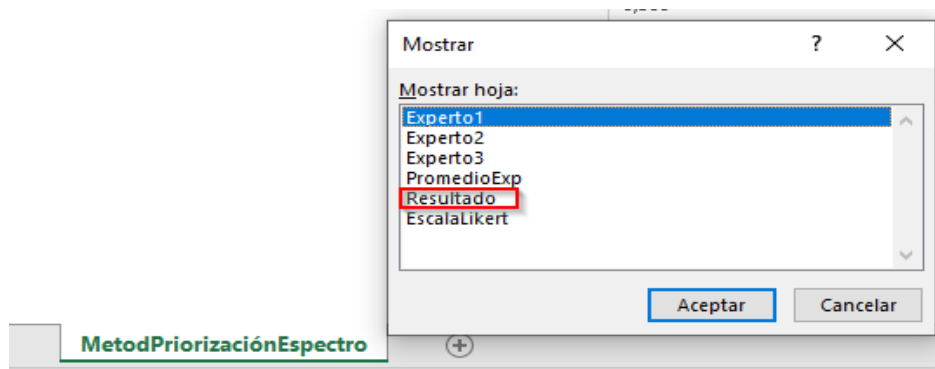


Figura. 6.7. Hoja en la que se realizan las ponderaciones de forma automática. Fuente: El Autor

- 5. Priorización de las bandas de frecuencia:** La herramienta entregará el resultado de la priorización de las bandas de frecuencia en términos de un número normalizado, fácilmente asociado a un porcentaje y con un gráfico de barras, lo que dará a entender de una forma matemática e intuitiva el orden resultante. La Figura. 6.8 muestra un ejemplo de la manera en que los resultados son mostrados.

**RESULTADO PRIORIZACIÓN BANDAS DE FRECUENCIA**

UNO	0,269
DOS	0,284
TRES	0,447

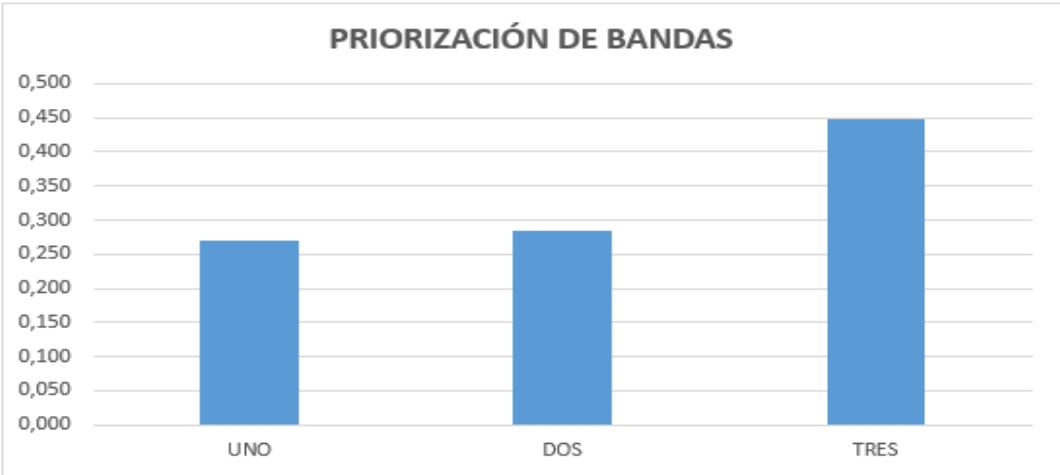


Figura. 6.8. Resultado de la Priorización. Fuente: El Autor

## 7 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 7.1 CONCLUSIONES DEL PROYECTO

- Luego de la revisión de la literatura alrededor de los procesos de asignación de espectro, tanto en Colombia como en otros países el mundo, se logró evidenciar que no hay una metodología claramente definida por la cual se prioricen las bandas de frecuencia que van a ser subastadas; por lo que se identificaron criterios para la asignación como tal, incluso condicionantes particulares para evaluar la posible renovación del permiso de uso, y a partir de esto se definieron los criterios de priorización que hacen parte de la propuesta metodológica, la cual resulta innovadora, no solo por el uso de un conocimiento específico como lo es el Proceso Analítico Jerárquico, PAJ, en una problemática particular a la cual no había sido aplicada con anterioridad, sino también porque puede convertirse en una herramienta para mejorar el impacto de los procesos de asignación de espectro en el país.
- Para el caso de estudio, priorizar la asignación del espectro requerido para la implementación de 5G en Colombia, a pesar de que en los resultados obtenidos por las diferentes bandas de frecuencia analizadas no había diferencias muy marcadas a nivel numérico, es de resaltar que las bandas medias siempre se posicionaron como las bandas ganadoras, seguidas por las bandas bajas y finalmente las altas. Lo anterior se argumenta desde las virtudes que poseen cada una de estas bandas, como el muy buen rango de cobertura que presentan las bandas bajas, las velocidades y las bajas latencias de las bandas altas, la muy buena valoración en los criterios económicos que presentaron las bandas medias y por supuesto que se encuentran en un punto medio entre las bajas y altas en sus parámetros técnicos y consecuente impacto en la sociedad.

Para esta conclusión es importante resaltar que las bandas medias, bandas prioritarias según el estudio, ya han sido objeto de asignación en varios países del mundo, e incluso en el plan 5G de Colombia, eran estas, particularmente la banda

de 3.5 GHz, las que se contemplaron para la primera subasta 5G del país, subasta que se vio afectada por la pandemia y sigue sin una fecha definida de realización.

