



**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO**  
**Maestría en Ingeniería Electrónica**

**Diseño y realización de pruebas de simulación para determinar los parámetros críticos de coexistencia de los futuros servicios de Televisión Digital Terrestre DVB-T2 y las comunicaciones móviles LTE en Colombia.**

**Carlos Andrés Maldonado Pineda**

**Bogotá, D.C., 30 de mayo de 2017**

**Diseño y realización de pruebas de simulación para determinar los parámetros críticos de coexistencia de los futuros servicios de Televisión Digital Terrestre DVB-T2 y las comunicaciones móviles LTE en Colombia.**

**Trabajo de grado para optar al título de magíster en Ingeniería Electrónica, con énfasis en Telecomunicaciones**

**Director: Ingeniero, Guillermo Teuta Gómez, MSc.**

**Jurado:**

**Ingeniero, Gustavo Puerto Leguizamón, Ph. D.**

**Ingeniero, Oscar Bernal Rojas, MSc.**

**Bogotá, D.C., 30 de mayo de 2017**

**El Trabajo de grado de maestría titulado “Diseño y realización de pruebas de simulación para determinar los parámetros críticos de coexistencia de los futuros servicios de Televisión Digital Terrestre DVB-T2 y las comunicaciones móviles LTE en Colombia”, presentado por Carlos Andrés Maldonado Pineda, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica con énfasis en Telecomunicaciones.**

**Director: Ingeniero, Guillermo Teuta Gómez, MSc.**

**Jurado:**

**Ingeniero, Gustavo Puerto Leguizamón, Ph. D.**

**Ingeniero, Oscar Bernal Rojas, MSc.**

**Bogotá, D.C., 13 de octubre de 2017.**

## **Dedicatoria**

A Dios por ser la energía siempre presente en todos los días de mi vida, a mis padres por su amor y apoyo incondicional, a mis hermanas por ser ejemplo de dedicación y compromiso.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por darme las herramientas para iniciar mi vida profesional, y otorgarme la oportunidad y el reconocimiento para cursar el programa de Maestría. A mi director Guillermo Teuta, por brindarme su experiencia, consejo y guía. A mis maestros, en particular German Castellanos, a mis amigos, familiares y compañeros por sus aportes y el apoyo brindado.

## Resumen

El espectro radio eléctrico es un recurso limitado y con una alta demanda de uso, de manera particular las frecuencias menores a 1GHz cumplen con características físicas que favorecen la transmisión de señales de radiodifusión digital terrestre y son especialmente atractivas para los sistemas de telecomunicaciones móviles, lo cual ha llevado a la competencia de estos servicios en bandas muy cercanas. En este sentido, la gestión del espectro, es una tarea fundamental para el uso y control de este recurso. En la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2015 (CMR 15) se identificó la sub-banda UHF de 614 a 698MHz para el uso futuro de sistemas IMT-2000, incluido el estándar LTE, invitando de esta manera a todas las instancias académicas, gubernamentales, corporativas y de regulación, a desarrollar estudios sobre la operación de los diferentes servicios en esta banda.

Este trabajo de grado tomó como referente inicial los estudios desarrollados en las diferentes regiones de la UIT sobre el fenómeno de interferencia y las condiciones de coexistencia para que los estándares LTE y DVB-T/T2 puedan convivir en las frecuencias menores a 1GHz, se consultaron los estudios más relevantes desarrollados en este sentido y se determinaron a partir de estos: los métodos, herramientas y variables de estudio utilizadas, así como los casos y los supuestos de estudio para cada uno de ellos. De igual forma, se estudió la normatividad técnica vigente y los planes de manejo del espectro en Latinoamérica y principalmente en Colombia.

Todo lo anterior en consonancia con las recomendaciones de los expertos de la ANE y la Escuela permitió construir dos escenarios de posibles interferencias de acuerdo a la probable localización en frecuencia de los servicios TDT y LTE en Colombia en la sub banda en estudio. Del mismo modo, se determinaron seis casos o configuraciones topológicas, más comunes, de interferencias entre las señales de TDT y LTE, sus transmisores y receptores.

A través de la herramienta de simulación SEAMCAT, se realizaron simulaciones de las 12 combinaciones o ambientes generados entre casos y escenarios para establecer las condiciones óptimas, referidas a los valores de banda de guarda y distancias de protección entre servicios, variables que fueron seleccionadas y avaladas, entre otras, cómo las de mayor incidencia para la mitigación del fenómeno de interferencia.

Finalmente, a partir del análisis de los datos de las simulaciones se obtuvieron los valores críticos de las variables citadas, en términos de la menor banda de guarda y menor distancia de protección, de modo que no superen los límites de probabilidad, correspondientes a un nivel de tolerancia a la interferencia.

La investigación permitió concluir que a través de la metodología utilizada es posible hallar valores cuantitativos para las variables estudiadas, de modo tal que sean ajustados para mitigar los efectos del fenómeno de interferencia entre servicios, estos valores son preliminares y requieren pruebas de laboratorio y de campo en próximos estudios para su validación. De acuerdo a los valores hallados también se concluyó que aun cuando son fundamentales para reducir la probabilidad de interferencia, se requiere el uso de elementos o técnicas adicionales, para minimizar al máximo la incidencia de señales no deseadas entre los servicios TDT en el estándar DVB-T2 y LTE-.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL .....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
ANEXOS.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
1 CAPÍTULO I. METODOLOGÍA .....	20
2 CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	22
2.1 Long Term Evolution (LTE).....	22
2.1.1 Interfaz radio.....	22
2.1.2 Scheduling y tipo de modulación. ....	23
2.2 Televisión digital Terrestre (TDT).....	24
2.2.1 DVB-T y DVB-T2. ....	25
2.2.2 Formato MPEG-4. ....	27
2.3 OFDM.....	28
2.3.1 OFDMA. ....	30
2.3.2 SC-FDMA. ....	31
2.4 Búsqueda de información sobre interferencia y coexistencia de los servicios DVB-T/T2 y LTE .....	31
2.4.1 Resultados de la búsqueda bibliométrica.....	32
3 CAPÍTULO III. GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	
34	
3.1 Gestión internacional y nacional del espectro.....	34
3.2 Buenas prácticas nacionales .....	37
3.3 Espectro para LTE.....	38



3.4	Espectro TDT en Colombia.....	39
3.5	Servicio de Radioastronomía.....	40
3.5.1	Espectro para el servicio de Radioastronomía.....	40
4	CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS SOBRE INTERFERENCIA Y COEXISTENCIA DE LOS SERVICIOS DE TDT Y LTE .....	46
4.1	Parámetros para el estudio de interferencias.....	46
4.2	Casos de interferencia entre sistemas.....	48
4.3	Análisis de los casos de estudio de coexistencia TDT y LTE.....	50
4.3.1	Región 1. Europa.....	51
4.3.2	Región 3. Asia Pacífico.....	56
4.3.3	Región 2. Américas .....	58
4.4	Distribución y asignación de los canales UL y DL.....	61
4.5	Máscara de Emisión Espectral.....	62
4.6	Métodos de evaluación de Interferencia .....	63
4.6.1	Método de punto de fallo subjetivo .....	63
4.6.2	Método Montecarlo.....	64
5	CAPÍTULO V. DISEÑO LOS AMBIENTES DE PRUEBA A SIMULAR. ....	66
5.1	Casos de interferencia seleccionados.....	66
5.2	Escenarios de interferencia en frecuencia .....	67
5.2.1	Escenario A: fase simulcast, tercer canal nacional privado.....	68
5.2.2	Escenario B: fase post apagón, quinto canal nacional privado. ....	68
5.2.3	Escenario C: fase post apagón, sub-banda 614-698MHz para IMT. ....	69
5.3	Criterio de interferencia .....	70
5.4	Supuestos asumidos para las simulaciones.....	71
5.4.1	Características sistema LTE simulaciones.....	72
5.4.2	Características sistema DVB-T2 simulaciones.....	74

5.4.3	Número de eventos simulados. ....	77
5.4.4	Modelos de propagación .....	77
5.5	Variables de las simulaciones.....	78
5.5.1	Banda de guarda en las simulaciones. ....	78
5.5.2	Distancia de protección en las simulaciones.....	79
6	CAPITULO VI. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES Y VALORES CRÍTICOS DE LAS VARIABLES .....	80
6.1	Valores críticos para distancias de protección. ....	82
6.2	Valores críticos para la banda de guarda.....	84
6.3	Correlación variables distancia de protección y banda de guarda.....	86
7	CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	88
	BIBLIOGRAFÍA.....	92
	ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.....	98
	ANEXO 1. SOFTWARES DE SIMULACIÓN, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE LABORATORIO.....	100
	ANEXO 2: CUADRO DE FRECUENCIAS COLOMBIA 54 – 806MHz .....	105
	ANEXO 3: PLAN TECNICO DE TELEVISIÓN - PTTV .....	107
	ANEXO 4: TABLAS DE REGISTRO DE RESULTADOS SIMULACIONES.....	109
	ANEXO 5: GRÁFICAS DE RESULTADOS SIMULACIONES.....	159
	ANEXO 7: GUÍA PARA SIMULACIÓN EN SEAMCAT .....	184

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características LTE release 8. ....	25
Tabla 2. Comparación sistemas TDT DVB-T y DVB-T2 .....	27
Tabla 3. Publicaciones DVB-T LTE por Editor.....	33
Tabla 4. Sectores de la ITU. ....	35
Tabla 5. Bandas más usadas LTE FDD .....	38
Tabla 6. Bandas más usadas LTE TDD .....	38
Tabla 7. Umbrales de interferencia perjudicial a observaciones de radioastronomía .....	43
Tabla 8. Valores de ajustes tablas umbrales Rec. ITU-R RA.769 .....	43
Tabla 9. Resultado estudios SRA-IMT: distancias de separación, límites dep, un solo interferente. ....	44
Tabla 10. Resultado estudios SRA-IMT: distancias de separación, límites dep, múltiples interferentes.....	44
Tabla 11. Casos generales de interferencia en canal adyacente LTE - TDT.....	50
Tabla 12. Estudios seleccionados coexistencia DVB-T/T2 LTE .....	51
Tabla 13. Casos de interferencia estudio de coexistencia Perú. ....	60
Tabla 14. Casos de interferencia seleccionados. ....	66
Tabla 15. Criterio niveles de interferencia para simulaciones.....	70
Tabla 16. Valores sistema Tx LTE eNB simulaciones. ....	72
Tabla 17. Valores sistema Rx LTE UE simulaciones.....	73
Tabla 18. Valores sistema Tx LTE UE simulaciones. ....	73
Tabla 19. Valores sistema Rx LTE eNB simulaciones.....	74
Tabla 20. Valores sistema Tx DVB-T2 simulaciones.....	75
Tabla 21. Valores sistema DVB-T2 Rx portable indoor simulaciones.....	76
Tabla 22. Valores sistema DVB-T2 Rx fija outdoor simulaciones.....	77
Tabla 23. Modelos de propagación simulaciones.....	77
Tabla 24. Variables de entrada y salida simulaciones.....	78
Tabla 25. Frecuencias bandas de guarda escenario A. ....	78
Tabla 26. Frecuencias bandas de guarda escenario B. ....	79
Tabla 27. Frecuencias bandas de guarda escenario C. ....	79
Tabla 28. Distancias enlaces para simulaciones.....	79
Tabla 29. Valores críticos distancia de protección TDT a LTE. ....	82

Tabla 30. Valores críticos distancia de protección LTE a TDT. ....	83
Tabla 31. Valores críticos banda de guarda TDT a LTE.....	84
Tabla 32. Valores críticos banda de guarda LTE a TDT.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Suscripciones de banda ancha por tipo de acceso. ....	17
Figura 2. Colombia – Proyecciones de tráfico (voz + datos) para los años 2010 a 2023-TB/año. ....	18
Figura 3. Metodología proyecto de investigación. ....	21
Figura 4. Secuencias, GOP, macrobloques y bloques MPEG. ....	28
Figura 5. Concepto de la señal OFDM. ....	29
Figura 6. Etapas sistema OFDM. ....	30
Figura 7. Comparación secuencia de transmisión de símbolos QPSK en OFDMA y SC-FDMA ....	31
Figura 8. Publicaciones por año coexistencia DVB-T LTE. ....	32
Figura 9. Esquema preparación para las CMR. ....	36
Figura 10. Desarrollo del PPTV simulcast. ....	39
Figura 11. Desarrollo del PPTV post apagón. ....	40
Figura 12. Escenarios de interferencia diversos estudios. ....	49
Figura 13. Diagrama de bloques pruebas estudio Polonia ....	53
Figura 14. Asignación de frecuencia estudio Eslovaquia ....	53
Figura 15. Ambiente de pruebas estudio Eslovaquia ....	54
Figura 16. Escenario de simulación estudio Lituania. ....	55
Figura 17. Esquema de pruebas estudio Italia. ....	56
Figura 18. Escenario propuesto estudio Australia. ....	57
Figura 19. Asignación de frecuencia estudio Australia. ....	57
Figura 20. Configuración del sistema para medida estudio Corea del Sur. ....	58
Figura 21. Localización en bandas de frecuencia 700 MHz TDT y LTE ....	59
Figura 22. Configuración del sistema. ....	59
Figura 23. Configuración del sistema ....	59
Figura 24. Escenario de convivencia de servicios en bandas adyacentes Perú. ....	61
Figura 25. Máscara de emisión espectral. ....	62
Figura 26. Casos de interferencia seleccionados TDT a LTE. ....	67
Figura 27. Casos de interferencia seleccionados LTE a TDT. ....	67
Figura 28. Escenario A adyacencia LTE-TDT. ....	68
Figura 29. Escenario B adyacencia LTE-TDT. ....	69

Figura 30. Escenario C adyacencia LTE-SRA y LTE 600 – LTE 700.. .....	69
Figura 31. Nivel de señal usado para determinar cuándo se presenta interferencia .....	71
Figura 32. Máscara de emisión espectral de LTE eNB. ....	73
Figura 33. Máscara de emisión espectral LTE UE. ....	74
Figura 34. Máscara de emisión espectral DVB-T2 .....	75
Figura 35. Ejemplo evaluación distancia de protección escenario 1A .....	81
Figura 36. Ejemplo evaluación banda de guarda escenario 5A.....	81
Figura 37. Ejemplo superficie caso 1B.....	87
Figura 38. Ejemplo dibujo de contorno caso 1B.....	87

## **ANEXOS**

1. SOFTWARES DE SIMULACIÓN, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE LABORATORIO.
2. CUADRO DE FRECUENCIAS COLOMBIA 54 MHz – 806 MHz
3. PLAN TECNICO DE TELEVISIÓN – PTTV.
4. TABLAS DE REGISTRO DE RESULTADOS SIMULACIONES.
5. GRÁFICAS DE RESULTADOS SIMULACIONES.
6. OPCIONES DE CANALIZACIÓN PARA ESCENARIOS DE INTERFERENCIA.
7. GUÍA PARA SIMULACIÓN EN SEAMCAT.

## INTRODUCCIÓN

La influencia de los medios de comunicación en la cotidianidad del ser humano es innegable, sin duda la televisión, la radio, el internet y los teléfonos móviles son parte del día a día de gran parte de la población mundial. Tal es la importancia de los contenidos digitales y el acceso a los mismos, que la Organización de las Naciones Unidas declaró el acceso a internet como un derecho humano en 2011 e instó a los Estados de todo el mundo a fomentar y garantizar su acceso (La Rue, 2011). En este sentido, han existido importantes avances y desarrollos tecnológicos que han facilitado y generado condiciones aceptables para el uso de las Tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

El número de usuarios con la posibilidad de consultar información, explorar, aprender, descargar, compartir, comunicarse y, en definitiva, tener acceso a los contenidos digitales, es cada día mayor. Esto ha derivado en la masiva generación de contenidos de alta calidad digital, diversidad de formatos, una cobertura más amplia y una alta demanda de capacidad en los medios de transmisión, especialmente en los sistemas de difusión de televisión y los sistemas de transmisión de datos a través de la plataforma móvil celular.

A nivel mundial el aumento exponencial del tráfico y el déficit de espectro disponible para los nuevos servicios representan un problema complejo. De manera particular, en Colombia, el crecimiento en el acceso y el consumo de los servicios de datos móviles es una medida de la relevancia y el impacto que estos representan. Lo anterior se evidencia en las cifras dadas por el Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicaciones – MinTIC, en las cuales se muestra que para el segundo trimestre del año 2016, se tiene registro de 21.313.548 accesos a internet móvil de banda ancha, 8.643.018 suscripciones al servicio de datos de telefonía móvil celular, de los cuales 3.653.714 suscriptores corresponden a móviles con tecnología de cuarta generación (MinTIC, 2016), lo que muestra que en tan solo tres años, con el inicio de operación en 2013 del estándar LTE en Colombia, se han obtenido cifras destacables de aumento en el número de suscripciones con una media de 500.000 nuevos suscriptores por trimestre (véase Figura 1).