- Igualmente, para el caso de la implementación de 5G, es importante resaltar que esta es una tecnología muy completa y que promete impactar desde diferentes frentes la vida de las personas, con la llegada de nuevas aplicaciones y servicios, que requieren de características técnicas diversas, por lo que, si bien, es muy importante realizar una priorización de las bandas que deben ser asignadas con prontitud, es vital que a mediano plazo se realicen asignaciones en los tres bloques contemplados, ya que cada uno tiene un impacto particular y complementario entre sí para el aprovechamiento de las bondades que trae esta nueva tecnología.
- El objetivo del presente documento es proponer una metodología para priorizar la asignación de espectro en Colombia, es decir, un proceso que permita determinar la banda de frecuencia que debe ser asignada de forma prioritaria, con base en un esquema que contemple múltiples criterios, con lo que no solo se limita el tema a lo económico o a lo técnico, sino que permite evaluar el impacto que podría tener la asignación sobre la sociedad e incluso sobre el entorno o el medio ambiente; la herramienta cuenta con una valoración ya establecida, a partir de los pesos dados por los expertos a cada uno de los criterios y subcriterios, por lo que puede ser utilizada con solo evaluar las alternativas de cualquier proceso de asignación de espectro que se tenga a futuro en el país, particularmente los que se realicen por medio de subasta, entregando una priorización sustentada en un proceso claramente definido.
- El impacto de la metodología se enfoca principalmente en el estado, ya que, acercar el proceso a las dependencias encargadas de los procesos de asignación, Ministerio TIC y Agencia Nacional del Espectro, para articularla y nutrirla con las iniciativas internas de las entidades, significa la posibilidad de definir un mejor plan de asignación de espectro en el país, con proyección a futuro, mediante una metodología que apoye cada proceso de toma de decisiones en lo correspondiente a la elección de las bandas que serán fruto de asignación por subasta, permitiendo que sean asignadas primero las bandas que van a representar un mayor impacto

positivo para el país, y dejando para mediano y largo plazo, las que, según su prioridad puedan esperar.

- La utilización de la metodología por parte de las entidades del estado, particularmente en el momento de fijar los valores u obligaciones por concepto de contraprestación por el uso del espectro radioeléctrico, puede hacer que se cuente con un insumo importante para esta labor, en el país, entregando un factor o multiplicador que permita dar mayor valor a las bandas que por definición tengan mayor prioridad.
- La relevancia de haber considerado aspectos ambientales, políticos-regulatorios, socioculturales, además de los aspectos económicos y tecnológicos, que normalmente se consideran en todo estudio, se hace evidente en este análisis, incluso la distinción entre el impacto que se da sobre la parte rural y la parte urbana, junto con la oportunidad de variar los pesos de los criterios seleccionados y analizar el ¿qué sucedería sí?, representa una fortaleza al momento de tomar decisiones y una oportunidad de tener argumentos sólidos al momento de justificar elecciones.
- La ley TIC, ley 1341 de 2019 trajo consigo una nueva etapa y nuevos conceptos para el sector en Colombia, desde la misma introducción del concepto de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, sin embargo, requería evolucionar conforme la tecnología lo venía haciendo, por lo que la ley de modernización, ley 1978 de 2019, era muy importante para garantizar el que el sector seguiría contribuyendo al desarrollo del país. Existen muchos elementos que pueden ser cuestionados en esta ley, otros tantos que no fueron considerados y aún están en deuda de ser incluidos en la legislación colombiana, sin embargo, hay dos elementos muy importantes en lo que se refiere a espectro que debe ser resaltados. Lo primero, la definición que la asignación del espectro procurará la maximización del bienestar social y la promoción a la inversión, lo que ha permitido incluir elementos como la obligación de garantizar cobertura en zonas alejadas, y priorizar objetivos como la reducción de la brecha digital o la garantía del acceso universal. Y segundo, la ampliación de 10 a 20 años en los permisos de uso de espectro, que

busca generar mayores garantías en los operadores y promover la inversión, pero que también implica una gran responsabilidad en el momento de la asignación.

- Como se mencionó antes, en los planes del gobierno colombiano se encontraba la realización de la primera subasta 5G en el tercer trimestre de 2021, sin embargo, al inicio del segundo semestre de 2022 no se tiene una fecha definida para iniciar este proceso, mientras en otros países de la región como Chile se subastaron frecuencias en las bandas 700 MHz, AWS y 3.5 GHz y se realizó una asignación directa de la banda de 26 GHz, en República Dominicana se asignaron 140 MHz de la banda de 3.5 GHz, y Brasil licitó las bandas de 700 MHz, 2.3 GHz, 3.5 GHz y 26 GHz, por citar algunos ejemplos, y en otras regiones, países como China, Corea del Sur, Japón, Italia, España o Estados Unidos ya tienen asignaciones en bandas como 700MHz, 2.6GHz, 3.6GHz, 4.9GHz o 28GHz, y cuentan con un alto número de estaciones base desplegadas en sus territorios e igualmente gran cantidad de suscriptores que aumentan a diario. Por lo que, es necesario que el nuevo gobierno dé prioridad al inicio del proceso de asignación de estas bandas.
  
- Durante la pandemia del COVID-19, cuando las ciudades se encontraban bajo confinamiento, las empresas debieron cerrar y todas las actividades normales de las personas debieron limitarse a ser desarrolladas desde casa, fue evidente como la tecnología cobro una importancia especial al facilitar el trabajo remoto, la educación virtual, la posibilidad de consultas médicas telefónicas o a través de video llamadas, entre otras cosas que permitieron sobrellevar la difícil situación. Sin embargo, también se evidenciaron las carencias que aún se tienen en el país en términos de cobertura, y la importancia del cierre de la brecha digital para garantizar el acceso de los ciudadanos, de todas las regiones del país, aun de las más apartadas, a sus derechos fundamentales. Es en este punto donde los procesos de asignación de espectro que habilitan el despliegue de infraestructura cobran un valor real, al impactar la vida de las personas, y donde iniciativas como la inclusión de obligaciones de cobertura para municipios apartados, como la establecida en la subasta de bandas 700MHz y 2.5GHz de 2019, son significativas, ya que obligan a los operadores a llegar a las zonas donde no llegaban antes por no ser

representativas en términos de negocio, pero que si son muy importantes en lo que respecta al a bienestar social.

## **7.2 TRABAJOS FUTUROS**

Además de la aplicabilidad, ya mencionada, como soporte para la toma de decisiones por parte de las entidades del estado involucradas en ellos procesos de subasta y asignación de espectro, como la ANE o el MinTIC, es importante que la metodología pueda articularse con metodologías ya utilizadas en las entidades como el análisis prospectivo y posteriormente el análisis de impacto normativo.

Por otro lado, con un trabajo adicional, los operadores, pueden valerse de esta metodología para definir sus planes de inversión a corto y mediano plazo, ya que, desde otra perspectiva, podría ayudarles a priorizar el espectro que requieren para sus despliegues futuros, según sus planes y sus propias prioridades, permitiendo aplicar el proceso a las bandas que puedan ser ofrecidas en una subasta del estado y contemplando los segmentos que ya posee el operador, la proyección de retorno a la inversión, entre otros criterios a determinar.

Finalmente, fruto del estudio de la normatividad se encontraron algunos aspectos que se consideraron relevantes, como la poca regulación existente en torno a la calidad de servicio o calidad de experiencia frente a servicios como IMT, aspecto que genera gran parte de las inconformidades de los usuarios frente a su operador; igualmente, no se evidencian exigencias claras frente a la obligatoriedad de garantizar eficiencia espectral en las tecnologías que se implementan; también falta reglamentación para la obsolescencia tecnológica que garantice una adecuada y ágil migración a nuevas tecnologías; aspectos que pueden ser fruto de estudios que propongan nuevos marcos regulatorios.

## REFERENCIAS

- [1] Corte Constitucional, «Clausulas de reversión en contratos de concesión para prestación de servicio de telecomunicaciones,» de *Sentencia C-555 de 2013*, 2013.
- [2] Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, «Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión,» 14 julio 2014. [En línea]. Available: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/pdf/wo97329.pdf>. [Último acceso: 22 junio 2022].
- [3] República de Colombia, Constitución política de Colombia, 1991.
- [4] Conferencia Mundial de Radio, «Reglamento de Radiocomunicaciones,» Ginebra, 2016.
- [5] Congreso de la república, «LEY 1341 DE 2009,» 30 Julio 2009. [En línea]. Available: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1341\\_2009.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1341_2009.html). [Último acceso: 4 Mayo 2022].
- [6] 5G Americas, «Análisis de las recomendaciones de espectro de la UIT en América Latina,» Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://brechacero.com/wp-content/uploads/2019/08/ES-Analisis-de-las-Recomendaciones-de-Espectro-de-la-UIT-en-America-Latina-2019-vf.pdf>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
- [7] Q. Song y A. Jamalipour, «Network selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computing techniques,» *IEEE Wireless Communications*, vol. 12, n° 3, pp. 42-48, 2005.
- [8] Agencia Nacional del Espectro, Documento de Consulta Pública sobre las Bandas De Frecuencia para 5G en Colombia, 2019.

- [9] Agencia Nacional Del Espectro, «Funciones de la ANE,» [En línea]. Available: <https://www.ane.gov.co/SitePages/la-entidad/index.aspx?p=232>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
- [10] Congreso de la República, «LEY 1978 DE 2019,» 25 Julio 2009. [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=98210>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
- [11] G. Moreno, «¿Cuántos usuarios de Internet hay en América Latina?,» 28 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/grafico/13903/cuantos-usuarios-de-internet-hay-en-america-latina/>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
- [12] Statista Research Department, «Número de usuarios de internet por país en América Latina en enero de 2022,» 23 junio 2022. [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/1073677/usuarios-internet-pais-america-latina/>. [Último acceso: 2 julio 2022].
- [13] J. P. Tomás, «Swiss regulator raises \$379 million in 5G spectrum auction,» 8 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.rcrwireless.com/20190208/5g/swiss-regulator-raises-379-million-5g-spectrum-auction>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
- [14] A. Morris, «5G Spectrum Auctions to Ramp in 2019,» 16 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.sdxcentral.com/articles/news/5g-spectrum-auctions-to-ramp-in-2019/2019/01/>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
- [15] MONCLOA, «El Gobierno celebrará la subasta de espectro en los 700 MHz, clave para el 5G, en los primeros meses de 2019,» 30 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.europapress.es/economia/noticia-gobierno-celebrara-subasta-espectro-700-mhz-clave-5g-primeros-meses-2019-20181030181640.html>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
- [16] EUROPA PRESS, «El Gobierno italiano recauda más de 6.550 millones en la subasta de espectro para el 5G,» 3 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.europapress.es/economia/noticia-gobierno-italiano-recauda-mas-6550->

millones-subasta-espectro-5g-20181003141715.html. [Último acceso: 14 Mayo 2022].