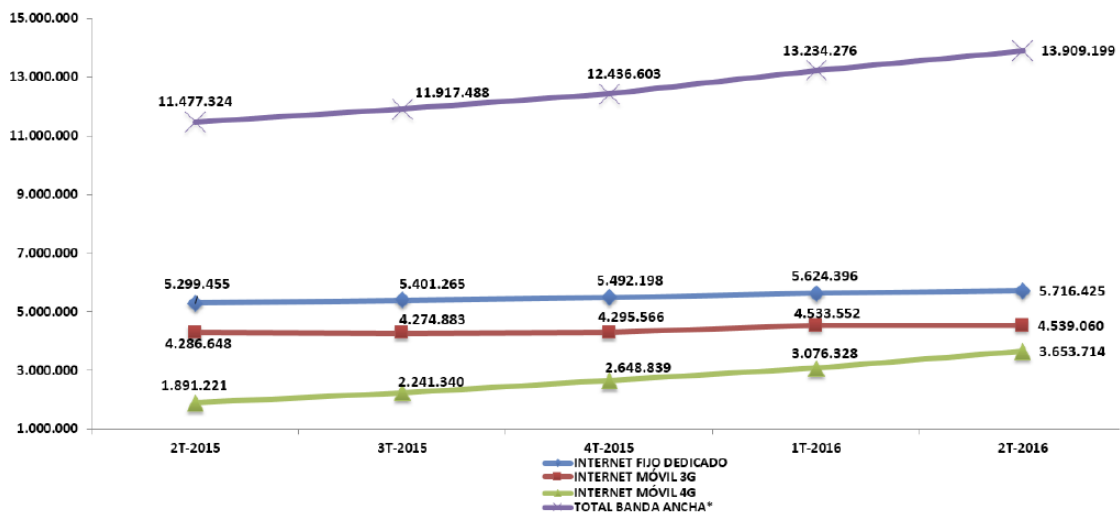


Figura 1. Suscripciones de banda ancha por tipo de acceso. (MinTIC, 2016)

En el mismo sentido la televisión pública, a partir de la decisión de la Autoridad Nacional de Televisión (ANTV) y el Ministerio de comunicaciones (MinTIC) en la que se adoptó en el 2008 el estándar de televisión digital terrestre DVB-T para Colombia y la actualización al estándar DVB-T2 en 2011, ha avanzado en el despliegue de su cobertura y el número de televisores con recepción de la nueva señal digital. De acuerdo a las cifras de la ANTV en su informe sectorial de 2014, publicado en junio de 2015, se cuenta con una cobertura de 23 ciudades principales a través de 22 estaciones TDT y un cubrimiento poblacional de 31.881.239 habitantes, es decir un 67,65% del total de habitantes. Proyectando como meta la cobertura completa del territorio nacional en el año 2018 y el apagado de la televisión análoga en el año 2019 (ANTV, 2015).

De otro lado, las proyecciones de tráfico realizadas por la consultora Tachyon para la ANE muestran una expectativa de tráfico de voz y datos para el año 2023 de 1.750.000 TB/año en el escenario más conservador (véase Figura 2), con este valor se calcula que se requerirá por lo menos de 1.040 MHz, previéndose que la demanda real sea mucho mayor cercana a 1.400 MHz. En la actualidad según datos de la ANE en su proceso de selección objetiva para asignación de espectro radioeléctrico, en Colombia existe una asignación total para el espectro IMT de 405 MHz, con un Espectro Radioeléctrico (ERE) no asignado de 207 MHz, una posibilidad de uso de 328 MHz adicionales y la probable identificación para el año 2020 de otros 375 MHz, para un total de 1.315 MHz (MinTIC; ANTV; CRC, 2015).

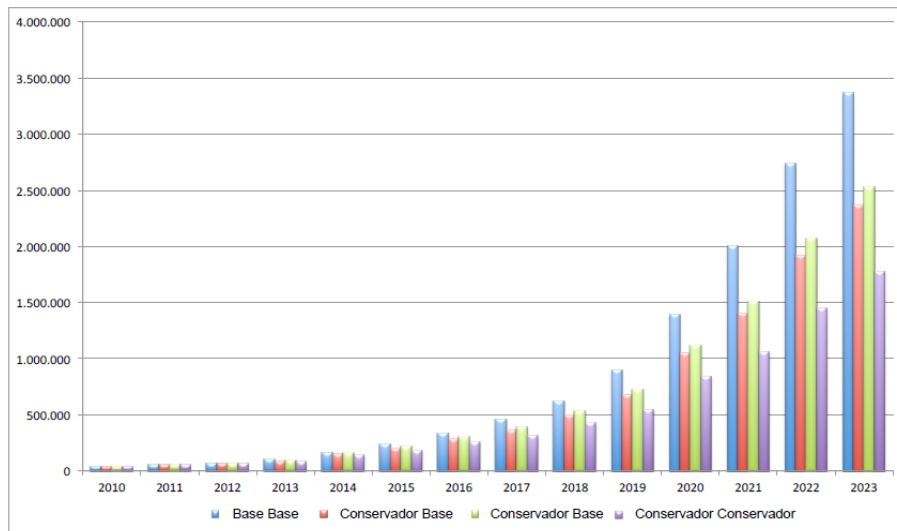


Figura 2. Colombia – Proyecciones de tráfico (voz + datos) para los años 2010 a 2023-TB/año. (ANE, 2014)

En principio un aumento en la asignación de frecuencias para la entrada de servicios móviles se presenta como la solución evidente. Sin embargo, la limitación física del espectro disponible, compatible con las características de transmisión de las tecnologías de radiodifusión ha obligado a convivir a los estándares de última generación, servicios de TDT y LTE en bandas cercanas, esta situación genera dificultades para la implementación de los nuevos servicios por la posibilidad de la presencia interferencias entre servicios en bandas adyacentes. Por lo expuesto se plantea la pregunta, ¿Cuáles son los parámetros críticos para la coexistencia de los futuros servicios de televisión digital terrestre DVB-T2 y las comunicaciones móviles LTE en Colombia?

La ampliación y despliegue de las redes LTE y TDT aún presentan retos y oportunidades para la investigación en Colombia. La asignación de frecuencias disponibles, la reacomodación de las bandas liberadas del dividendo digital y la compatibilidad de estándares plantean un escenario con variedad de posibilidades. Por todo lo anterior se requiere indagar además ¿Cuáles son las características de las señales TDT en el estándar DVB-T2 y del sistema LTE de la telefonía móvil celular y los escenarios de interferencia electromagnética de estos servicios en las frecuencias menores a 1 GHz?, particularmente ¿Cuáles son los valores críticos de las variables de protección para dichos servicios en la sub-banda UHF de 614 a 698 MHz en Colombia?, y finalmente ¿de qué modo pueden

aportar las instituciones académicas y los grupos de investigación de las universidades al desarrollo y avance de los estudios de compatibilidad electromagnética en el país y la región?.

Esta investigación pretende describir a través de simulaciones los elementos y relaciones existentes entre los dos servicios y servir de insumo para orientar los futuros despliegues de servicios LTE y TDT para que se garanticen la calidad y disponibilidad de los servicios a los usuarios. En particular, los resultados de este trabajo de grado representan un insumo muy importante para el desarrollo del proyecto de investigación “*Estudio de la compatibilidad electromagnética entre los servicios de TDT y LTE en la sub-banda UHF de 614 a 698 MHz en Colombia*”, aprobado por la *Dirección de investigación e innovación de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito* en la convocatoria interna del año 2015.

El presente trabajo de grado se divide en seis capítulos que contienen en su orden, la metodología adoptada para el desarrollo de la investigación, la construcción del marco teórico como base de la investigación para los servicios en estudio, una síntesis de la dinámica de la gestión y planificación del espectro en el orden nacional e internacional, el análisis de los estudios y pruebas desarrolladas en las diferentes regiones de la UIT, para más adelante abordar la construcción de los escenarios y casos de interferencia con los cuales se realizan las simulaciones, finalizando con el análisis de los resultados obtenidos y las respectivas conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO I. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo de grado se utilizó el método teórico-práctico, partiendo de la búsqueda de los estudios realizados e información teórica relevante y su análisis respectivo, poniendo en consideración de varios expertos los escenarios y casos de interferencia para su evaluación mediante las simulaciones correspondientes, cuyos resultados servirán de base en la determinación de elementos para el desarrollo de futuras pruebas de laboratorio.

El desarrollo de la investigación se realizó en tres fases. En primer lugar, en el estudio teórico sobre la compatibilidad electromagnética y coexistencia de los servicios DVB-T2 y LTE en frecuencias menores a 1 GHz, se efectuó la búsqueda, selección y análisis de información secundaria pertinente, normatividad vigente y recomendaciones técnicas internacionales en rigor para el despliegue y operación de los servicios LTE y DVB-T2. A partir del análisis de la información seleccionada se determinaron las variables de mayor incidencia en la coexistencia de los servicios analizados, que debían ser estudiadas y analizadas en las pruebas experimentales.

En la segunda fase de la investigación se diseñaron los ambientes de prueba y se establecieron los protocolos para la realización de las simulaciones, incluyendo: tablas de registro, herramientas de simulación e indicadores, esto se desarrolló en concordancia con el estudio teórico de la primera fase y contando con la asesoría de expertos de la ANE y de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

En la tercera fase se realizaron las simulaciones para los ambientes de prueba diseñados, se tomó registro de los resultados y se generaron los gráficos descriptivos del comportamiento observado. Esta fase se realizó de manera iterativa, iniciando con pruebas preliminares que fueron evaluadas para realizar ajustes y ejecutar pruebas finales de las que se obtuvieron los resultados expuestos en los capítulos VI y VII, respecto a los valores críticos de los márgenes de protección y parámetros que se deben tener en cuenta para el desarrollo de pruebas de laboratorio para evaluar en detalle la convivencia de DVB-T2 y LTE en la sub-banda UHF de 614 a 698 MHz. Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo de grado y un marco general de recomendaciones y sugerencias para el desarrollo de investigaciones posteriores.

En la Figura 3 se presenta la metodología adoptada para el desarrollo esta investigación.

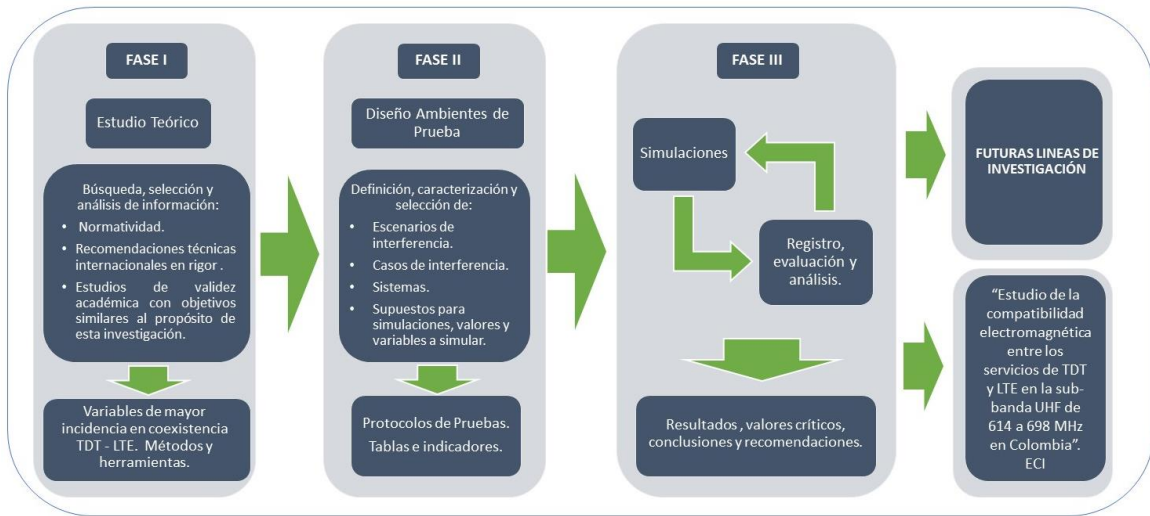


Figura 3. Metodología proyecto de investigación. Los autores.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos más relevantes acerca de los servicios de comunicaciones móviles LTE y televisión digital terrestre DVB-T2, particularmente la descripción de los antecedentes de los sistemas, sus características de transmisión, la interfaz de radio, y los formatos de transmisión de datos.

### 2.1 Long Term Evolution (LTE)

Dentro de los sistemas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT), se encuentra el estándar Long Term Evolution (LTE) que ha sido especificado y desarrollado por el *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) como la evolución de los sistemas móviles *Global System for Mobile Communications* (GSM) y *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS). LTE ofrece mayores capacidades de transmisión y menores costos de despliegue que las tecnologías anteriores, de modo que satisface en mayor medida las altas demanda de tráfico de los usuarios y las expectativas de negocio por parte de los operadores de telecomunicaciones. El *release* 8, publicado en 2008 por el 3GPP, contiene las especificaciones técnicas y de capacidades del sistema LTE, tales como: tasas de transmisión pico de 100Mbps en el enlace de bajada (Down Link - DL) y 50Mbps en el enlace de subida (Up Link - UL) , mayor eficiencia espectral que HSPA (2 a 3 veces más), compatibilidad e interconexión con los otros sistemas de comunicaciones móviles existentes, y ancho de banda escalable de 1,4MHz, 3 MHz, 5MHz, 10 MHz, 15MHz y 20 MHz. (Gebner, 2011).

LTE es el servicio móvil más avanzado que se encuentra en operación y con gran crecimiento en Colombia. En el *release* 10 de 3GPP se encuentra definido el estándar *LTE-advanced*, evolución del estándar LTE que ya ha sido probado y adoptado por algunos operadores en el mundo.

#### 2.1.1 Interfaz radio.

La interfaz radio de LTE tiene tres capas con un conjunto de protocolos asociados: la primera es la capa física, la segunda compuesta por los protocolos MAC de control de acceso al medio y RLC de control del enlace de radio, y la tercera con el protocolo RRC de control de los recursos de radio. Existen igualmente tres tipos de canales: los *canales*

*lógicos* encargados de indicar el tipo de información que se intercambia entre la MAC y el RLC, los *canales de transporte* encargados de estructurar la información en bloques de transporte TrBk y permitir el intercambio entre la capa física y la MAC, y los *canales físicos* que establecen el modo de transmisión de los bits en las subportadoras OFDM (Gebner, 2011). Los canales físicos se dividen en:

### **1. Canales físicos del enlace de bajada DL:**

- Physical downlink shared channel (PDSCH): Portadoras con los datos útiles.
- Physical downlink control channel (PDCCH): Portadoras con información de control.
- Physical control format indicator channel (PCFICH): Indica el formato del canal PDCCH.
- Physical hybrid ARQ indicator channel (PHICH): Portadoras ACK/NACKs para los paquetes de datos del enlace de subida.
- Physical broadcast channel (PBCH): Información durante la búsqueda de la celda.

### **2. Canales físicos del enlace de subida UL:**

- Physical uplink shared channel (PUSCH): Portadoras con los datos útiles.
- Physical uplink control channel (PUCCH): Portadoras con información de control.
- Physical random access channel (PRACH): Transmisión preliminar para el acceso inicial.

#### **2.1.2 Scheduling y tipo de modulación.**

LTE tiene una característica fundamental que corresponde a la capacidad adaptativa del enlace en función de la calidad de la señal reportada por los terminales móviles de usuarios, el parámetro Channel quality indication (CQI), el cual realiza una revisión constante del estado de las señales para variar los parámetros de transmisión en el eNB, permitiendo la planeación o *scheduling* en la conexión de los usuarios. Permanentemente se modifica, además, el esquema de modulación y codificación cualidad que se conoce como Adaptive

Modulation and Coding (AMC). También se puede realizar la selección de la tasa del código de canal corrector de errores.

Adicionalmente se tienen varias configuraciones posibles para la modulación de los datos, divididas en el enlace de bajada y en el enlace de subida. Para el enlace de bajada DL se soportan modulaciones QPSK, 16QAM y 64 QAM, mientras que en el enlace de subida UL se soportan modulaciones BPSK, QPSK, 16QAM y 64 QAM.

Como tecnología de acceso al medio, LTE usa OFDMA para el enlace de bajada DL por la alta eficiencia en la operación móvil y alta resistencia a condiciones de desvanecimiento por multitrayecto, aunque presenta problemas en los bordes de las celdas. Mientras que en el enlace de subida utiliza SC-FDMA para reducir los costos en los equipos terminales (User Equipment - UE) y mejorar el desempeño de los terminales en los bordes de las celdas.

Las antenas para los evolved Nodo B (eNB) y los UE generalmente tienen configuración MIMO, con condiciones mínimas de dos antenas transmisoras y dos antenas receptoras para el eNB, así como una antena transmisora y dos antenas receptoras en el UE. De manera que en el enlace de bajada puede existir un arreglo 2x2 y en el enlace de subida un arreglo 1x2. En este sentido, basados en OFDM, se tiene un uso del recurso físico mediante la división en frecuencia y tiempo. La unidad básica de la transmisión es el Resource Block (RB) el cual se constituye por 12 subportadoras en frecuencia con separación de 15KHz y 1 TS (Time Slot) de 0,5 ms con 7 símbolos OFDM. En un intervalo de transmisión TTI de 1ms se cuenta con un par de RB (Gebner, 2011). En la Tabla 1 se presenta resumen con las características descritas del sistema LTE.

## **2.2 Televisión digital Terrestre (TDT)**

La televisión Digital terrestre (TDT) es el servicio de televisión que se ha desarrollado para reemplazar los sistemas de televisión analógica, y se han adoptado a nivel mundial los siguientes estándares ATSC, ISDB, DTMB y DVB-T. Este nuevo servicio contribuye a mejorar la experiencia de los televidentes, pues ofrece mayor calidad en la imagen y la posibilidad de introducir características de interactividad. Adicionalmente la TDT hace un mejor uso del espectro, por ejemplo, un canal análogo ocupa un ancho de banda de 6MHz, mientras que en este mismo ancho de banda se puede transmitir hasta cuatro canales digitales estándar de calidad equivalente. Los estándares de televisión digital permiten la



transmisión de varias señales de televisión u otros servicios en un mismo canal radioeléctrico mediante las técnicas de compresión de datos, a esto se le denomina **múltiplex digital (MUX)**.

Tabla 1. Características LTE release 8.

LTE Release 8						
Enlace	DL (Enlace de Bajada)		UL (Enlace de subida)			
<b>Modulación de datos</b>	QPSK, 16 QAM, 64QAM		BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM			
<b>Tecnología de Acceso</b>	OFDMA		SC-FDMA			
<b>Esquema antenas RF</b>	2Tx/2Rx		2Tx /2Rx			
<b>Codificación de canal</b>	Turbocódigos					
<b>Tasa máxima de transmisión</b>	100 - 326,4 Mbps		50 - 86,4 Mbps			
<b>Ancho de banda</b>	1,4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
<b>Número de <i>Resource Blocks</i></b>	6	15	25	50	75	100

Fuente: (Gebner, 2011)

### 2.2.1 DVB-T y DVB-T2.

El estándar de radiodifusión digital de televisión seleccionado por Colombia, en el año 2008, para reemplazar el sistema de televisión pública analógica fue el Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB-T), de origen europeo y que se encuentra especificado por el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI) en el documento EN 300 744, en el cual se definen la estructura de la trama de datos, la codificación de canal y el tipo de modulación. DVB-T hace uso del formato MPEG para la compresión de los datos de video y voz, y adicionalmente utiliza modulación codificada COFDM para la transmisión digital en combinación con modulaciones QPSK, 16QAM o 64 QAM (Comisión Nacional de Televisión, 2010).

La señal que se transmite en DVB-T está organizada en tramas, cada una contiene 68 símbolos OFDM, y cuatro tramas componen una supertrama. De acuerdo con la selección de la Transformada Discreta Inversa de Fourier (IDFT) se tienen dos modos de generación de la señal OFDM (2K y 8K). En 2k se tienen 2048 subportadoras con espaciamiento de aproximadamente 4kHz y duración de 250 microsegundos para cada símbolo. En 8K se tienen 8192 subportadoras con espaciamiento de aproximadamente 1kHz y duración de símbolo de 1 milisegundo. La carga útil (*payload*) en 2K es de 1512 subportadoras y en el

modo 8K de 6048 subportadoras, las otras subportadoras son utilizadas para propósitos de señalización y control. Existen de tres tipos de señales *continual pilots*, *scattered pilots* y *Transmission Parameter Signalling Pilots (TPS)* (Ivo & Queiroz, 2008).

En resumen, las características técnicas de transmisión de DVB-T son: tres opciones de modulación (QPSK, 16QAM, 64QAM), cinco tasas diferentes para el control de error FEC (Forward Error Correction) basadas en Reed Solomon, cuatro opciones de intervalos de guarda (1/32, 1/16, 1/8 y 1/4), y puede operar en canales de ancho de banda de 6, 7 y 8 MHz.

DVB-T2 es el estándar de segunda generación del sistema de televisión europeo DVB-T, sus especificaciones se encuentran contenidas en los documentos ETSI EN 302 755, ETSI TS 102 773 y ETSI TS 102 992. Este introduce características técnicas adicionales a las ya presentes en DVB-T, tales como: Modulación 256QAM, esquemas de corrección de error LDPC y BCH, tres intervalos de guarda más (19/128, 19/256 y 1/128), otros modos OFDM (1K, 2K, 4K, 8K, 16K y 32K) y anchos de banda de 1.7, 5, 6, 7, 8 y 10 MHz. Otra de las novedades del estándar DVB-T2 es el concepto de tubería de capa física o Physical Layer Pipe (PLP), que corresponde a un canal lógico dentro de un múltiplex o mux de DVB-T2 que puede llevar uno o varios servicios (CRC, 2014).

Esta versión además de soportar la plataforma ya desplegada de DVB-T provee un aumento notable de la capacidad de transmisión (hasta un 67 % en la carga útil), así como menores tasas de error y mayor robustez de la señal respecto a su predecesor, particularmente una reducción del Peak Average Power Ratio (PAPR) (DVB Project Office, 2015). Actualmente, más de 150 países han realizado pruebas, adoptado o desplegado los estándares DVB-T o DVB-T2. En Colombia se tomó la decisión de migrar hacia el nuevo estándar en el año 2011.

En la Tabla 2 se presentan las características técnicas de los estándares DVB-T y DVB-T2.

Tabla 2. Comparación sistemas TDT DVB-T y DVB-T2

Sistema TDT	DVB-T	DVB-T2
FEC	Codificación Convolutacional + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modulación de datos	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256 QAM
Intervalo de guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128
Tamaño FFT	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Tasa de transmisión típica	24 Mbps	40 Mbps
Ancho de banda	6, 7, 8 MHz	1.7, 5, 6, 7, 8, 10 MHz
Tasa de transmisión máxima (@20 dB C/N)	31,7 Mbps (8 MHz)	45,5 Mbps (8 MHz)
Relación C/N requerida (@24 Mbps)	16,7 dB	10,8 dB

### 2.2.2 Formato MPEG-4.

Los formatos MPEG, MPEG-1, desarrollados por el grupo Moving Picture Expert Group (MPEG), tienen como características esenciales que el espacio de representación de color es Y-Cr-Cb, alcanzando los 1,5Mbps de generación de información codificada y proveyendo acceso aleatorio a las secuencias, avance y retroceso rápido. Tienen los siguientes niveles jerárquicos: Secuencias, grupo de imágenes, imágenes, trozos de imagen, macrobloques, bloques y vectores de pixeles de 8x8 (véase Figura 4). MPEG-2 como evolución de MPEG-1 propone un proceso de compresión más complejo pero que deriva en mayor calidad de video, es escalable y permite velocidades entre 1,5 Mbps y 3,5 Mbps.

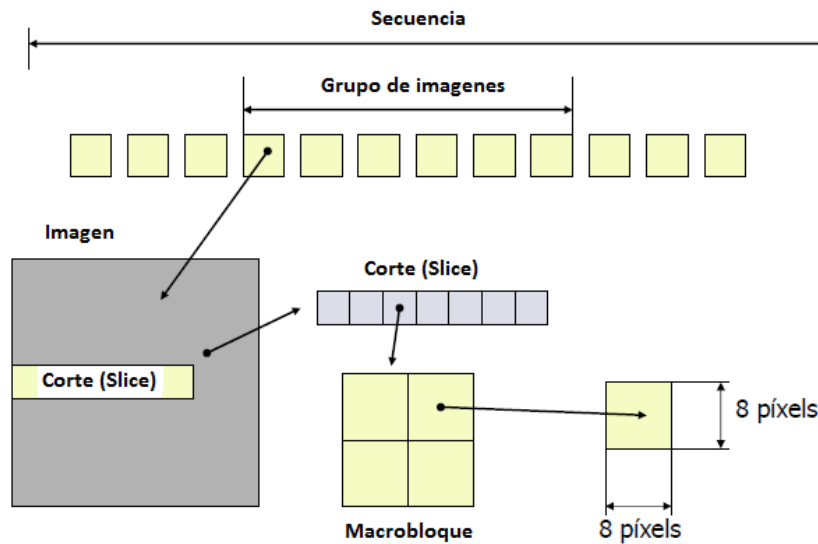


Figura 4. Secuencias, GOP, macrobloques y bloques MPEG. (TDT Latinoamerica, 2014).

También existen cuatro tipos de cuadros, *Intra-coded (I)*, *Predictive-coded (P)*, *Bidirectional predictive-coded (B)*, *DC-coded (D)*, que cumplen respectivamente las funciones de acceso aleatorio a la secuencia, codificación predictiva con el cuadro anterior, codificación predictiva hacia atrás o hacia adelante y compresión sin pérdida.

MPEG-4 es el estándar de compresión de audio y video más reciente y pretende agrupar en un solo formato, las características de los formatos previos MPEG-1 y MPEG-2. Como característica innovadora permite la posibilidad de interacción de los usuarios con las imágenes, introduciendo el concepto de objetos en una sola escena con lo que cada característica de la escena se puede procesar individualmente, detener, navegar en la escena, cambiar el idioma, el tipo de audio o la perspectiva de la cámara. Particularmente MPEG-4 añade elementos de sincronización que permiten controlar en la transmisión la priorización del tráfico y garantizar niveles de calidad de servicio. El estándar DVB-T2 adoptó como formato de codificación MPEG-4.

### 2.3 OFDM

La modulación por división ortogonal de frecuencia, en inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*, es una técnica de modulación que permite dividir el ancho de banda de un canal en múltiples subcanales y asociarle a cada subcanal una portadora de datos o subportadora. Por la tanto, OFDM es una modulación multiportadora, su ventaja

frente a un sistema de una sola portadora es que, ante la presencia de ruido, interferencia o pérdidas por trayectoria, la integridad de los datos no se afecta en toda la señal sino en parte de la misma que puede ser reconstruida utilizando codificación de corrección de errores. Al introducir esta codificación a la técnica se le denomina *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (COFDM) (Prasad, 2004).

En un sistema multiportadora tradicional, *Frequency Division Multiplexing* (FDM), los subcanales son separados de modo que no se solapen para evitar interferencia intercanal o interportadora (ICI), sin embargo, la eficiencia en el uso del ancho de banda es muy baja, mientras que en OFDM las portadoras se sitúan de modo que se solapen las bandas laterales, en las frecuencias precisas para que sean ortogonales matemáticamente. La condición de ortogonalidad se cumple cuando  $\Delta f = 1/T$ , donde la separación entre subportadoras  $\Delta f$  es igual al inverso de la duración del símbolo OFDM  $T$  (Fischer, 2003).

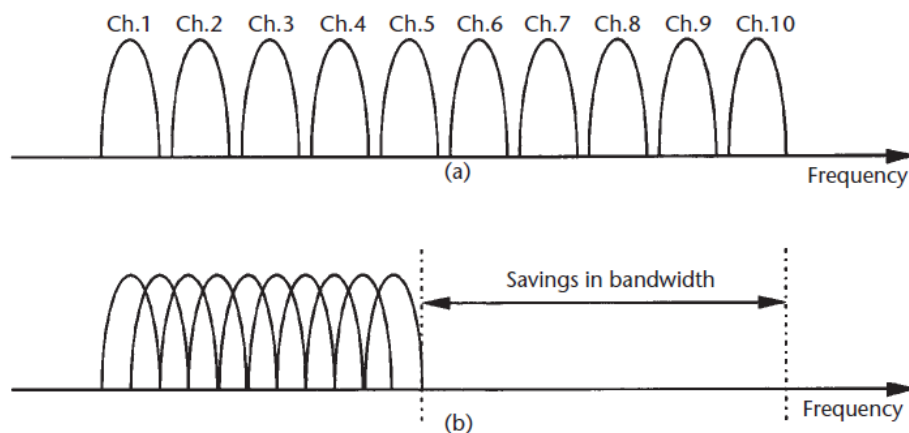


Figura 5. Concepto de la señal OFDM (a) técnica multiportadora tradicional (b) técnica multiportadora ortogonal. (Prasad, 2004)

Para poder procesar las múltiples subportadoras que conforman una señal OFDM se requiere alta capacidad de procesamiento, lo cual es difícil de lograr en tiempo continuo, por lo que se debe realizar el procesamiento y multiplexación en tiempo discreto a través de la Transformada Discreta de Fourier (DFT). La tecnología actual permite realizar este procesamiento en chips y procesadores utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT). En el modulador de OFDM se utiliza la transformada IFFT y en el demodulador de la FFT (Fischer, 2003). En la Figura 6 se presenta el esquema de un sistema OFDM.

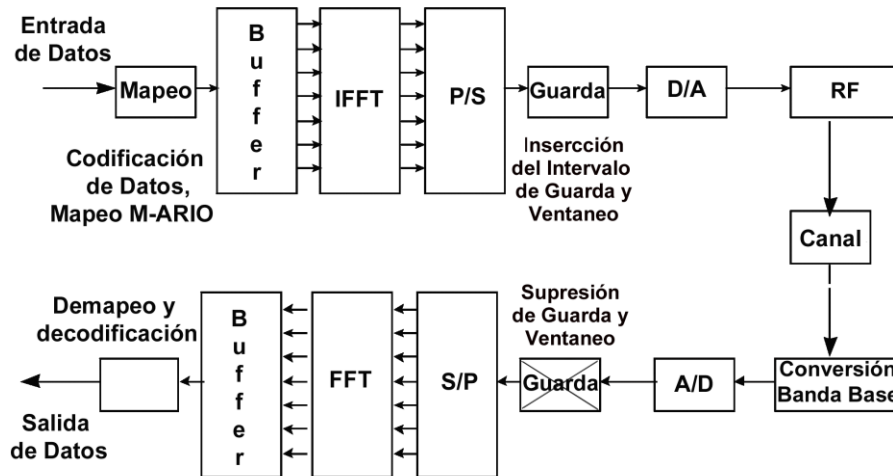


Figura 6. Etapas sistema OFDM. (Jimenez, Parrado, Quiza, & Suarez, 2001)

Un sistema de modulación COFDM cuenta con varias etapas en el modulador que corresponden, a la conversión de datos de serie a paralelo, el mapeo M-área a través de modulaciones para cada subportadora, la transformada inversa rápida de Fourier y la inserción de tiempos de guarda y portadoras piloto para sincronización. En el demodulador se encuentran las etapas inversas correspondientes. La inserción de un intervalo de guarda, particularmente de un prefijo cíclico (CP) permite recuperar la pérdida de ortogonalidad de OFDM, debido al desplazamiento en frecuencia al transmitir símbolos OFDM consecutivos. Este CP contiene parte de la información final del símbolo al inicio del mismo y es especialmente importante al eliminar la interferencia intersímbolo (ISI).

### 2.3.1 OFDMA.

*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (OFDMA)* es una técnica de acceso múltiple en la que, de igual forma que OFDM, el ancho de banda disponible para la transmisión es dividido en subportadoras con igual espaciamento, las cuales pueden ser moduladas independientemente. La diferencia de OFDMA con OFDM es la programación de los usuarios o *scheduling*, mientras en OFDM a cada usuario se le asigna un intervalo de tiempo con el ancho de banda disponible de manera exclusiva, en OFDMA los datos se transmiten en paralelo entre las diferentes subportadoras, de forma tal que diferentes usuarios pueden compartir el canal al mismo tiempo.

### 2.3.2 SC-FDMA.

*Single Carrier - Frequency Division Multiplexing Access (SC-FDMA)*, es una técnica de acceso también conocida como un esquema de OFDM precodificado, en la que se introduce una etapa previa de la FFT en el transmisor y una etapa final IFFT en el receptor, con el objetivo de reducir significativamente el PAPR de la señal. (Gebner, 2011) . En SC-FDMA se transmiten datos en serie entre subportadoras diferentes agrupadas como una sola portadora. En la Figura 7 se presenta una comparación de la secuencia de transmisión de símbolos QPSK en OFDMA y SC-FDMA.

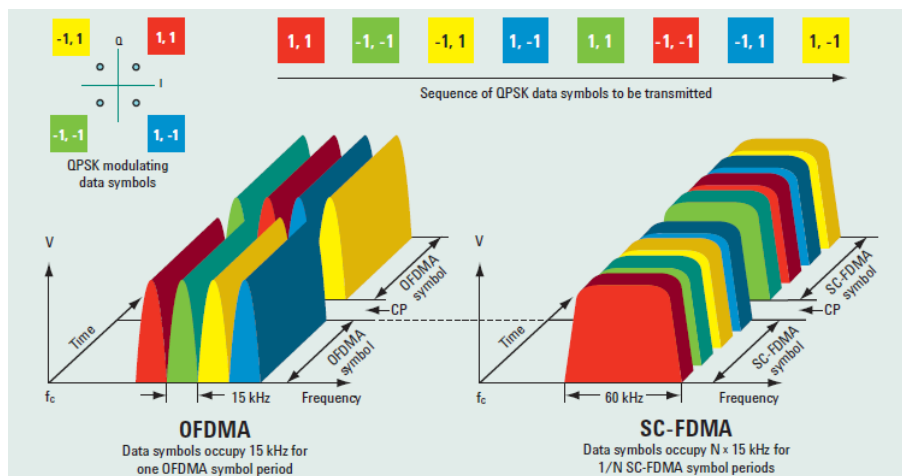


Figura 7. Comparación secuencia de transmisión de símbolos QPSK en OFDMA y SC-FDMA (Rumney, 2008)

## 2.4 Búsqueda de información sobre interferencia y coexistencia de los servicios DVB-T/T2 y LTE

Para establecer el estado actual acerca de la temática abordada en la presente investigación, se desarrolló una validación bibliométrica de las publicaciones relacionadas, para lo cual se realizaron múltiples búsquedas en el sistema de descubrimiento de la biblioteca Jorge Álvarez Lleras de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Para esto se seleccionó la fórmula de búsqueda con las palabras claves DVB-T y LTE contenidas en los títulos o resúmenes de publicaciones disponibles, entre enero de 2008 y febrero de 2016, y un amplificador de búsqueda de temas relacionados de manera que se incluyeran los temas específicos DVB-T o DVB-T2 y LTE. La fórmula utilizada fue la siguiente:

[http://bibliotecavirtual.escuelaing.edu.co:2056/login.aspx?direct=true&bquery=\(TI+\(DVB-T+AND+LTE\)\)+OR+\(AB+\(DVB-T+AND+LTE\)\)&cli0=DT1&clv0=200801-201612&lang=es&type=1&site=eds-live](http://bibliotecavirtual.escuelaing.edu.co:2056/login.aspx?direct=true&bquery=(TI+(DVB-T+AND+LTE))+OR+(AB+(DVB-T+AND+LTE))&cli0=DT1&clv0=200801-201612&lang=es&type=1&site=eds-live)

#### 2.4.1 Resultados de la búsqueda bibliométrica

Luego de la aplicación de la ecuación de búsqueda se obtuvo un total de 298 resultados, los cuales se procesaron para determinar los editores, idioma y tipo de recursos con mayor recurrencia, y para verificar la evolución en el número de publicaciones de la temática.