- [17] ABC ECONOMÍA, «La subasta de espectro para 5G ya lleva recaudados más de 400 millones,» 23 Julio 2018. [En línea]. Available: [https://www.abc.es/economia/abci-subasta-espectro-para-lleva-recaudados-mas-400-millones-201807231923\\_noticia.html](https://www.abc.es/economia/abci-subasta-espectro-para-lleva-recaudados-mas-400-millones-201807231923_noticia.html). [Último acceso: 14 Mayo 2022].
  
- [18] CincoDías, «Las telecos cargan contra la subasta de espectro 5G aprobada en Alemania,» 27 Noviembre 2018. [En línea]. Available: [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/11/26/companias/1543258752\\_209757.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/11/26/companias/1543258752_209757.html). [Último acceso: 14 Mayo 2022].
  
- [19] Colombia TIC -Portal de Estadísticas del Sector, «Boletín trimestral del sector TIC - Cifras cuarto trimestre de 2018,» 6 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-100444.html>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
  
- [20] Colombia TIC -Portal de Estadísticas del Sector, «Boletín trimestral del sector TIC - Cifras cuarto trimestre de 2021,» 26 abril 2022. [En línea]. Available: <https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-209445.html>. [Último acceso: 2 julio 2022].
  
- [21] R. G. Ramírez , A. E. Álvarez y P. Nuño de la Parra , «Proceso analítico jerárquico y selección estratégica de proveedores: un estudio bibliométrico,» *Revista Espacios*, vol. 41, nº Artículo 19, 06 Agosto 2020.
  
- [22] F. A. Cortés Aldana y P. Aragonés Beltrán, «Selección de una tecnología de banda ancha para la Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá, usando una técnica de decisión multicriterio,» *Revista ingeniería e investigación*, vol. 27, nº 1, Abril 2007.

- [23] G. A. Chica Pedraza , «Estudio y Análisis de la Viabilidad de la Implementación de tecnología PLT (Power Line Telecommunications) en Colombia, en el Ámbito de la Transmisión de Datos Sobre Redes de Baja Tensión,» Bogotá, 2012.
- [24] . J. C. Sendón-Varela, J. Herrera-Tapia , L. Fernández-Capestany , . M. d. R. Cruz Felipe, L. Chancay García y W. García Quilachamín , «Análisis comparativo entre distintas metodologías para la realización de auditorías de seguridad informática, aplicando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP),» *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información*, Enero 2021.
- [25] Agencia Nacional del Espectro - ANE, «Material de apoyo curso virtual de conceptos básicos de espectro».
- [26] Agencia Nacional del Espectro, «Cuadro de atribución de bandas de frecuencias Versión 2019,» 2019.
- [27] Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones de Colombia, «Mediciones del factor de utilización y de la eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico,» de *Manual de gestión nacional del espectro radioeléctrico*, Republica de Colombia, 2012, pp. 1-185.
- [28] Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones de Colombia, «Fundamentos de gestión nacional del espectro radioeléctrico,» de *Manual de gestión nacional del espectro radioeléctrico*, Republica de Colombia, 2012, pp. 1-112.
- [29] Ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones de Colombia, «Permisos para el uso del espectro radioeléctrico y procedimientos para la asignación de frecuencias,» de *Manual de gestión nacional del espectro radioeléctrico*, Republica de Colombia, 2012, pp. 1-186.
- [30] M. Suarez, «Estudio de prospectiva en el uso de la tecnología 5g en Colombia al 2025,» Bogotá, 2017.

- [31] J. I. Arroyo Chacón y J. F. Monge, «El papel del estado frente el espectro radioléctrico como bien demanial,» *Revista de Derecho, Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*, nº 16, 2 Diciembre 2016.
- [32] Cancillería de Colombia, «Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT),» [En línea]. Available: <https://www.cancilleria.gov.co/international/multilateral/united-nations/itu>. [Último acceso: 24 Abril 2022].
- [33] UIT, «UIT-R: Gestión del espectro de frecuencias radioeléctricas a escala mundial,» [En línea]. Available: <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/itu-r-managing-the-radio-frequency-spectrum-for-the-world.aspx>. [Último acceso: 24 Abril 2022].
- [34] Unión Internacional de telecomunicaciones - UIT, «Presencia Regional de la UIT,» [En línea]. Available: <https://www.itu.int/es/ITU-D/Pages/Regional-Presence.aspx>. [Último acceso: 24 junio 2022].
- [35] Unión Internacional de Telecomunicaciones, sector Radiocomunicaciones - ITU-R, Reglamento de Radiocomunicaciones, vol. 1, 2020.
- [36] Gobierno de Costa Rica, «Sitio web oficial del gobierno de Cost Rica,» [En línea]. Available: <https://www.presidencia.go.cr/costa-rica/>. [Último acceso: 23 abril 2022].
- [37] Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica - INEC, «Sitio web oficial del Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica, INEC.,» [En línea]. Available: <https://www.inec.cr/>. [Último acceso: 23 abril 2022].
- [38] Superintendencia de Telecomunicaciones - SUTEL, «Estadísticas del sector telecomunicaciones 2020,» San José, Costa Rica, 2021.
- [39] Ministerio de Ciencia, Innovación, Tecnología y Telecomunicaciones - MICITT, «Viceministerio de Telecomunicaciones,» [En línea]. Available:

<https://www.micitt.go.cr/viceministerio-de-telecomunicaciones/>. [Último acceso: 25 abril 2022].