Como resultado de la consulta se encontraron publicaciones a partir del año 2009, por lo que se infiere que este punto de partida se dio debido a la petición realizada en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2007 (CMR-07) para realizar estudios de compatibilidad entre los servicios de comunicaciones móviles y los sistemas de radiodifusión digital terrestre, como resultado de su proximidad en la asignación de frecuencias adyacentes del dividendo digital.

En la Figura 8 se observa una tendencia incremental en el número de estudios a partir de esta fecha, relacionada con la implementación de las nuevas tecnologías en las diversas regiones y por la búsqueda de nuevas bandas probables para la asignación de espectro para las IMT.

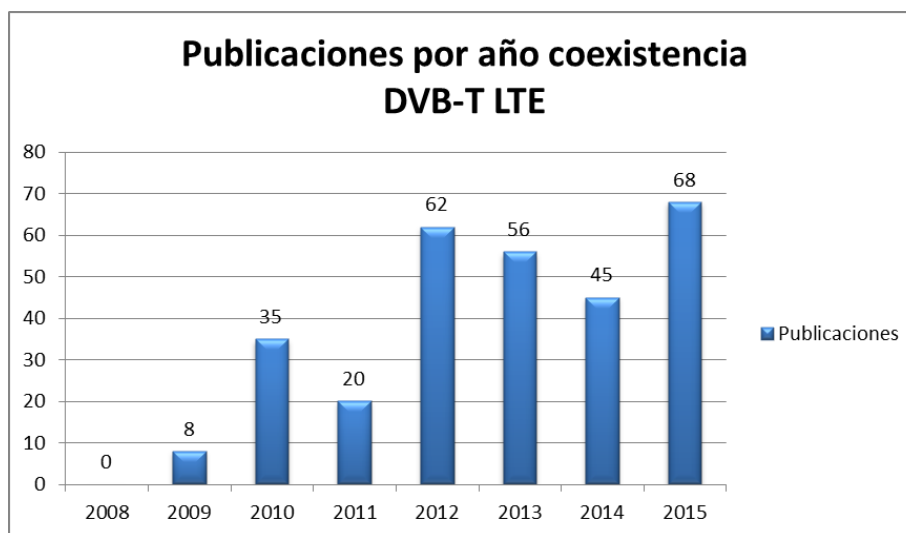


Figura 8. Publicaciones por año coexistencia DVB-T LTE. Los autores.



En cuanto a los editores se realizó un filtro para establecer aquellos que realizaron más de dos publicaciones, tal como se muestra en la Tabla 3, destacándose ampliamente IEEE con 87 publicaciones, en Latinoamérica la Universidad ICESI con cuatro y la Universidad Politécnica de Cataluña que ha aportado diferentes estudios en la materia en asociación con el Instituto de telecomunicaciones y aplicaciones multimedia (ITEAM).

A partir de estos resultados se seleccionaron los estudios con base en los criterios de orden de relevancia del sistema de búsqueda, el origen de la publicación y publicaciones recientes. El objetivo fue identificar los parámetros que han cobrado mayor relevancia de acuerdo a los estudios, los posibles escenarios evaluados, las herramientas de análisis y simulación utilizadas, y las conclusiones que permitan orientar de manera más adecuada el presente trabajo. El detalle de éste análisis se consigna en el Capítulo IV.

Tabla 3. Publicaciones DVB-T LTE por Editor.

Orden	Editor	Número de Publicaciones
1	IEEE	87
2	Hindawi Publishing Corporation	10
3	World Scientific Publishing Company	5
4	Alma Mater Studiorum - Universita Di Bologna	4
5	Comtex News Network, Inc.	4
6	Universidad Icesi	4
7	De Gruyter Open	3
8	Elsevier Science	3
9	Facultad de Ingeniería	3
10	Hal CCSD	3
11	Optical Society of America	3
12	Springer	3
13	Springer-verlag	3
14	UBM Information Ltd.	3
15	Universite Rennes	3
16	Universidad Politécnica de Tomsk	3
17	CRC Press	2
18	Electronics & Electrical Engineering	2
19	Institute of Electrical and Electronics engineers	2
20	PR Newswire Association llc	2
21	U.S.A., ieee	2
22	Universitat Politecnica de Catalunya	2
23	University of York	2
24	Universidad Tecnológica de Brno. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Comunicación.	2
25	Sociedad de Ingenieros de Difusión Corea.	2

Fuente: Los autores.

## **CAPÍTULO III. GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL ESPECTRO**

### **RADIOELÉCTRICO**

El uso coordinado de un recurso escaso como el espectro radioeléctrico es una tarea compleja, la competencia entre diversos servicios y la planeación de su uso en cada una de las regiones definidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), así como en cada uno de los países miembros debe ser concertada, planeada y coordinada para tener los menores impactos y el mayor éxito. La ITU y los organismos regionales como la ETSI y la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) trabajan conjuntamente para que las recomendaciones y estándares sean adoptados y ajustados por el sector privado y las instituciones públicas de los Estados miembros. Para el caso colombiano las entidades responsables de los procesos de atribución, adjudicación y asignación del espectro son: el MinTIC, la ANE y para el caso específico del servicio de TDT la ANTV.

#### **3.1 Gestión internacional y nacional del espectro.**

En el ámbito internacional la ITU define la gestión del espectro como “la combinación de los procedimientos administrativos y técnicos necesarios para garantizar la utilización eficaz del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones definidos en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la ITU, y la explotación de los sistemas radioeléctricos sin causar interferencia perjudicial” (ITU, 2010).

La ITU se compone de tres sectores u órganos principales, cada uno de los cuales cumplen con una función particular y tiene sus propios escenarios de discusión. Estos sectores son:

- Sector de desarrollo de las telecomunicaciones (ITU-D).
- Sector de radiocomunicaciones (ITU-R).
- Sector de normalización de telecomunicaciones (ITU -T).

El proceso de armonización del uso del espectro a nivel internacional es responsabilidad de la ITU y particularmente de su división de radiocomunicaciones (ITU-R). Aunque la ITU no es una autoridad de regulación, el RR de la ITU es el marco general que define el uso del espectro, en este sentido cada nación tiene a su disposición la utilización, atribución y regulación del espectro, pero todos los estados miembros de la ITU aportan en la

construcción de la reglamentación y se comprometen a actuar de buena voluntad para cumplir este reglamento. En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, se resumen estas divisiones y sus funciones.

Tabla 4. Sectores de la ITU.

	ITU-R	ITU-T	ITU-D
<b>Sector</b>	Radiocomunicaciones	Normalización de Telecomunicaciones	Desarrollo de telecomunicaciones
<b>Mandato</b>	Coordinar la asignación de espectro de radiofrecuencia y adoptar las recomendaciones para las radiocomunicaciones. (Art 13 de la constitución de la UIT)	Estudio técnico, operativo y de cuestiones arancelarias y adoptar las recomendaciones para la estandarización de telecomunicaciones. (Art 17 de la constitución de la UIT)	Facilitar y mejorar el desarrollo de las telecomunicaciones. (Artículo 21 de la Constitución de la UIT)
<b>Conferencia/Asamblea</b>	<i>World Radio Conference (WRC).</i>	World Telecommunications Standardization Assembly (WTSA)	World Telecommunications Development Conference (WTDC)
	Las revisiones de las regulaciones de radio de la ITU se consideran durante la WRC.	El programa de trabajo para los próximos 4 años del sector ITU-T es definido en la WTSA.	Se dedica al papel de las telecomunicaciones en desarrollo.
	Cada 3-4 años	Cada 4 años	Cada 4 años
	Próxima conferencia en 2018	WTSA 2016	WTDC 2017

Fuente: ( ITU WTSA, 2016)

La ITU cuenta con el sector de desarrollo denominado ITU-D, esta división desarrolla dos tipos de actividades (de proyectos y transaccionales) que pretenden “facilitar la conectividad de las telecomunicaciones y el acceso a la información y los servicios de comunicación (TIC), fomentar la política de las TIC y el desarrollo tecnológico, contribuir a la preparación reglamentaria y a la disponibilidad de las redes, ampliar las capacidades humanas mediante programas de formación y formular estrategias de financiación y de ciberseguridad”. Y adicionalmente, “abordar temas de interés para los organismos reguladores del espectro,

promover acuerdos bilaterales y multilaterales que permiten la armonización del espectro más allá de las fronteras nacionales” (Cave, Jones, & Foster, 2009).

Las actividades, denominadas, de proyectos comprenden la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR) de la ITU, las Conferencias Regionales y las Comisiones de Estudio relacionadas. Otras actividades son los proyectos emprendidos por organismos internacionales tales como: la Organización Mundial del Comercio y la Organización de Aviación Civil Internacional, así como organizaciones de carácter regional y los acuerdos bilaterales entre países. En particular las primeras, conferencia regionales y mundiales, permiten socializar los posibles cambios en asignación de frecuencias, la nueva capacidad tecnológica, las dinámicas de demanda de los servicios y las soluciones planteadas en lugares específicos por las Agencias de Regulación Nacional (ARN) y los grupos de trabajo regionales, tal como se muestra en la Figura 9.

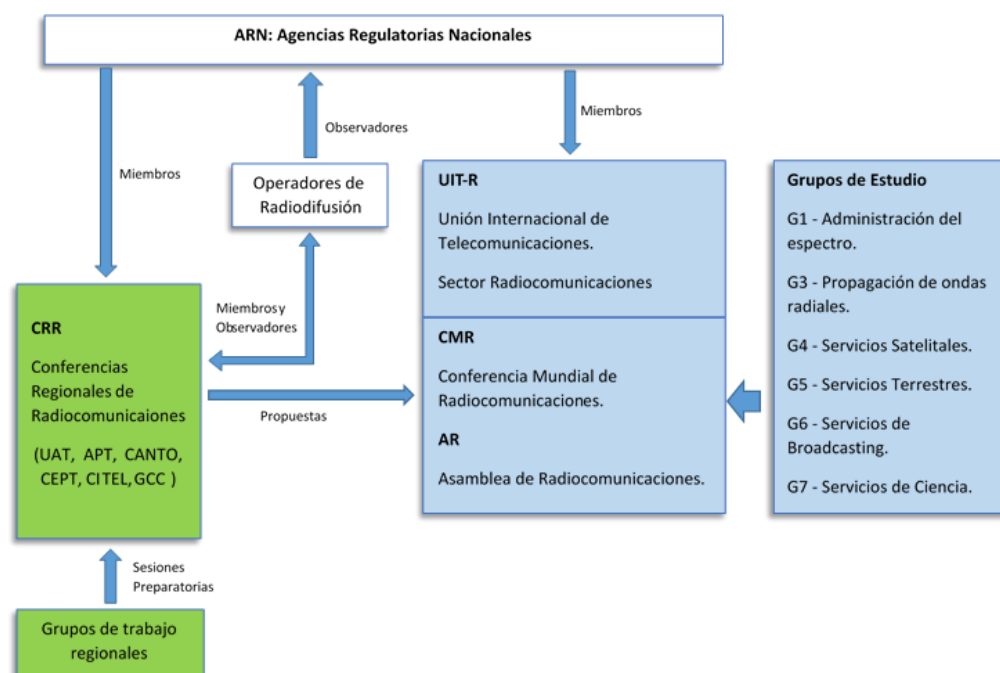


Figura 9. Esquema preparación para las CMR. Los autores, basado en esquema preparación CEPT.

La agenda de la conferencia mundial incluye la discusión de las propuestas de uso de espectro generadas y analizadas en los escenarios nacionales y regionales, a partir de estas propuestas la CMR define el posible uso para una porción del espectro en cierta

región e invita a generar los estudios y acuerdos para ser evaluados en las sesiones preparatorias y finalmente en la siguiente CMR en búsqueda de la atribución definitiva.

### **3.2 Buenas prácticas nacionales**

A partir del cuadro internacional de frecuencias del reglamento de radiocomunicaciones de la ITU, los países conforman los cuadros nacionales de espectro. La legislación y regulación nacional se basa en las decisiones tomadas en consenso durante las conferencias mundiales de radiocomunicaciones, sin embargo, es potestad de cada nación el modo en que regula localmente la gestión del espectro “en función de las circunstancias constitucionales de cada país, sus sistemas jurídico y político, y posiblemente su estado de desarrollo y la naturaleza de la demanda de espectro” (Cave, Jones, & Foster, 2009).

Esta gestión también se ve orientada por las denominadas buenas prácticas, que son las experiencias positivas que se han dado en países de las diferentes regiones de la ITU, en general basadas en el modelo conocido como mando y control. Y en las que se destacan:

- Creación de entidades reguladoras del espectro (ANR), independientes o como parte del gobierno).
- Asignación de licencia de uso del espectro y gestión de frecuencias, partiendo de la separación de servicios considerados como fundamentales (Servicios de defensa, aeronáutica civil, servicios de emergencia y seguridad, aplicaciones científicas, servicios marítimos, radionavegación por satélite). Y asignación a otros servicios a partir de métodos administrativos y de mercado. Los primeros orientados a la reglamentación técnica y preservación de la integridad de los sistemas, los segundos dominados por las necesidades económicas y el aprovechamiento del uso comercial del espectro, en su mayoría asignación a través de subastas.
- Constante comprobación y medición del uso presente y futuro del espectro. Para determinar los posibles cambios en las atribuciones basados en:
  - Cambio de las condiciones técnicas asociadas a las asignaciones de frecuencias.
  - Cambio de aplicación (sistema de radiocomunicaciones concreto que utiliza la banda).
  - Cambio de la atribución, para que la banda sea utilizada por un nuevo servicio de radiocomunicaciones.

En este sentido, para LTE y TDT, la ITU ha generado las recomendaciones de acuerdo a las expectativas de tráfico de cada uno de los servicios (ITU, 2013) y se han acordado las atribuciones generales de espectro compatible con cada uno de los servicios (ITU, 2006) (ITU, 2013).

### 3.3 Espectro para LTE

Se han definido diversas bandas de operación que se seleccionan de acuerdo a la región de servicio de LTE. En la Tabla 5 y Tabla 6 se presentan las bandas más usadas.

Tabla 5. Bandas más usadas LTE FDD

LTE FDD
700 MHz Banda 28
800 MHz Banda 20
1800 MHz Banda 3
2600 MHz Banda 7
AWS 1700 MHz UL y 2100 MHz DL Banda 4

Tabla 6. Bandas más usadas LTE TDD

LTE TDD
2300 MHz Banda 40
2600 MHz Banda 38

En Colombia se han seleccionado para asignación las siguientes bandas: banda 4 o AWS (frecuencias 1700 MHz para el UL y 2100 MHz para el DL), banda 7 (frecuencias de 2600 MHz) y banda 28 o APT (primer dividendo digital en las frecuencias de 700MHz).

En la conferencia mundial de radiocomunicaciones desarrollada en el mes de noviembre de 2015 (CMR-15) se identificó el uso futuro de la sub-banda UHF de 614 a 698 MHz para sistemas IMT-2000, incluido sistema LTE, está propuesta fue liderada por Colombia con el apoyo de la CITELE. De acuerdo a la resolución 224 rev CMR-15, “En Bahamas, Barbados, Belice, Canadá, Colombia, Estados Unidos y México, la banda de frecuencias 614 a 698 MHz, o partes de esta, está identificada para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales. Esta identificación no impide la utilización de estas bandas de frecuencias por cualquier otra aplicación de los servicios a los que está atribuida, ni establece prioridad alguna en el RR. Las estaciones del servicio móvil de los sistemas IMT que funcionan en esta banda de frecuencias están sujetas a la obtención del acuerdo en la próxima CMR y no causarán interferencia perjudicial a los servicios de radiodifusión de los países vecinos, ni reclamarán protección contra los mismos.” (ITU, 2015)

### 3.4 Espectro TDT en Colombia.

El servicio de televisión analógica operaba originalmente en la banda VHF desde la frecuencia 54 MHz a 216 MHz (Canales 2 al 13) y en la banda UHF desde la frecuencia 470MHz a 806 MHz (Canales 14 al 69). En Colombia, siguiendo las recomendaciones de la ITU, se estructuró un plan de liberación de los canales 52 al 69 (banda de 700 MHz) para su asignación en el sistema IMT, entre ellos LTE. Para esto se definió, en el año 2014, el Plan técnico de televisión (PTTV) que fue adoptado con la resolución 419 de 2014 de la ANE, el cual fue actualizado en junio de 2016 mediante la resolución 405 de 2016. De este modo se pretende que para el año 2019 se complete en Colombia la transición total a la TDT, con posibles asignaciones de frecuencias de los canales 2 al 51 (CRC, 2013). La especificación técnica para los equipos de recepción de la señal de DVB-T2 exige que los equipos soporten las bandas de operación VHF (54-72MHz, 76-88MHz, 174-216MHz) y UHF (470MHz- 698MHz).

El PTTV describe la planeación de frecuencias durante la fase denominada *simulcast* (de convivencia entre la televisión analógica, televisión digital y otros sistemas), el cronograma para el apagón analógico y la reordenación de frecuencias posterior al apagón. En la primera fase de *simulcast* (véase

Figura 10), que se extiende hasta diciembre del año 2019, se propuso maximizar el uso inicial de canales inferiores al 36, para reducir el número de resintonizaciones en la fase posterior al apagón, la cual iniciaría en enero del año 2020.

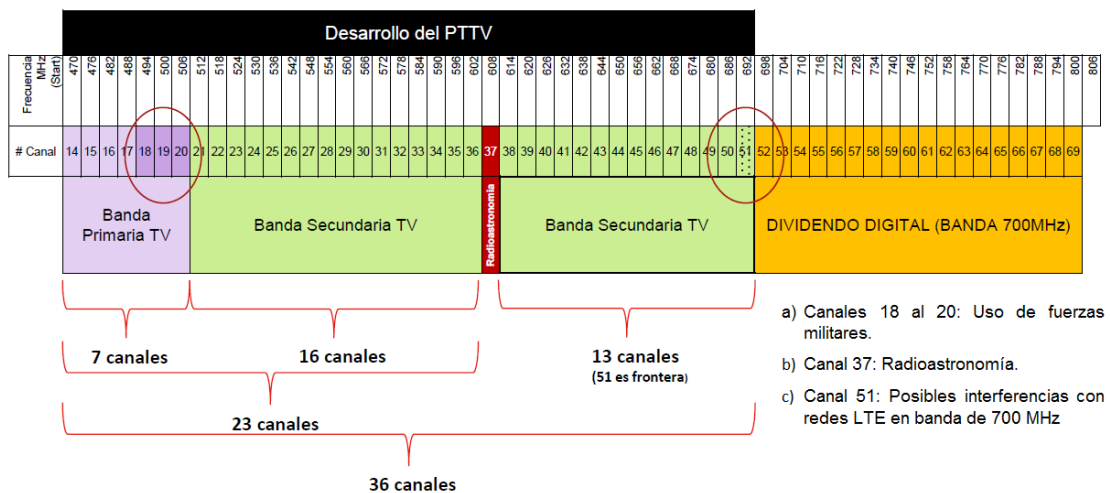


Figura 10. Desarrollo del PPTV simulcast. (ANE, 2014)

En la Figura 11 se presenta la asignación de canales propuesta en el PPTV para la fase post-apagón.



Figura 11. Desarrollo del PPTV post apagón. (ANE, 2014)

### 3.5 Servicio de Radioastronomía

Uno de los servicios que puede ser afectado negativamente por los sistemas DVB-T2 y LTE en la sub-banda de 614 a 698 MHz es el Servicio de radioastronomía (SRA), debido a que sería una posible frontera entre estos servicios y requiriendo de una protección especial por parte de las administraciones. El SRA está definido por la ITU como “la astronomía basada en la recepción de ondas radioeléctricas de origen cósmico” y como lo señala el Observatorio Nacional de Radioastronomía (NRAO) de los Estados Unidos de América, este servicio permite “estudiar fenómenos astronómicos que a menudo son invisibles o están ocultos en diferentes porciones del espectro electromagnético” (NRAO, 2016).

#### 3.5.1 Espectro para el servicio de Radioastronomía

El SRA opera en diversas bandas para radiómetros terrestres y espaciales, generalmente hasta los 3000GHz, las mediciones de radioastronomía terrestres se realizan en frecuencias entre 2MHz y 800GHz. (ITU, 2003), en este rango de frecuencias y ante el creciente uso del espectro radioeléctrico se incrementan las posibilidades de interferencia que pueden perjudicar los servicios SRA (ITU, 2015), especialmente por la alta sensibilidad del sistema, requerida para detectar señales muy débiles.

En Colombia una de las frecuencias más críticas atribuidas para el servicio SRA está en la banda de 600 MHz, específicamente en el canal 37 (608 – 614MHz), este canal representa



una frontera entre los servicios de televisión digital terrestre y un probable uso por parte de los sistemas IMT.

Para el SRA se definen umbrales de tolerancia a la interferencia de otros sistemas radiantes a partir de la sensibilidad del sistema de observación de radioastronomía, sin embargo, los límites de sensibilidad de la mayoría de las observaciones de radioastronomía corresponden a niveles muy bajos de densidad de flujo de potencia (*dfp*) comparados con la recepción de señales de radiocomunicaciones (ITU, 2006). Esta sensibilidad en el sistema SRA se define como “el cambio más pequeño  $\Delta P$  en el nivel de potencia en la entrada del radiómetro que puede, con gran certeza, ser detectado y medido” (ITU-R RA.769). La ecuación de sensibilidad es,  $\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\Delta f_0 t}}$ , donde  $\Delta P$  y  $P$  se refieren a potencias de ruido,  $\Delta f_0$  corresponde al ancho de banda y  $t$  al tiempo de integración.

La interferencia que es capaz de percibir el sistema SRA puede ser resultado de las emisiones perjudiciales de servicios en bandas adyacentes, cercanas o de bandas relacionadas por armónicos (ITU, 2015). En la recomendación ITU-R RA.769 se definen los criterios de protección usados para las mediciones de radioastronomía ante estas interferencias. De acuerdo con esta recomendación, la interferencia se puede expresar en términos de la potencia de entrada del receptor en (dBW), la *dfp* en (dB(W/m<sup>2</sup>)) y la densidad espectral de flujo de potencia (*defp*) en (dB (W/ (m<sup>2</sup> · Hz))), para mayor facilidad al comparar o evaluar otros sistemas en la recomendación ITU-R RA.2131 se propone también expresarlos en términos del campo eléctrico en (dB(μV/m)).

Dentro de las frecuencias menores a 1GHz, se realizó el compendio de los umbrales permitidos en las recomendaciones citadas, los cuales se presentan en la

Tabla 7.

Para obtener estos valores, se asumió una antena con ganancia 0, en la dirección de incidencia de la interferencia, igual a la de una antena isotrópica, solo se evaluaron tiempos de integración de 2000 segundos y el criterio de interferencia considerado como perjudicial corresponde a niveles que introducen un error no mayor al 10% en la medición de  $\Delta P$ .

Tabla 7. Umbrales de interferencia perjudicial a observaciones de radioastronomía

<b>Banda Radioastronomía</b>	<b>Potencia de entrada (dBW)</b>	<b>Densidad de flujo de potencia (dB(W/m<sup>2</sup>))</b>	<b>Densidad espectral de flujo de potencia (dB (W/ (m<sup>2</sup> · Hz)))</b>	<b>Campo eléctrico (dB(μV/m)).</b>
13.36-13.41 MHz	-185	-201	-248	-55.2
25.55-26.70 MHz	-188	-199	-249	-53.2
73.0-74.6 MHz	-195	-196	-258	-50.2
150.05-153.0 MHz	-199	-194	-259	-48.2
322.0-328.6 MHz	-215	-204	-258	-43.2
406.1-410.0 MHz	-203	-189	-255	-43.2
608-614 MHz	-202	-185	-253	-39.2

Fuente: (Extraído de ITU-R RA.769 e ITU-R RA.2131)

Para otros tiempos de integración se debe ajustar la Tabla 7 en cada término, de manera que se tiene los valores de la Tabla 8:

Tabla 8. Valores de ajustes tablas umbrales Rec. ITU-R RA.769

<b>Tiempo de integración</b>	15 m	1 h	2h	5h	10 h
<b>Ajuste en dB</b>	+1.7	-1.3	-2.8	-4.8	-6.3

Fuente: (Extraído de ITU-R RA.769 e ITU-R RA.2131)

Se debe resaltar que la variedad de observaciones en radioastronomía requiere distintos tiempos de integración, distintos períodos de grabación ininterrumpida, a veces de varias horas o días (ITU, 2003). Por lo que no se pueden superar pérdidas considerables de datos en los lapsos utilizados. Por esta razón se introduce un criterio adicional en la recomendación ITU-R RA.1513 que se refiere a la pérdida de datos, es decir, a los datos que tienen que ser descartados debido a que están afectados por la interferencia combinada, a partir de una o más fuentes que sumadas superen los niveles de la recomendación ITU-R RA.769. Para la evaluación de la interferencia, se considera que la pérdida de datos de cualquier sistema debe ser significativamente menor que 5%. Para cumplir con este requisito, el 2% por cada sistema es un límite práctico (ITU, 2015).

Para poder evaluar estas probabilidades se han utilizado varios métodos, por ejemplo, el método de Monte Carlo, y así determinar la distancia de separación adecuada entre los sitios de radioastronomía y un agregado de estaciones móviles terrestres (ITU, 2015). Se han desarrollado estudios de compatibilidad electromagnética entre los servicios SRA y los

servicios IMT en las bandas 608-614 MHz, 1330-1400 MHz, 1400-1427 MHz, 1610.6-1613.8 MHz, 1660-1670 MHz, 2690-2700 MHz, 4800-4990 MHz and 4990-5000 MHz, la metodología empleada y los resultados están contenidos en el reporte ITU-R RA.2332. Para las frecuencias estudiadas, este reporte, plantea dos escenarios generales: el primero con un solo elemento interferente y teniendo en cuenta los umbrales de dfp de la recomendación ITU-R RA.769 y un segundo escenario con agregación de sistemas interferentes y considerando el límite práctico de 2% de pérdida de datos. Para los estudios realizados se asumieron las características del sistema LTE indicadas en el reporte ITU-R M.2292.

En el caso particular de la banda 608 a 614MHz se establecieron los límites que se relacionan en la Tabla 9 y en la Tabla 10, para cada uno de los escenarios.

Tabla 9. Resultado estudios SRA-IMT: distancias de separación, límites dep, un solo interferente.

Nivel de emisión no deseada IMT (dBm/MHz)	Banda SRA (MHz)	Rec. RA.769 (dBW)	Separación UE (km)	Separación BS (km)	Límite dep UE (dBm/MHz)	Límite dep BS (dBm/MHz)
-30	608-614	-202	14	68	-78	-106
-50	608-614	-202	5	44	-78	-106

Fuente: (Extraído de ITU-R M.2292)

El reporte concluye que teniendo en cuenta varios niveles de emisiones no deseadas del sistema IMT de -50 dBm/MHz como servicio adyacente, existen distancias de separación del orden de 60-80 km entre las antenas SRA y la estación base IMT y distancias del orden de 1-20 km para las terminales móviles UE, asumiendo un terreno plano.

Tabla 10. Resultado estudios SRA-IMT: distancias de separación, límites dep, múltiples interferentes.

Nivel de emisión no deseada IMT (dBm/MHz)	Banda SRA (MHz)	Rec. RA.769 (dBW)	Separación UE (km)	Separación BS (km)	Límite dep UE (2% de pérdida) (dBm/MHz)	Límite dep BS (2% de pérdida) (dBm/MHz)
-30	608-614	-202	17	98	-60	-103
-50	608-614	-202	1	73	-60	-103

Fuente: (Extraído de ITU-R M.2292)

La documentación técnica relacionada sugiere varias posibilidades para reducir los efectos de la interferencia entre las que se encuentran:

- Adoptar una banda de guarda entre la frecuencia límite de SRA y el servicio IMT más cercano (ITU, 2014).
- Asignar el UL de IMT en la frecuencia más cercana al servicio SRA (ITU, 2014).
- Emplear filtros adicionales en los transmisores IMT para reducir los niveles de emisión no deseada y limitar el número de estaciones base IMT a las distancias sugeridas del sistema SRA (ITU, 2014).
- Reprogramar dinámicamente las observaciones del sistema SRA, para reducir los periodos de pérdida de datos, especialmente para frecuencias menores a 1GHz. (ITU, 2015).

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS SOBRE INTERFERENCIA Y COEXISTENCIA DE LOS SERVICIOS DE TDT Y LTE**

De acuerdo a las definiciones de la ITU, la interferencia se puede catalogar en tres niveles o clases.

- *Permitida*: corresponde a los niveles cuantitativos definidos en su reglamento con el fin de compartir y coordinar.
- *Aceptable*: niveles más allá de los límites de la interferencia permitida, pero acordada entre dos o más países para fines de una coordinación específica.
- *Perjudicial*: Es aquella que degrada, obstruye o interrumpe un servicio de radiocomunicación.

Adicionalmente según el origen y frecuencia de la señal interferente se pueden establecer dos tipos de interferencia:

- *Interferencia co-canal*: “Este tipo de interferencia se presenta en la misma banda de frecuencias de la señal útil” (Roig, Valenzuela, & Comes, 2003). Cuando dos transmisores de iguales o diferentes servicios envían información en la misma banda de frecuencia. Es un caso típico en la frontera de dos regiones o países que usen la misma canalización para dos servicios distintos.
- *Interferencia de canal adyacente*: “Este tipo de interferencia se presenta por una señal en una banda distinta a la de la señal útil” (Roig, Valenzuela, & Comes, 2003). Cuando dos servicios operan en canales de frecuencia cercanos. Por ejemplo, los servicios de LTE y TDT en un gran número de sus despliegues debido a la cercanía en las bandas de operación generadas como dividendo digital.

### **4.1 Parámetros para el estudio de interferencias**

De acuerdo a las recomendaciones técnicas de la UIT acerca de los criterios de implementación de los servicios de TDT y LTE y la revisión de los estudios de compatibilidad entre sistemas LTE y TDT realizados, se pudo determinar cuáles son los parámetros más

importantes para el desarrollo de esta investigación, representados en las siguientes variables: BER, BLER, ACLR, ACS, ACIR, la relación de protección PR, distancias de protección y las bandas de guarda para evaluar el desempeño de los servicios en operación y los despliegues de las redes. A continuación, se presentan las definiciones de estas variables:

- *Bit Error Rate (BER - Tasa de error binario)*. “Corresponde a la relación entre el número de bits de datos erróneos recibidos sobre el número total de bits recibidos” (Castro & Fusario, 1999). Se utilizan también mediciones específicas relacionadas, de acuerdo a la etapa de decodificación en la que se realiza la medida, y se describen de manera análoga para DVB-T y DVB-T2. Denominadas como Viterbi error rate (VBER) o tasa de error después del corrector de Viterbi y CBER tasa de error antes del corrector de Viterbi para DVB-T, y de manera análoga es posible medir el BER después de LDPC para el estándar DVB-T2. (Fischer, 2003)
- *Block Error Rate (BLER - Tasa de error de bloque)*: “Corresponde a la relación entre el número de bloques de datos erróneos recibidos sobre el número total de bloques recibidos” (Castro & Fusario, 1999). En LTE es ampliamente utilizado para verificar el desempeño de la capa física.
- *Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR – Tasa de fugas del canal adyacente)*: “Es una medida de desempeño de un transmisor relacionada con la capacidad de supresión de energía en el canal adyacente. El ACLR se define como la razón, en dB, de la potencia media de la señal generada integrada en su banda designada para la potencia media de emisiones en el canal adyacente.” (Sociedad Brasileira de Ingeniería de televisión, 2012)
- *Adjacent Channel Selectivity (ACS – Selectividad de canal adyacente)*: “Es un índice relacionado con la capacidad del receptor para recibir energía del canal y rechazar interferencias provenientes de frecuencias adyacentes.” (Sociedad Brasileira de Ingeniería de televisión, 2012)
- *Adjacent Channel Interference Ratio (ACIR – Tasa de interferencia del canal adyacente)*. “Es una función de los valores de ACLR y ACS, y representa la relación entre la potencia total transmitida de una fuente y la potencia total de la señal interferente que afecta a un receptor.” (Sociedad Brasileira de Ingeniería de televisión, 2012)

- *Protection ratio (PR - Relación de protección)*. Es el valor mínimo deseado de la relación de señal deseada-no deseada, usualmente expresado en decibeles a la entrada del receptor.” (ITU, 2013)
- *Banda de Guarda*. “Es la banda de frecuencias entre dos canales que proporciona un margen de seguridad para evitar interferencias entre ambos canales” (RAIN, 2015). La selección de la banda de guarda entre los servicios, constituye un aspecto fundamental para la concesión de porciones de espectro radio eléctrico, su definición inadecuada puede derivar en problemas considerables de interferencia si es muy pequeña o en desperdicio de espectro si es muy grande, particularmente, un detrimento económico teniendo en cuenta que en los procesos de adjudicación de espectro radio eléctrico en América Latina, de acuerdo al informe de 4G Américas, se han alcanzado valores cercanos a 10 millones de dólares por MHz.

#### **4.2 Casos de interferencia entre sistemas.**

Se puede establecer una descripción general de los casos de interferencia entre los sistemas LTE y TDT planteados en los estudios consultados, a partir de las siguientes definiciones:

1. *Estación de transmisión de DVB-T2 genera interferencia a los Nodos B evolucionados (eNB) de LTE*. Esta interferencia se puede presentar cuando el transmisor DVB-T2 opera fuera del área de cobertura de eNB de LTE es de tipo co-canal. O dentro del área de cobertura del LTE y es de tipo canal adyacente.
2. *Estación de transmisión de DVB-T2 genera interferencia a los terminales móviles o equipos de usuario (EU) de LTE*. Esta interferencia se presenta cuando el UE o el eNB se encuentran en localizaciones muy cercanas a la estación base DVB-T2 por debajo de 2km. Es de tipo canal adyacente.

En estos casos se ha observado que no se afectan los bloques de datos de LTE y el efecto adverso se da sobre los canales de control en el enlace de bajada PDCCH debido a que esta información de control se distribuye de manera uniforme en toda la banda.

3. *Estación Base (eNB) de LTE genera interferencia hacia receptor DVB-T2*. De manera análoga al caso anterior la mayor probabilidad de bloqueo o interferencia se da cuando



el receptor DVB-T2 se encuentra en cercanías al eNB de LTE. Particularmente cuando la estación eNB está en estado inactivo, donde sólo funcionan las señales de control y no hay tráfico útil transmitido, de modo que existe un mayor riesgo asociado al PAPR.