- [40] Superintendencia de Telecomunicaciones - SUTEL, «¿Qué hacemos?,» [En línea]. Available: <https://sutel.go.cr/pagina/que-hacemos-0>. [Último acceso: 25 abril 2022].
- [41] Asamblea Legislativa de la Republica de Costa Rica, «Ley General de Telecomunicaciones, Ley 86 42,» 4 junio 2008. [En línea]. Available: [https://www.sutel.go.cr/sites/default/files/normativas/ley\\_general\\_de\\_telecomunicaciones.pdf](https://www.sutel.go.cr/sites/default/files/normativas/ley_general_de_telecomunicaciones.pdf). [Último acceso: 25 abril 2022].
- [42] Superintendencia de Telecomunicaciones - SUTEL, «Solicitudes para el uso de frecuencias,» [En línea]. Available: <https://sutel.go.cr/pagina/solicitud-uso-frecuencias>. [Último acceso: 25 abril 2022].
- [43] Superintendencia de Telecomunicaciones, SUTEL, «Informe sobre asignación de espectro para despliegue futuro de redes 5G desde la perspectiva de la competencia,» San José, 2021.
- [44] Superintendencia de Telecomunicaciones - SUTEL, «Informe insumos técnicos, registrales, de mercado y condiciones para un eventual proceso concursal en las bandas de frecuencias de 700 MHz, 2300 MHz, 3300-3400 MHz, 26 GHz y 28 GHz para la prestación de servicios IMT,» San Jose, Costa Rica, 2021.
- [45] Instituto Nacional de Estadística y Geografía - INEGI, «Censo de Población y Vivienda 2020,» [En línea]. Available: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>. [Último acceso: 22 junio 2022].
- [46] Secretaría de infraestructura, Comunicaciones y Transportes - SICT, «Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico,» [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/sct/acciones-y-programas/subsecretaria-de-comunicaciones>. [Último acceso: 22 junio 2022].

- [47] Instituto Federal de Telecomunicaciones - IFT, «Bienvenido a la Unidad de Espectro Radioeléctrico,» [En línea]. Available: <http://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico>. [Último acceso: 22 junio 2022].
- [48] Unidad de Espectro radioeléctrico del IFT, «Panorama del espectro radioeléctrico en México para servicios móviles de quinta generación,» marzo 2019. [En línea]. Available: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/panoramadelespectroradioelectricoenmexico para5g.pdf>. [Último acceso: 22 junio 2022].
- [49] Instituto Federal de Telecomunicaciones - IFT, «Bases de la Licitación Pública para concesionar el uso, aprovechamiento y explotación comercial de segmentos de espectro radioeléctrico disponibles en las Bandas de Frecuencias 814-824 / 859-869 MHz, 1755-1760 / 2155-2160 MHz, 1910-1915 / 1990-1995 MHz,» 2021. [En línea]. Available: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/conocenos/pleno/sesiones/acuerdoliga/pift20 01219bases.pdf>. [Último acceso: 22 junio 2022].
- [50] Instituto Brasileño de Geografía y Estadística - IBGE, «Censo Demográfico,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-2020-censo4.html?=&t=destaques>. [Último acceso: 25 junio 2022].
- [51] Agencia Nacional de Telecomunicaciones - ANATEL, «Comité de Uso del Espectro y la Órbita,» 17 noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/composicao/comites/comite-de-uso-do-espectro-e-de-orbita>. [Último acceso: 29 junio 2022].
- [52] Agencia Nacional de Telecomunicaciones - ANATEL, «Espectro,» 28 junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/espectro>. [Último acceso: 29 junio 2022].
- [53] Congreso Nacional de la República Federativa de Brasil, «Ley General de Telecomunicaciones - Ley 9472/97,» 16 julio 1997. [En línea]. Available:

<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/103340/lei-geral-de-telecomunicacoes-lei-9472-97#art-163>. [Último acceso: 29 junio 2022].

- [54] Congreso Nacional de la República Federativa de Brasil, «LEY N° 13.879, DEL 3 DE OCTUBRE DE 2019,» 3 octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-13.879-de-3-de-outubro-de-2019-219922078>. [Último acceso: 29 junio 2022].
- [55] Agencia Nacional de Telecomunicaciones - ANATEL, «Resolución No. 671,» 3 noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2016/911-resolu%25C3%25A7%25C3%25A3o-671>. [Último acceso: 29 junio 2022].
- [56] Agencia Nacional de Telecomunicaciones - ANATEL, «Licitación N° 1/2021-SOR/SPR/CD-ANATEL Radiofrecuencias en las bandas de 700MHz, 2.3GHz, 3.5GHz y 26GHz,» 27 septiembre 2021. [En línea]. Available: [https://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md\\_pesq\\_documento\\_consulta\\_externa.php?eEP-wqk1skrd8hSlk5Z3rN4EVg9uLJqrLYJw\\_9INcO6OyRD8iqL9S9Xn8pP7\\_7nZL7eBIQWeOiWAZmPzrP88GsKp4NawWkp9n0q\\_6bMePRxnAscg5z5FRrIZQdkKAChw](https://sei.anatel.gov.br/sei/modulos/pesquisa/md_pesq_documento_consulta_externa.php?eEP-wqk1skrd8hSlk5Z3rN4EVg9uLJqrLYJw_9INcO6OyRD8iqL9S9Xn8pP7_7nZL7eBIQWeOiWAZmPzrP88GsKp4NawWkp9n0q_6bMePRxnAscg5z5FRrIZQdkKAChw). [Último acceso: 29 junio 2022].
- [57] Agencia Nacional de Telecomunicaciones - ANATEL, «Compromisos integrales de la subasta 5G,» 27 enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/universalizacao/compromissos-do-leilao-do-5g>. [Último acceso: 29 junio 2022].
- [58] Oficina del Censo de los Estados Unidos, «United States Census Bureau,» [En línea]. Available: <https://www.census.gov/>. [Último acceso: 29 junio 2022].
- [59] The National Association for Amateur Radio - ARRL, «LA otra FCC: La NTIA,» [En línea]. Available: <http://www.arrl.org/the-other-fcc-the>