4. *Terminal Móvil UE de LTE hacia receptor DVB-T2.* En este caso se presenta una mayor probabilidad de interferencia en los bordes de la celda de LTE donde el UE requiere de la mayor potencia de transmisión para establecer el enlace con el eNB y puede ser considerablemente mayor a la potencia percibida por el receptor DVB-T2 especialmente en los últimos canales de TDT adyacentes a las frecuencias cercanas de LTE.

Otro de los elementos que incide en el fenómeno de interferencia y determina el caso a estudiar, es el modo de recepción del sistema víctima, este puede ser recepción interior (*indoor*) o exterior (*outdoor*). En la Figura 12 se exponen algunos de los casos de interferencia identificados en los estudios desarrollados.

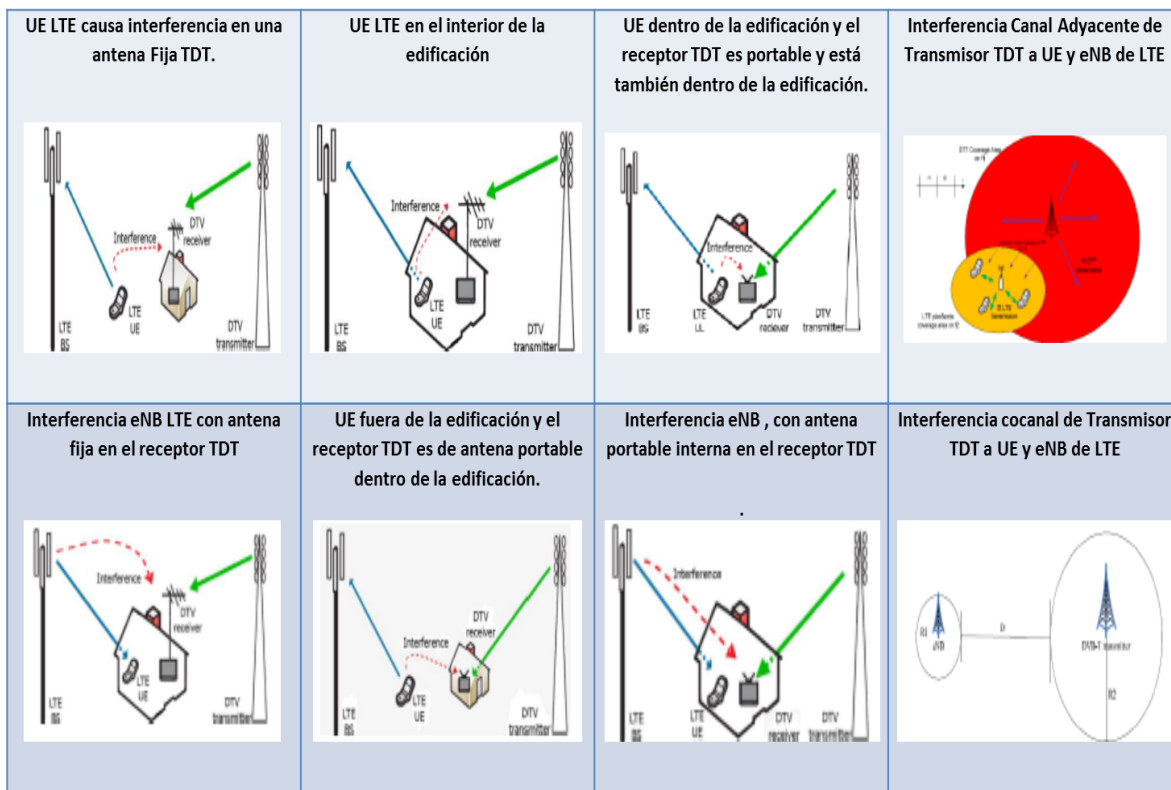


Figura 12. Escenarios de interferencia diversos estudios. (Garro, 2013) (ITU, 2013)

Los casos de interferencia analizados en los diferentes estudios, han sido construidos a partir de la combinación de los tipos de transmisión y recepción, también de la selección del sistema y elemento clasificado como interferente, y el sistema y elemento considerado como víctima. Teniendo en cuenta estas consideraciones se construyó la Tabla 11 con los posibles casos de interferencia de canal adyacente entre TDT y LTE.

Tabla 11. Casos generales de interferencia en canal adyacente LTE - TDT.

Caso	Elemento interferente	Tipo de transmisión	Elemento Víctima	Tipo de recepción
TDT a LTE				
1	Tx DVB-T2	Outdoor	eNB Rx LTE	Outdoor
2	Tx DVB-T2	Outdoor	UE Rx LTE	Indoor
3	Tx DVB-T2	Outdoor	UE Rx LTE	Outdoor
LTE a TDT				
4	eNB Tx LTE	Outdoor	Rx DVB-T2	Outdoor Antena Fija
5	eNB Tx LTE	Outdoor	Rx DVB-T2	Indoor Antena Portable
6	UE Tx LTE	Outdoor	Rx DVB-T2	Outdoor Antena Fija
7	UE Tx LTE	Indoor	Rx DVB-T2	Outdoor Antena Fija
8	UE Tx LTE	Outdoor	Rx DVB-T2	Indoor Antena Portable
9	UE Tx LTE	Indoor	Rx DVB-T2	Indoor Antena Portable

Fuente: Los autores.

Se consideró para el sistema DVB-T2, solo recepción en el terminal de televisión a través de una antena aérea de recepción en techo (antena fija) y una antena portable convencional para un televisor. No se incluye recepción en la estación de televisión debido a que se trata de un servicio de radiodifusión. Para el sistema LTE, se puso en consideración la recepción y transmisión, tanto en la estación base eNB como en el dispositivo móvil UE.

### 4.3 Análisis de los casos de estudio de coexistencia TDT y LTE

De igual forma, tomando en cuenta las estadísticas bibliométricas descritas en el Capítulo II se realizó el análisis de los diferentes estudios recopilados, que en su mayoría corresponden a la *Región 1. Europa*, dos a la *Región 3. Asia Pacífico* y tres relacionados con la *Región 2. Américas*, tal como se muestra en la Tabla 12, y se describen a continuación.

Tabla 12. Estudios seleccionados coexistencia DVB-T/T2 LTE

Región UIT	Título de trabajo	Año Publicación	País en Estudio
1	Coexistence simulation of DVB-T/T2 and LTE800 in Seamcat	2015	Eslovaquia
1	Influence of Mobile Network Interfering Products on DVB-T/H Broadcasting Services.	2012	Republica Checa
1	Assessment of DVB-T Compatibility with LTE in Adjacent Channels in 700 MHz Band.	2015	Lituania
1	Measured Interference of LTE Uplink Signals on DVB-T Channels.	2015	Italia
1	Assessment of LTE 800 MHz Base Station Interference into DTT Receivers.	2011	Reino Unido
3	Interference analysis in digital TV reception with LTE systems in adjacent bands in Australian Context.	2014	Australia
3	Protection Ratio between DVB-T2 and LTE Systems.	2014	Corea del sur
2	Estudios de Convivencia de Servicios de TDT con Servicios 4G LTE en las bandas de 450 MHz, 700 MHz y 800 MHz.	2013	Colombia
2	Frequency and Network Planning and Optimization of the Digital Terrestrial Television DVB-T2 Networks in Colombia.	2014	Colombia
2	Coexistencia entre servicios TDT y 4G en la banda de 700MHz.	2013	Colombia
2	Análisis de la situación actual y estudio de coexistencia de sistemas de radiodifusión y servicios LTE en la banda de 700MHz en Perú.	2015	Perú

Fuente: Los autores.

#### 4.3.1 Región 1. Europa

Uno de los países con mayor nivel de investigación relacionada con la operación de los servicios DVB-T y LTE es el Reino Unido. En el estudio titulado “*Assessment of LTE 800 MHz Base Station Interference into DTT Receivers*”, realizado para Ofcom (Regulador del espectro radioeléctrico del Reino Unido) en 2011, se presentan los resultados de la interferencia en la banda de 800MHz entre la tecnología LTE y la emisión de servicios en TDT que operan por debajo de los 790MHz.

La finalidad del estudio era la medición práctica de la relación C/I, para los rangos de los receptores TDT, para ello se debían cumplir las siguientes condiciones:

- Equipos receptores TDT con los estándares DVBT y DVBT2.
- Nivel de señal deseada en el receptor de 70, 50, 30, 20 y 12dBm.
- Evaluar los estados de full carga e inactividad en las estaciones de LTE.
- Evaluar el offset en frecuencia en rangos de 8MHz.

Para la configuración de la prueba se usaron dos tipos de sintonizador superheterodino (Can) y de silicio, tipo de receptor (iDTV, PRV, STB). La señal deseada TDT fue producida por un generador de señales configurado con los estándares DVB-T y DVBT2 con los parámetros establecidos por la ETSI, entre los que se destacan la modulación 64QAM y 256QAM, ancho de banda del canal de 8MHz y técnica de modulación COFDM. Las emisiones de la estación base LTE se usaron como fuente interferente situándose la señal en 800MHz, con ancho de banda de 10 MHz. Durante las pruebas realizadas se evaluaron dos estados: cuando existe el tráfico máximo (100% carga) y en inactividad (no hay tráfico en la estación base) en la red LTE. Estos dos estados se evaluaron ya que en TDT los receptores son más susceptibles en estado inactivo (idle), esto se debe a que no hay tráfico en la red y solamente están presente la señalización entre estación base y terminal.

Se determinó que cuando la estación base LTE está a full carga DVB-T2 es más susceptible a la interferencia y DVB-T cuando la estación base está en estado inactivo. El informe recomienda el uso de filtros a la entrada en los receptores TDT que tienen una relación señal a interferencia insuficiente (Parker & Munday, 2011).

Durante el año 2012 en la Universidad de Brno, República Checa, se realizó un estudio de la influencia de las redes móviles sobre los servicios DVB-T/H. Se exploró el impacto de la interferencia de las redes móviles sobre las portadoras TPS (Transmission Parameter Signallig) de los símbolos OFDM de DVB-T, debido a que estas contienen la información referente a la modulación, las tasas "*inner code rate*", el modo OFDM y el número de la trama, por lo tanto, un error provocado por la señal interferente sobre estas portadoras puede ocasionar que el receptor DVB-T no se sincronice adecuadamente (Polak, Kaller, Klozar, & Prokopec, 2012).

Como señal interferente, se seleccionó LTE y se introdujeron el primer y segundo armónico de un canal de 1.4MHz y el primer armónico de 3MHz. La señal interferida se definió en DVB-T como una señal con frecuencia en 778MHz, con ancho de banda 8MHz, OFMD en modo 8K, varios FEC *code rates* y una modulación de 64QAM. Se mantuvo constante el nivel de señal DVB-T, incrementando el nivel de la señal interferente. Teniendo un nivel mínimo a la entrada del receptor DVB-T de -76.9 dBm (8K, 64QAM, 2/3 *code rate*).

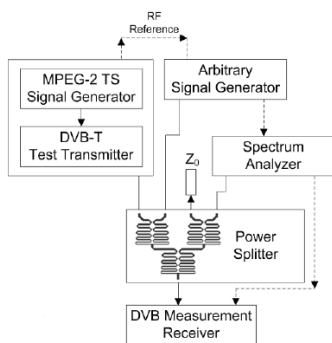


Figura 13. Diagrama de bloques pruebas estudio Polonia. (Polak, Kaller, Klozar, & Prokopec, 2012)

Para evaluar el efecto de la interferencia generada se utilizaron dos criterios: El QEF (*Quasi Error-Free*) o VER después de Viterbi (menor a  $2 \cdot 10^{-4}$ ) y el SSIM (*Structural Similarity*) que es un criterio subjetivo de la calidad del video, midiendo la relación de la señal DVB-T/señal interferente contra el ancho de banda de la señal interferente. No se obtuvieron resultados concluyentes, solo se menciona que una tasa de 2/3 FEC resultó como la de mejores medidas de calidad. (Polak, Kaller, Klozar, & Prokopec, 2012).

En el año 2015 se realizó en Eslovaquia un estudio de coexistencia para analizar las interferencias presentes entre los sistemas DVB-T/T2 y LTE en la banda de 800MHz. Se compararon los sistemas con una transmisión en el canal 60 con frecuencia de 786MHz y ancho de banda de 8MHz, versus el enlace de bajada *downlink* de LTE entre 791MHz y 821MHz, con una banda de guarda entre sistemas de 1MHz. (Sendrei, Felix, Oravej, & Marchevsky, 2015)

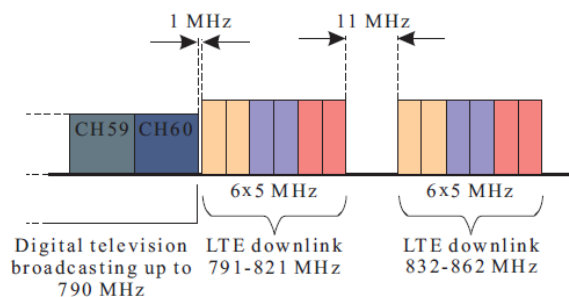


Figura 14. Asignación de frecuencia estudio Eslovaquia. (Sendrei, Felix, Oravej, & Marchevsky, 2015) .

Se estableció un ambiente de simulación y tres escenarios para las pruebas.

1. Interferencia causada por la estación LTE al receptor DVB-T. Sin filtros en DVB-T.
2. Interferencia causada por la estación LTE al receptor DVB-T. Con la aplicación una máscara de emisión SEM (Spectral Emission Mask) en la Estación LTE.
3. Interferencia causada por la estación LTE al receptor DVB-T. Aplicando un filtro en la entrada del receptor DVB-T.

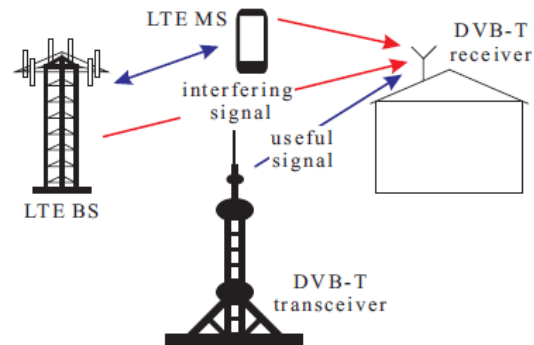


Figura 15. Ambiente de pruebas estudio Eslovaquia. (Sendrei, Felix, Oravej, & Marchevsky, 2015) .

Se realizó la medición de cuatro parámetros, a saber: valor medio DRSS (Desired Received Signal Strength) o C, valor Medio IRSS (Interfering Received Rignal Strength) o I, la relación Portadora-Interferencia C/I y la probabilidad de interferencia.

Para todos los casos se establecieron las características de transmisión de la estación base LTE y el sistema DVB-T fijas. El sistema LTE con modulación OFDMA para el enlace de bajada y un modelo de propagación Hata Extendido.

De acuerdo a los resultados de la simulación se estableció que “la mejor solución para mitigar las interferencias causadas por una transmisión LTE en un receptor DVB-T es la aplicación de un filtro variable que pueda suprimir efectivamente la señal interferente.” (Sendrei, Felix, Oravej, & Marchevsky, 2015)

En Lituania se publicó en 2015 una evaluación de la compatibilidad de sistemas DVB-T y LTE en canales adyacentes en la banda de 700MHz, se analizó la interferencia causada por un transmisor DVB-T a la estación base de LTE. En el estudio se evaluó la separación entre el transmisor TDT y la estación base LTE. Se analizaron el sistema LTE con FDD

2x30 MHz en la banda de 703 - 733MHz para el *uplink* y de 758 - 788MHz para el *downlink*, y el canal 48 DVB-T en la banda de 686 - 694MHz con ancho de banda de 8MHz. Como señal de referencia se tomó la máscara de recepción de LTE. (Ancans, Stankevicius, & Bobrovs, 2015)

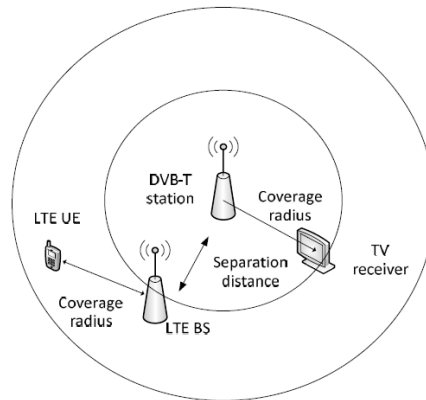


Figura 16. Escenario de simulación estudio Lituania. (Ancans, Stankevicius, & Bobrovs, 2015)

Para realizar las simulaciones se utilizaron dos métodos: MCL-Minimum Coupling Loss y la simulación Montecarlo mediante el software SEAMCAT. A partir del escenario planteado en la Figura 15 se establecieron la relación SINR (Signal to interference plus Noise Ratio) de la estación base LTE y el CQI (Channel Quality Indicator). Se concluyó a través del método MCL que se requiere una separación entre los transmisores DVB-T y LTE de 26.15 km y mediante la simulación Montecarlo se sugirió una distancia de 13km con una de aceptación de 4.8% del *throughput* de LTE. (Ancans, Stankevicius, & Bobrovs, 2015)

También en el año 2015, en Italia, se desarrolló un estudio de la medida de la interferencia de las señales del enlace de bajada de LTE en los canales DVB-T, particularmente se evaluaron los efectos generados por la señal interferente de una terminal UE de LTE en proximidad a un receptor DVB-T. Se utilizó el esquema de la Figura 17 para ejecutar las pruebas.