- [67] Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales, « Secretaría de Estado de Telecomunicaciones e Infraestructuras Digitales,» [En línea]. Available: <https://portal.mineco.gob.es/es-es/TID/Paginas/seteleco.aspx>. [Último acceso: 30 junio 2022].
- [68] Jefatura de Estado, Gobierno de España, «Ley 9/2014 - General de Telecomunicaciones.,» 9 mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/eli/es/l/2014/05/09/9/con>. [Último acceso: 30 junio 2022].
- [69] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, «Real Decreto 123/2017, de 24 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico.,» 24 febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-2460-consolidado.pdf>. [Último acceso: 30 junio 2022].
- [70] Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, «Orden ETD/534/2021, pliego de cláusulas administrativas y de prescripciones técnicas para el otorgamiento por subasta de concesiones de uso privativo de dominio público radioeléctrico en la banda de 700 MHz y se convoca la correspondiente subasta,» 26 mayo 2021. [En línea]. Available: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-9060](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-9060). [Último acceso: 30 junio 2022].
- [71] Australian Bureau of statistics, «Population,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.abs.gov.au/statistics/people/population#:~:text=Population%3A%20Census,age%20of%2039%20years%20old..> [Último acceso: 1 julio 2022].
- [72] Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and The Arts, «Our work,» [En línea]. Available: <https://www.infrastructure.gov.au/>. [Último acceso: 1 julio 2022].
- [73] Australian Communications and Media Authority, «Who we are,» [En línea]. Available: <https://www.acma.gov.au/who-we-are>. [Último acceso: 1 julio 2022].

- [74] Australian Government, «Radiocommunications Act 1992, Compilation No. 76,» 1 septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.legislation.gov.au/Details/C2021C00462>. [Último acceso: 1 julio 2022].
- [75] Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and The Arts, «Spectrum allocations,» [En línea]. Available: <https://www.infrastructure.gov.au/media-communications-arts/spectrum/spectrum-allocations>. [Último acceso: 1 julio 2022].
- [76] Australian Communications and Media Authority - ACMA, «Spectrum licences,» [En línea]. Available: <https://www.acma.gov.au/spectrum-licences>. [Último acceso: 1 julio 2020].
- [77] Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and The Arts, «850/900 MHz Band,» [En línea]. Available: <https://www.infrastructure.gov.au/media-communications-arts/spectrum/spectrum-allocations/850900-mhz-band>. [Último acceso: 1 julio 2022].
- [78] Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and The Arts, «Communications policy objectives for the allocation of the 850 and 900 MHz bands,» mayo 2020. [En línea]. Available: [https://www.acma.gov.au/sites/default/files/2021-12/communications-policy-objectives-for-the-allocation-of-the-850-900-mhz-bands\\_0.pdf](https://www.acma.gov.au/sites/default/files/2021-12/communications-policy-objectives-for-the-allocation-of-the-850-900-mhz-bands_0.pdf). [Último acceso: 1 julio 2022].
- [79] Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and The Arts, «26 GHz Band,» [En línea]. Available: <https://www.infrastructure.gov.au/media-communications-arts/spectrum/spectrum-allocations/26-ghz-band>. [Último acceso: 1 julio 2022].
- [80] Australian Communications and Media Authority - ACMA, «Auction summary – 26 GHz band (2021),» [En línea]. Available: <https://www.acma.gov.au/auction-summary-26-ghz-band-2021>. [Último acceso: 1 julio 2022].

- [81] Department of Communications and the Arts, «Communications Policy Objectives for the Allocation of the 26 GHz band,» 15 octubre 2019. [En línea]. Available: [https://www.infrastructure.gov.au/sites/default/files/comms\\_policy\\_objectives\\_for\\_26\\_ghz.pdf](https://www.infrastructure.gov.au/sites/default/files/comms_policy_objectives_for_26_ghz.pdf). [Último acceso: 1 julio 2022].
- [82] Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and The Arts, «Instalment payments for 26 GHz spectrum to support 5G,» 22 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.infrastructure.gov.au/department/media/news/instalment-payments-26-ghz-spectrum-support-5g>. [Último acceso: 1 julio 2022].
- [83] 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.
- [84] J. b. Marín, «Cuadro comparativo Leyes TIC. Ley 1341 de 2009 y Ley 1978 de 2019.,» 2019. [En línea]. Available: [https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/handle/001/2200/GBAAA-spa-2019-El\\_registro\\_unico\\_de\\_TIC\\_como\\_herramienta\\_digital\\_para\\_alcanzar\\_los\\_fines\\_del\\_Estado\\_colombiano-Anexo\\_1?sequence=2&isAllowed=y](https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/handle/001/2200/GBAAA-spa-2019-El_registro_unico_de_TIC_como_herramienta_digital_para_alcanzar_los_fines_del_Estado_colombiano-Anexo_1?sequence=2&isAllowed=y). [Último acceso: 26 mayo 2022].
- [85] Presidencia de la Republica de Colombia, «Decreto 1078 de 2015,» 26 mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77888>. [Último acceso: 6 julio 2022].
- [86] MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES, «RESOLUCIÓN 1075 DE 2020,» 25 Junio 2020. [En línea]. Available:

[https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/resolucion\\_mintic\\_1075\\_2020.htm](https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/resolucion_mintic_1075_2020.htm).  
[Último acceso: 4 Mayo 2022].