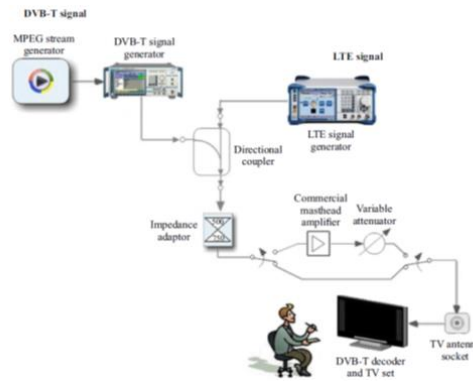


Figura 17. Esquema de pruebas estudio Italia. (Celedonio, Masullo, Pulcini, & Vaser, 2015)

La señal interferente proviene de una terminal UE de LTE transmitiendo en la banda de 832 - 862MHz en modo FDD, se consideraron tres frecuencias de portadora LTE uplink: 837MHz (832 - 842), 847MHz (842 - 852) y 857MHz (852 - 862). Las características de la señal de DVB-T fueron: Modulación 64QAM, FFT 8K, code rate  $\frac{3}{4}$ , Intervalo de guarda  $\frac{1}{4}$ , ancho de banda 8MHz, tasa de 22,39 Mbps. Se realizó la comparación entre 2 tipos de sintonizadores (CAN Tuner Superheterodino y Silicon Tuner) y el uso de un preamplificador de mástil “*Masthead Amplifiers*”.

Con el esquema propuesto se evaluó el PR midiendo el mínimo valor de potencia de LTE que afecta la calidad de video de DVB-T, un valor crítico de VBER de la señal víctima mayor a  $2 \times 10^{-4}$  después del decodificador de Viterbi o mayor a  $1 \times 10^{-11}$  después del decodificador RS, y el valor de la relación C/I donde la señal de TV se pierde.

Finalmente se concluyó que los sintonizadores Silicon tienen mejor comportamiento, un menor PR incluso en distancias cercanas a 1mt y con niveles altos de potencia de LTE. El estudio recomienda la aplicación de filtros pasa-bajos en el preamplificador de mástil. (Celedonio, Masullo, Pulcini, & Vaser, 2015)

### 4.3.2 Región 3. Asia Pacífico

En el año 2014 se realizó en Australia un trabajo acerca de la interferencia en la recepción de DVB-T con sistemas LTE en bandas adyacentes.



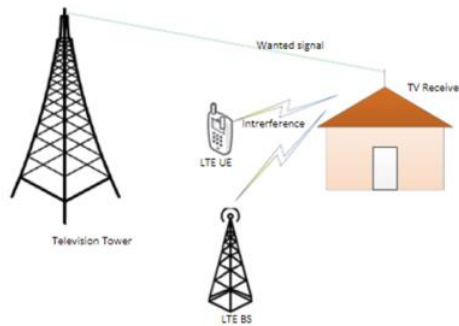


Figura 18. Escenario propuesto estudio Australia. (Basnet, Gunawardana, Biyanwilage, & Liyanapathirana, 2014)

Se analizó la interferencia percibida por un receptor DVB-T con una banda de guarda de 9MHz en el canal 51 (687 - 694MHz), generada por una señal LTE en 701MHz y anchos de banda para el UL y DL de 1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz.



Figura 19. Asignación de frecuencia estudio Australia. (Basnet, Gunawardana, Biyanwilage, & Liyanapathirana, 2014)

La interferencia total del sistema LTE a DVB-T se expresó a través del balance del enlace en términos de las potencias de transmisión de LTE sumado a las ganancias de las antenas menos el ACIR y la pérdida por trayectoria. El cálculo del ACIR se obtuvo de las medidas de ACR y ACLR. Y se utilizó la simulación Montecarlo para determinar la probabilidad de ocurrencia de interferencia inaceptable de LTE en un área de cobertura DVB-T.

Los resultados de las simulaciones dieron un valor de las distancias de protección, indicando que deben ser mayores a 669mts en entornos urbanos y 825mts en rurales entre el UE y una antena receptora DVB-T. Y de 4,91 km en entornos urbanos y 6,05 km en rurales para prevenir interferencia de la BS al receptor DVB-T. El estudio concluyó que el incremento en la separación entre el UE o BS de LTE reduce la interferencia en canales adyacentes y que existe una notable interferencia en el canal 51 cuando LTE está operando en el canal adyacente.

En la misma región de Asia Pacífico se publicó, en el año 2014, un estudio acerca del PR entre los sistemas DVB-T2 y LTE en Corea del sur, el cual se centró en la determinación de la banda de guarda cuando existe una separación menor a 1 o 2MHz entre los sistemas DVB-T2 y LTE. Para este propósito se planteó el esquema de la Figura 20.

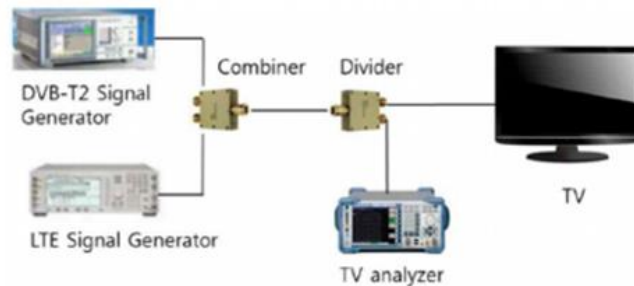


Figura 20. Configuración del sistema para medida estudio Corea del Sur. (Hong, Son, & Chong, 2014)

EL método usado en el estudio para determinar el error en la señal de TV fue el SFP. Se establecieron los parámetros para el sistema DVB-T2 con modulación 256 QAM, *code rate* 2/3, intervalo de guarda 1/16 y ancho de banda de 6MHz. Y para el sistema LTE ancho de banda de 10MHz, se realizaron pruebas con la estación base y el UE de LTE en estados Idle y de carga completa y se varió la potencia de LTE recibida en el Televisor en valores de -40,-30,-20 y -15 dBm. De igual forma se modificó la banda de guarda entre los sistemas desde 1MHz hasta 13MHz.

Se tomó la medida de los PR entre DVB-T2 y LTE ante las variaciones y se calcularon los valores de ACS y ACLR. El estudio concluyó que “el valor del ACLR tiene mayor efecto en el PR cuando la banda de guarda entre sistemas es más pequeña que 1 o 2 canales de DVB-T2”. (Hong, Son, & Chong, 2014).

### 4.3.3 Región 2. Américas

En Latinoamérica, específicamente en el caso colombiano, se analizaron tres estudios realizados por la Universidad Politécnica de Valencia, en asocio con Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia ITEAM y con participación de la ANE, los cuales fueron desarrollados entre los años 2013 a 2014. Estos exploraron la coexistencia de servicios TDT y LTE en Colombia, particularmente en la banda de 700MHz (Figura 21),

analizaron varios escenarios, pero se enfocaron en dos escenarios que fueron determinados como los más críticos.

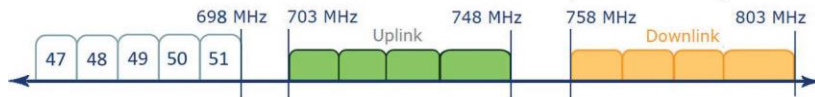
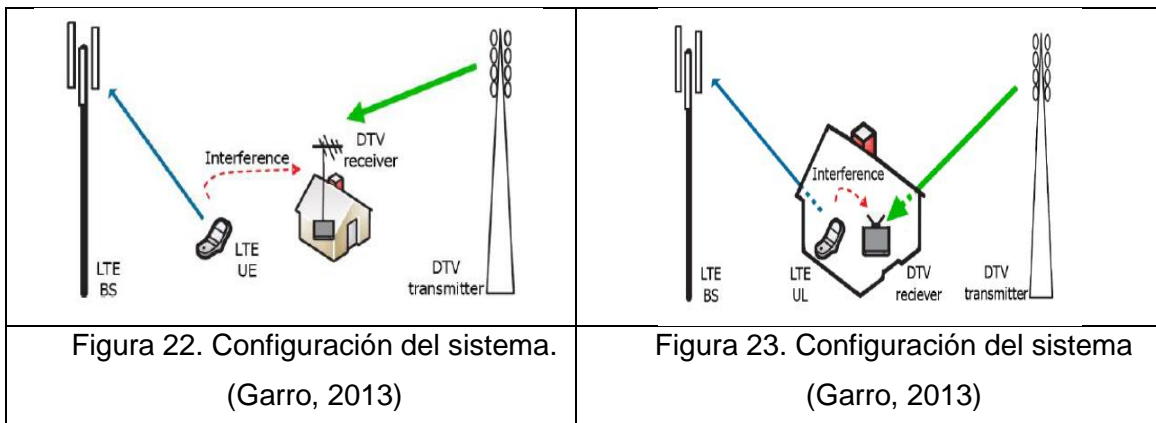


Figura 21. Localización en bandas de frecuencia 700 MHz TDT y LTE. (Fuentes, 2013)

El primero con UE de LTE fuera del edificio y la TDT con una antena fija en la parte externa del edificio. El segundo con UE LTE dentro del edificio en la misma habitación que el receptor TDT. El receptor TDT con antena móvil dentro del edificio.



En estos escenarios, el primero hace referencia a ambientes rurales y el segundo a entornos urbanos. Además, son considerados en el borde de la celda donde el UE transmite con la máxima potencia para alcanzar el eNodeB (23dBm) y el receptor TDT reciba la mínima potencia posible. El estudio fue realizado en ambientes controlados de laboratorio y dichos casos son los de más gravedad porque las antenas del UE y el receptor TDT se encuentran en línea de vista directa, haciendo que la afectación sea mayor que en los otros escenarios. Sin embargo, en ambientes *indoor* es donde el problema se hace aún mayor en razón a que el receptor TDT tiene pérdidas por la penetración que debe hacer la señal y el transmisor UE está más cerca de la antena y adicionalmente debe usar la máxima potencia para comunicarse con el eNodeB debido a las atenuaciones presentadas por la edificación (Garro, 2013).

El objetivo de los estudios estaba relacionado con la medición del PR entre los sistemas LTE y DVB-T, y el estudio del impacto de los siguientes parámetros: carga de tráfico de LTE, el ancho de banda de LTE y el enlace origen de la interferencia UL y DL. Se observó mayor incidencia en el nivel de interferencia generado por el enlace UL de LTE y cuando existe baja carga de tráfico en la celda, adicionalmente un ancho de banda mayor de LTE producía mayores niveles interferencias y la recepción *indoor* fue la que resulto más afectada, nuevamente por el enlace de subida UL.

Las soluciones planteadas fueron no usar el canal 51 para TDT, ampliar la banda de guarda hasta 11MHz con el canal 50 y/o utilizar filtros en el receptor TDT, adicionalmente se fijaron distancias mínimas entre el UE de LTE y el receptor TDT para garantizar el menor nivel de interferencia, de 5.8mts sin filtro y 2.7mts con filtro, para niveles normales de potencia del UE sin filtro la distancia mínima fue 0.4mts para ambiente rural y 0.15mts en ambiente urbano (Gómez-Barquero, López-Sánchez, Martínez, Ribadeneira-Ramírez, & Garro, 2014).

Reciente se encontró un estudio de la GSMA, publicado en el año 2015, denominado “Análisis de la situación actual y estudio de coexistencia de sistemas de radiodifusión y servicios LTE en la banda de 700MHz en Perú”. Para el caso peruano el estándar de televisión digital adoptado fue el ISDB-T brasilero, y la canalización de la banda de 700MHz corresponde a la propuesta por Asia pacífico (APT). En este estudio se realizaron pruebas de laboratorio para determinar los márgenes de protección y ponderar el nivel de interferencia considerando cuatro casos, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Casos de interferencia estudio de coexistencia Perú.

<b>Sistema Interferente</b>	<b>Sistema Victima</b>
Transmisor TV analógica	Estación base LTE
Transmisor TV Digital	Estación base LTE
Terminal LTE	Receptor TV analógica
Terminal LTE	Receptor TV digital

Fuente: (GSMA LA., 2015)

Se evaluó el límite del canal de televisión 51 y el UL del sistema LTE y se realizaron mediciones de los margenes de protección y umbrales de saturación, a través del método de fallo de punto subjetivo. Se consideraron distancias de “10km de separación entre la estación transmisora de TV y la estación base LTE, 100mts entre una estación base LTE y

un receptor de TV con antena en tejado y 10mts entre un terminal de usuario LTE en exterior y un receptor de TV con antena en tejado” (GSMA LA., 2015). Se evaluaron como técnicas de mitigación el uso de filtros, ampliación de la banda de guarda, ampliación de la separación geográfica y reducción de potencia de los transmisores de televisión.

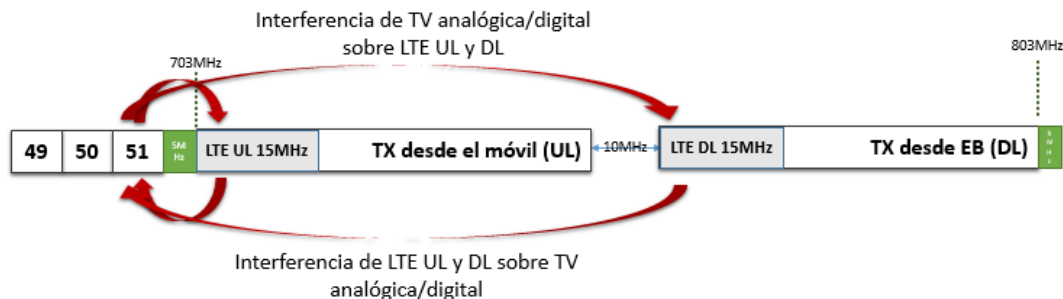


Figura 24. Escenario de convivencia de servicios en bandas adyacentes Perú. (GSMA LA., 2015)

Se recomendó de manera general la eliminación del canal 51, es decir 6MHz de banda de guarda entre sistemas, combinada con el uso de filtros, sin embargo se sugirió que estos filtros deben incluir un análisis económico debido al impacto sobre operadores y usuarios. Además, se determinó una distancia mínima de 7,7mts entre una terminal LTE y el receptor TDT.

#### 4.4 Distribución y asignación de los canales UL y DL

De igual forma, a partir del análisis de los estudios desarrollados en las diferentes regiones del mundo, se pudo establecer que las primeras investigaciones se basaban en una matriz de recomendaciones enfocadas exclusivamente en las modulaciones utilizadas, la recomendación asociada era la ITU-R SM.669-1 “*protection ratios for spectrum sharing investigations*” elaborada entre 1990 y 1994, en esta recomendación y los estudios generados se prestaba poca atención a los requerimientos de los servicios y la operación en frecuencia. El desarrollo de posteriores investigaciones y la socialización de las mismas permitieron determinar que los estudios de espectro compartido deberían enfocarse en las bandas de operación y las características particulares de cada sistema involucrado, como se señala en (Celedonio, Masullo, Pulcini, & Vaser, 2015), “los estudios de hoy se centran en los requerimientos de servicio y bandas de frecuencia específicas”.

En este sentido se pudo determinar que como elemento fundamental de los estudios, se necesita conocer e identificar claramente la distribución y asignación del espectro para los

servicios en cada región y en cada país, conocer ¿En qué frecuencia de operación los servicios de DVB-T/T2 y comunicaciones móviles LTE se encuentran como adyacentes? y específicamente ¿Cuál es el enlace de LTE que está más cercano en frecuencia a DVB-T/T2?, es decir, de acuerdo a la canalización, establecer si el enlace de subida *UL* o el enlace de bajada *DL* tiene mayor probabilidad de incidencia o afectación respecto a DVB-T/T2.

#### 4.5 Máscara de Emisión Espectral

Otro de los aspectos comunes encontrado entre las publicaciones de las investigaciones consultadas, es la utilización de valores de referencia para ser comparados durante las pruebas o simulaciones propuestas, estos valores se obtienen a partir de una señal de referencia que en general corresponde a una máscara espectral de la que se definen dos tipos: máscara de emisión espectral (SEM) y máscaras de recepción o bloqueo. La máscara de emisión espectral define los límites que debe tener una señal al ser emitida en el transmisor y que se puede caracterizar en los siguientes parámetros:

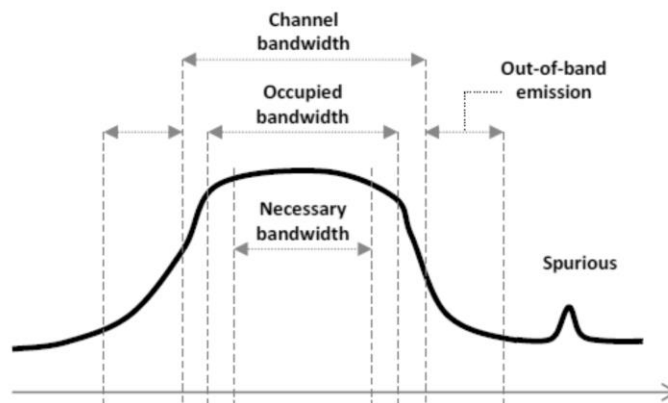


Figura 25. Máscara de emisión espectral. (CEPT & ECC, 2016)

- *Ancho de banda Necesario:* Ancho de banda en frecuencia el cual es teóricamente suficiente para asegurar la transmisión de la información (CEPT & ECC, 2016).
- *Ancho de banda de ocupado:* ancho de la banda en frecuencia tal que, por debajo de la parte inferior y por encima de los límites de frecuencia superior, las potencias medias emitidas son iguales a un porcentaje especificado  $\beta/2$  de la potencia media total. El valor de  $\beta/2$  se considerará como 0.5% (CEPT & ECC, 2016).