- [87] MinTic, «Plan marco de asignación de permisos de uso del espectro 2020- 2022,» Bogotá, 2020.
- [88] Congreso de Colombia, «LEY 37 DE 1993,» 6 Enero 1993. [En línea]. Available: [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0037\\_1993.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0037_1993.html). [Último acceso: 4 mayo 2022].
- [89] MinTic, «Hasta 5.800 localidades podrían ser elegidas para la ampliación de cobertura con la subasta de espectro de 700 MHz,» 16 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-Prensa/Noticias/103699:Hasta-5-800-localidades-podrian-ser-elegidas-para-la-ampliacion-de-cobertura-con-la-subasta-de-espectro-de-700-MHz>. [Último acceso: 13 Junio 2022].
- [90] MinTic, *Audiencia de aclaración de inquietudes sobre Resolución borrador para el otorgamiento de permisos de uso del espectro en las bandas de 700, 1900 y 2500 MHz*, 2019.
- [91] L. E. Afanador-Montañez y T. A. Avila-Vargas, *Mejora de la cobertura en Colombia, con la asignación del espectro en 700 MHz y 2500 MHz*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020.
- [92] Revista Semana, «Claro entrará a la subasta 4G, pero se la ponen difícil,» *Claro entrará a la subasta 4G, pero se la ponen difícil*, 1 noviembre 2012.
- [93] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones - MinTIC, «Decreto 984 de 2022,» 13 junio 2022. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles-237101\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mintic.gov.co/portal/715/articles-237101_recurso_1.pdf). [Último acceso: 27 julio 2022].

- [94] R. François, «Normas y espectro para las telecomunicaciones móviles internacionales,» *ITU News Magazine*, Febrero 2017.
- [95] NGMN Alliance, NGMN- Next Generation Mobile Networks 5G White Paper, 2015.
- [96] Samsung, Institutional relations for Latin America, «5G the mobile revolution, presentación del sexto congreso internacional del espectro,» Bogotá, 2016.
- [97] Gemalto, Security to be free, «Presentación de las redes 5g características y usos,» 2016.
- [98] International Telecommunication Union – Radiocommunication sector / ITU-R , «ITU-R FAQ on International Mobile Telecommunications (IMT),» 21 febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-R/Documents/ITU-R-FAQ-IMT-v22.02.22.pdf>. [Último acceso: 27 julio 2022].
- [99] International Telecommunication Union – Radiocommunication sector / ITU-R, «Handbook on International Mobile Telecommunications (IMT) 2022,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-62-2022-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-62-2022-PDF-E.pdf). [Último acceso: 27 julio 2022].
- [100] European 5G Observatory, «International 5G scoreboard,» 2022. [En línea]. Available: <https://5gobservatory.eu/observatory-overview/international-5g-scoreboard/>. [Último acceso: 2 julio 2022].
- [101] European 5G Observatory, «THE 5G AUCTIONS,» 2022. [En línea]. Available: <https://5gobservatory.eu/category/5g-auctions/>. [Último acceso: 2 julio 2022].
- [102] S. Steers, «Top 10 countries with the most extensive 5G in 2022,» *Mobile-magazine.com*, 22 marzo 2022. [En línea]. Available: <https://mobile-magazine.com/5g-and-iot/top-10-countries-with-the-most-extensive-5g-in-2022>. [Último acceso: 2 julio 2022].

- [103] Tecnosfera, «Así se prepara Colombia para la llegada del 5G,» *El Tiempo*, 2018.
- [104] 4G Américas, «Recomendaciones sobre el espectro para 5G,» 2015.
- [105] O. Mellisa, «El nuevo espectro para 5G: Se estudian 11 nuevas bandas,» Techtarget, 2016.
- [106] GSMA, «Espectro 5G: Posición de la GSMA sobre políticas públicas,» 2016.
- [107] E. F. F. Begni, «Spectrum for networked society, Memorias del sexto congreso internacional del espectro,» Bogotá, 2016.
- [108] H. J. Jiao, «5G Challenges and Spectrum Plan, Memorias del sexto congreso internacional del espectro,» Bogotá, 2016.
- [109] N. D. Rakitin, «5G essentials, Memorias del sexto congreso internacional del espectro,» Bogotá, 2016.
- [110] M. L. S. Peñaloza, «Estudio prospectivo estratégico para el desarrollo de la banda ancha móvil en Colombia con una visión de 10 años, Memorias del octavo congreso internacional del espectro,» Bogotá, 2018.
- [111] Unión Temporal ANE, «Informe 3: documento final, estudio prospectivo estratégico para el desarrollo de la banda ancha móvil en Colombia,» Bogotá, 2018.
- [112] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones, «Resolución 330 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articles-172501\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articles-172501_recurso_1.pdf). [Último acceso: 6 julio 2022].
- [113] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones, «Resolución 331 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articles-172502\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articles-172502_recurso_1.pdf). [Último acceso: 6 julio 2022].

- [114] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones, «Resolución 332 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articulos-172503\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articulos-172503_recurso_1.pdf). [Último acceso: 6 julio 2022].
- [115] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones, «Resolución 333 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articulos-172504\\_recurso\\_1.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articulos-172504_recurso_1.pdf). [Último acceso: 6 julio 2022].
- [116] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones , «Resolución 325 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articulos-172495\\_Resolucion\\_No\\_\\_325.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articulos-172495_Resolucion_No__325.pdf). [Último acceso: 4 julio 2022].
- [117] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones , «Resolución 326 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articulos-172496\\_Resolucion\\_No\\_\\_326.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articulos-172496_Resolucion_No__326.pdf). [Último acceso: 4 julio 2022].
- [118] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones , «Resolución 327 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articulos-172497\\_Resolucion\\_No\\_\\_327.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articulos-172497_Resolucion_No__327.pdf). [Último acceso: 6 julio 2022].
- [119] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones, «Resolución 328 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: [https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articulos-172499\\_Resolucion\\_No\\_\\_328.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articulos-172499_Resolucion_No__328.pdf). [Último acceso: 6 julio 2022].
- [120] Ministerio de Tecnologías de la información y las Comunicaciones, «Resolución 239 de 2020,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available:

[https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion\\_espectro-imt/742/articles-172500\\_Resolucion\\_No\\_\\_329.pdf](https://www.mintic.gov.co/micrositios/asignacion_espectro-imt/742/articles-172500_Resolucion_No__329.pdf). [Último acceso: 6 julio 2022].

- [121] 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.
- [122] Agencia Nacional del Espectro - ANE, «Documento de Consulta Pública sobre las Bandas De Frecuencia para 5G en Colombia,» Bogotá D.C., 2019.
- [123] GSMA, «Espectro 5G: Postura de la GSMA sobre política pública,» 2019.
- [124] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - MinTIC, «Plan 5G Colombia,» Bogotá, 2019.
- [125] R. J. Montesinos Chano, «Estudio Y Análisis De Tecnologías Habilitadoras 5G Y Sus Factibilidades Para El Desarrollo Del Internet De Las Cosas.,» Guayaquil, 2018.
- [126] Vodafone Business, «5G en el sector sanitario y farmacéutico,» 2021.
- [127] Vodafone Business, «5G en el sector transporte y logística,» 2021.
- [128] Vodafone Business, «5G en el sector energía,» 2021.
- [129] Vodafone Business, «5G en el sector del turismo,» 2021.
- [130] Vodafone Business, «5G en el sector agroalimentario,» 2021.
- [131] Vodafone Business, «5G en el sector educativo,» 2021.
- [132] Vodafone Business, «5G en el sector industrial,» 2021.
- [133] Agencia Nacional del Espectro - ANE, «Comentarios recibidos / Consulta pública sobre bandas de frecuencia para 5G,» 2019.

- [134] J. Bravo , «EL Economista,» 12 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/America-Latina-avanza-hacia-5G-20211112-0027.html>. [Último acceso: 14 junio 2022].
- [135] Telconomia, «Telconomia,» 3 diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://telconomia.com/analisis-licitaciones-de-espectro-imt-en-america-latina-en-2021/>. [Último acceso: 14 junio 2022].
- [136] V. Contreras Garcia, «DPL News,» 21 febrero 2022. [En línea]. Available: <https://dplnews.com/5g-como-pilar-de-desarrollo-la-clave-de-subastas-de-espectro-en-america-latina/>. [Último acceso: 14 junio 2022].
- [137] Ministerio de tecnologías de información y las comunicaciones - MinTIC, «Manifestaciones de interés del proceso para otorgar permisos del uso del espectro radioeléctrico en algunas bandas de frecuencia para la operación y prestación de servicios móviles terrestres - Resolución 1322 de 2020,» Bogotá D.C., 2020.
- [138] Departamento Nacional de Planeación, «Plan Nacional de Desarrollo 218-2022 pacto por Colombia, pacto por la equidad,» 2018.
- [139] 5G Américas, «Panorama 5G America del Sur,» febrero 2022. [En línea]. Available: <https://brechacero.com/wp-content/uploads/2022/02/infografia-panorama-5G-Es.png>. [Último acceso: 14 junio 2022].
- [140] 5G Américas, «5G y la conectividad rural en América Larina y el Caribe,» 29 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://brechacero.com/wp-content/uploads/2021/11/Infografia-conectividad-rural-esp.png>. [Último acceso: 14 junio 2022].
- [141] 5G Américas, «5G puede ayudar a reducir la brecha de conectividad rural,» 29 noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://brechacero.com/5g-puede-ayudar-a-reducir-la-brecha-de-conectividad-rural/>. [Último acceso: 14 junio 2022].

- [142] 5. Américas, «Bandas bajas serán cruciales para asegurar cobertura en zonas alejadas de América Latina,» 31 agosto 2021. [En línea]. Available: <https://brechacero.com/bandas-bajas-seran-cruciales-para-asegurar-cobertura-en-zonas-alejadas-de-america-latina/>. [Último acceso: 14 junio 2022].
- [143] DEL SOCORRO GARCÍA C., M, «Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y Soft Computing,» En: Universidad Politecnica de Cartagena, 2009.
- [144] E., Rodriguez, «Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una pyme.,» En: Real centro Universitario San Lorenzo del Escorial ISSN: 1133-3677, 2007.
- [145] MinTic, «Espectro radioeléctrico,» [En línea]. Available: <https://mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-19509.html>. [Último acceso: 25 abril 2022].
- [146] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, «Resolución 1075 de 2020,» 25 junio 2020. [En línea]. Available: [https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/resolucion\\_mintic\\_1075\\_2020.htm](https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/resolucion_mintic_1075_2020.htm). [Último acceso: 6 julio 2022].