- *Emisiones fuera de banda*: emisión en las frecuencias situadas inmediatamente fuera del ancho de banda del canal que son resultados de proceso de modulación y de la no linealidad en el transmisor, no se incluyen las emisiones espurias (CEPT & ECC, 2016).
- *Emisión espuria*: emisión en frecuencias fuera del ancho de banda del canal y que su nivel puede reducirse sin afectar la correspondiente transmisión de información, no se incluyen emisiones fuera de banda (CEPT & ECC, 2016).
- *Emisiones no deseadas*: consisten en emisiones fuera de banda y emisiones espurias (CEPT & ECC, 2016).

El ancho de banda necesario se considera en las mediciones para determinar el máximo nivel de interferencia co-canal que es aceptable por el receptor y el ancho de banda ocupado se usa para determinar en cual parte del canal se concentra el 99% de la potencia transmitida (CEPT & ECC, 2016).

#### **4.6 Métodos de evaluación de Interferencia**

En cuanto a los métodos de análisis utilizados en las investigaciones se hace recurrente las propuestas de trabajo apoyadas en las pruebas de punto de fallo subjetivo y el uso del método Montecarlo a través de la herramienta de simulación SEAMCAT y las herramientas denominadas *Software Defined Radio* (SDR).

##### **4.6.1 Método de punto de fallo subjetivo**

El método de punto de fallo subjetivo (SFP) se relaciona con la medición práctica de la interferencia generada sobre los sistemas de TDT, se encuentra especificado en las recomendaciones ITU-R BT.1368-9 e ITU-R BT.2215, y se encontró como desarrollo común en los estudios realizados en Corea del sur (Hong, Son, & Chong, 2014), Italia (Celedonio, Masullo, Pulcini, & Vaser, 2015), Colombia (Fuentes, 2013) y Perú (GSMA LA., 2015). El método de acuerdo a las recomendaciones de la ITU consiste en evaluar la calidad de la imagen mediante observación al variar los valores de potencia de la señal interferente:

El método de punto de fallo subjetivo corresponde a la calidad de la imagen en la que no se distingue más de un error en la imagen, durante un periodo medio de observación de 20 segundos. El ajuste de los niveles de las señales deseada y no deseada para el método de punto de fallo subjetivo debe realizarse en pequeños pasos, normalmente en pasos de 0,1

dB. Para un interferidor tipo ruido la diferencia en un valor de la relación *señal deseada/señal no deseada* entre el método casi sin error con una BER de  $2 \times 10^{-4}$  y el método de punto de fallo subjetivo es inferior a 1dB. Todos los valores de la relación de protección para señales de televisión digital deseadas se miden con una potencia a la entrada del receptor de  $-60$  dBm (ITU, 2006).

#### **4.6.2 Método Montecarlo**

El método Montecarlo es una metodología estadística para la simulación de procesos aleatorios tomando valores aleatorios de una función de densidad de probabilidad, se atribuye la invención del método a Stanislaw Uman y John Von Neuman quienes participaron en el proyecto Manhattan para desarrollo de armas nucleares en los años 40 en el laboratorio nacional de Los Alamos, EEUU. El nombre clave de Montecarlo fue propuesto por Nicholas Metrópolis, integrante del mismo proyecto, y hace referencia al casino Montecarlo en Mónaco. La capacidad de generar valores aleatorios y realizar cálculos de gran volumen para poder obtener los valores de probabilidad de ocurrencia de los eventos fue posible gracias a la creación de la primera computadora electrónica ENIAC (Metrópolis, 1987).

De acuerdo al informe ITU-R SM.2028-1 se tiene:

1. Esta metodología es adecuada para abordar los siguientes temas de la ingeniería del espectro radioeléctrico:
  - Estudios de compartición y compatibilidad entre distintos sistemas de radiocomunicaciones que funcionan, respectivamente, en la misma banda de frecuencias o en bandas adyacentes.
  - Evaluación de plantillas de transmisor y de receptor.
  - Evaluación de los límites de parámetros tales como niveles de señales no deseadas (no esenciales y fuera de banda), niveles de bloqueo y niveles de intermodulación.
2. El método Montecarlo puede aplicarse a casi todas las situaciones de interferencia de radiofrecuencia. La flexibilidad se logra por la forma en que se definen los parámetros del sistema. El formato de entrada de cada uno de los parámetros variables (diagrama de antena, potencia radiada, trayecto de propagación, etc.) es su función de distribución



estadística. Esto posibilita crear modelos hasta de situaciones muy complejas utilizando funciones elementales relativamente sencillas. Se pueden tratar varios sistemas distintos, tales como: de radiodifusión (terrenal y por satélite), móviles (terrenal y por satélite), punto a punto, punto a multipunto, etc. (ITU, 2002).

En este contexto y con el objetivo de desarrollar una herramienta avalada y de uso general para los estudios relacionados con interferencias el comité europeo de radiocomunicaciones desarrolló la herramienta SEAMCAT. Otras herramientas informáticas como ICS Telecom también han sido desarrolladas incluyendo este método.

## CAPÍTULO V. DISEÑO LOS AMBIENTES DE PRUEBA A SIMULAR.

En las siguientes secciones se exponen las definiciones de los escenarios en frecuencia desarrollados, los casos de interferencia seleccionados, las características de los sistemas involucrados para las simulaciones y los supuestos para la ejecución de las pruebas, este conjunto de elementos comprende los diseños de los ambientes de prueba para las simulaciones.

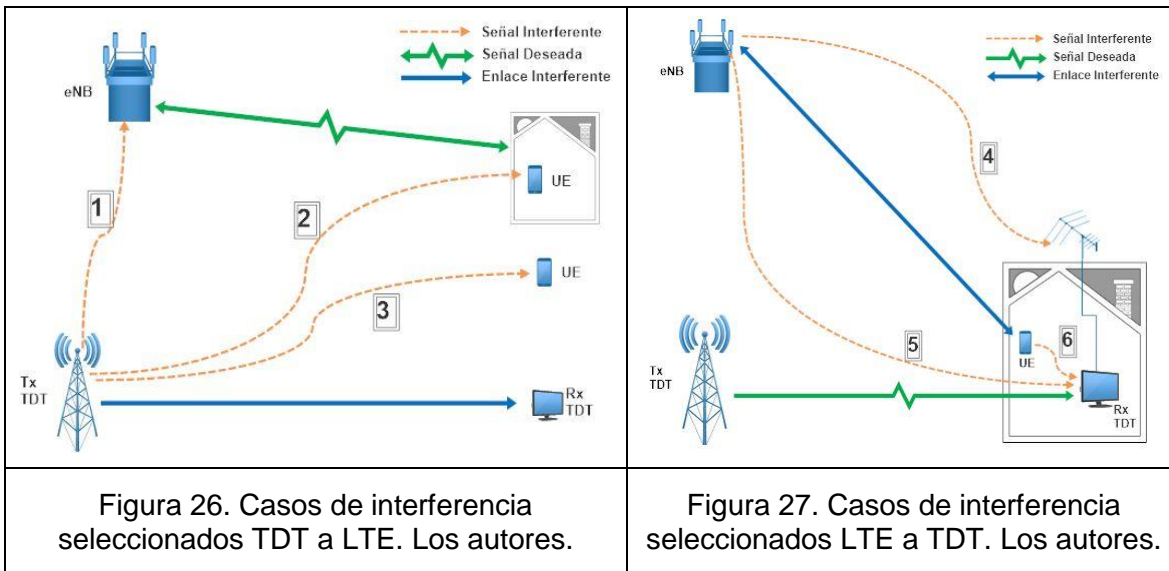
### 5.1 Casos de interferencia seleccionados

En la Tabla 11 de la sección 4.2 se presentaron todos los casos de interferencia que fueron puestos en consideración de los expertos de la ANE, quienes seleccionaron y sugirieron los seis casos de mayor interés, los cuales representan los más frecuentes y de mayor criticidad en Colombia (véase Tabla 14).

Tabla 14. Casos de interferencia seleccionados.

Caso	Elemento interferente	Tipo de transmisión	Elemento Víctima	Tipo de recepción
<b>TDT a LTE</b>				
1	Tx DVB-T2	Outdoor	eNB Rx LTE	Outdoor
2	Tx DVB-T2	Outdoor	UE Rx LTE	Indoor
3	Tx DVB-T2	Outdoor	UE Rx LTE	Outdoor
<b>LTE a TDT</b>				
4	eNB Tx LTE	Outdoor	Rx DVB-T2	Outdoor Antena Fija
5	eNB Tx LTE	Outdoor	Rx DVB-T2	Indoor Antena Portable
6	UE Tx LTE	Indoor	Rx DVB-T2	Indoor Antena Portable

Estos casos se pueden observar en la Figura 26 los casos de interferencia del sistema TDT a los receptores LTE y en la Figura 27 los casos de interferencia del sistema LTE sobre el receptor TDT.



## 5.2 Escenarios de interferencia en frecuencia

La asignación en frecuencia de los servicios TDT y LTE es fundamental para establecer una aproximación a los posibles escenarios de interferencia que se puedan presentar en las bandas aún no atribuidas de manera exclusiva para algún servicio. En este estudio se tomó como referente el PTTV de Colombia, expuesto en la sección 3.4, a partir del cual se los escenarios probables que fueron expuestos y validados en reuniones con algunos expertos de la ANE.

En el análisis, se consideraron las dos fases del PTTV: En primer lugar, se encontró que durante la fase de simulcast, el servicio de TDT opera principalmente del canal 42 al 50 (638-692MHz), donde estas frecuencias se encuentran reservadas en la mayoría de estaciones o municipios, para la operación del tercer canal nacional privado, algunas operaciones de canales regionales públicos y para transmisiones en localidades específicas de los canales nacionales privados de Caracol y RCN (Véase Anexo 2). En segundo lugar, se determinó que durante la fase post-apagón, tras la reorganización de frecuencias se genera una zona gris, aún sin asignación específica, en la sub-banda de 614 MHz a 698MHz (ANE, 2014). Tomando en cuenta esta información se definieron los siguientes escenarios de operación en frecuencia para la sub-banda en estudio.

### 5.2.1 Escenario A: fase simulcast, tercer canal nacional privado.

El primer escenario corresponde al supuesto de operación del tercer canal de televisión nacional privado en la fase simulcast, operando en diferentes municipios, a partir del canal 42 hasta el 50 (638-692MHz), y considerando como disponibles los canales comprendidos entre el 38 y 41 para servicios IMT (614-632MHz). En este caso se presenta un límite de interferencia por adyacencia entre TDT y LTE en la frecuencia de 638 MHz, como se observa en la Figura 28.

Canal	37	38	39		40		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Frecuencia Central (MHz)	611	617	623		629		635	641	647	653	659	665	671	677	683	689	695
Frecuencia Inicial (MHz)	608	614	620	625,4	626	628,6	632	638	644	650	656	662	668	674	680	686	692
Frecuencia Final (MHz)	614	620	625,4	626	628,6	632	638	644	650	656	662	668	674	680	686	692	698
Ancho del canal (MHz)	6	6	5,4	0,6	0,6	5,4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Ancho de banda del sistema (MHz)	6	24										54	6				
SISTEMA	RADIO- ASTRONOMIA	LTE						TDT						Canal de guarda			
ESCENARIO A1	RADIO- ASTRONOMIA	LTE UPLINK	[Hatched]		LTE DOWNLINK		TDT						Canal de guarda				
ESCENARIO A2	RADIO- ASTRONOMIA	LTE DOWNLINK	[Hatched]		LTE UPLINK		TDT						Canal de guarda				

Figura 28. Escenario A adyacencia LTE-TDT. Los autores.

De acuerdo con las recomendaciones de la ANE, aunque haya una práctica común de usar el Uplink de LTE en la frecuencia más baja, se consideró evaluar el intercambio de estos enlaces, debido a que en la sub-banda de 614 a 698MHz no existe una asignación definitiva en estos momentos.

### 5.2.2 Escenario B: fase post apagón, quinto canal nacional privado.

Otro escenario considerado, dependiendo de la apropiación y éxito de la TDT en Colombia, es la hipotética cesión de espacio para un quinto canal de televisión, en este caso se necesitarían al menos cuatro canales para este concesionario, y teniendo en cuenta que el PTTV actual sugiere la asignación de canales TDT en las frecuencias más bajas de la banda de TV, se plantea el uso de los canales comprendidos entre el 38 y el 41 de televisión (614-638MHz). Los restantes 24 MHz de la sub-banda, entre 638 y 698MHz, se destinarían para servicios IMT. De este modo, la zona de posible interferencia por adyacencia entre TDT y LTE estaría ubicada nuevamente en la frecuencia de 638 MHz, pero con TDT situado en la frecuencia inferior y LTE en la superior, cómo se expone en la Figura 29.

Canal	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51		
Frecuencia Central (MHz)	611	617	623	629	635	641	647	653	659	665	671	677	683	689	695		
Frecuencia Inicial (MHz)	608	614	620	626	632	638	644	650	656	662	668	674	680	686	692		
Frecuencia Final (MHz)	614	620	626	632	638	644	650	656	662	668	674	680	686	692	698		
Ancho del canal (MHz)	6	6	4	4	6	6	6	6	6	4,5	1,5	1,5	4,5	6	6		
Ancho de banda del sistema (MHz)	6	24								60							
SISTEMA	RADIO- ASTRONOMIA	TDT								LTE							
ESCENARIO B1	RADIO- ASTRONOMIA	TDT								LTE UPLINK				LTE DOWNLINK			
ESCENARIO B2	RADIO- ASTRONOMIA	TDT								LTE DOWNLINK				LTE UPLINK			

Figura 29. Escenario B adyacencia LTE-TDT. Los autores.

### 5.2.3 Escenario C: fase post apagón, sub-banda 614-698MHz para IMT.

El tercer escenario planteado, corresponde al uso exclusivo de la sub-banda 614-698MHz para alojar solo servicios IMT. En este caso se podría presentar interferencia de tipo canal adyacente generada por el sistema LTE hacia los sistemas de radioastronomía alojados en el canal 37 y con el sistema de LTE de 700MHz, en los extremos de la banda o límites de adyacencia en las frecuencias de 614MHz y 698MHz respectivamente, como se muestra en la Figura 30.

Canal	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	
Frecuencia Central (MHz)	611	617	623	629	635	641	647	653	659	665	671	677	683	689	695	701	707	713	719	725	
Frecuencia Inicial (MHz)	608	614	620	626	632	638	644	650	656	662	668	674	680	686	692	698	703	704	710	716	
Frecuencia Final (MHz)	614	620	626	632	638	644	650	653,9	656	658,1	662	668	674	680	686	692	698	703	704	710	
Ancho del canal (MHz)	6	6	6	6	6	6	6	3,9	2,1	3,9	6	6	6	6	6	6	1	6	6	6	
Ancho de banda del sistema (MHz)	6	84																			
SISTEMA	RADIO- ASTRONOMIA	LTE																			
ESC C1	RADIO- ASTRONOMIA	LTE UPLINK								LTE DOWNLINK				LTE UPLINK				LTE 700 UPLINK			
ESC C2	RADIO- ASTRONOMIA	LTE DOWNLINK								LTE UPLINK				LTE UPLINK				LTE 700 UPLINK			

Figura 30. Escenario C adyacencia LTE-SRA y LTE 600 – LTE 700. Los autores.

De los tres escenarios propuestos se seleccionaron solo el escenario A y el escenario B para las simulaciones, puesto que estos involucran a los servicios TDT y LTE. El escenario C, queda planteado para futuros estudios que involucren el sistema SRA. En el anexo 6 se presenta un ejercicio con las posibles opciones de canalización del servicio LTE en la banda de 600MHz, de acuerdo con los bloques conformados para cada escenario planteado.

A partir de los dos escenarios en frecuencia y los seis casos de interferencia, se configuraron en total 12 ambientes de prueba que fueron desarrollados en las simulaciones.

### 5.3 Criterio de interferencia

De acuerdo a los tipos de interferencia definidos en la introducción del capítulo IV, a los estudios citados de (Sendrei, Felix, Oravej, & Marchevsky, 2015), (Hong, Son, & Chong, 2014) y a la documentación técnica de la herramienta de simulación SEAMCAT (CEPT & ECC, 2016), se establecieron para las simulaciones los criterios contenidos en la Tabla 15, en términos de probabilidad de interferencia, con el objetivo de determinar los valores críticos de las variables usadas en las simulaciones. Considerando que un valor de probabilidad de interferencia superior al 5% implica una degradación considerable en el servicio y es el límite de mayor criticidad, probabilidades menores al 5% y superiores al 1% afectan el servicio, pero pueden ser tolerables u objeto de mitigación, y probabilidades de interferencia menores al 1% son permisibles.

Tabla 15. Criterio niveles de interferencia para simulaciones.

Interferencia	Probabilidad de interferencia
Permitida	$P_I < 1\%$
Aceptable	$1\% \leq P_I < 5\%$
Perjudicial	$P_I \geq 5\%$

La probabilidad de interferencia  $P_I$  se evalúa a partir de los niveles de sensibilidad, piso de ruido del receptor y la relación portadora a interferencia (*carrier to interference*) C/I. Un evento estimado como interferente se considera, como tal, cuando la relación C/I es menor que el valor mínimo permitido de acuerdo al establecido para el receptor del sistema víctima. En SEAMCAT el nivel de señal de la portadora C es denominado como *drss* o nivel de señal deseado y el nivel de señal de interferencia I es nombrado como *irss*.

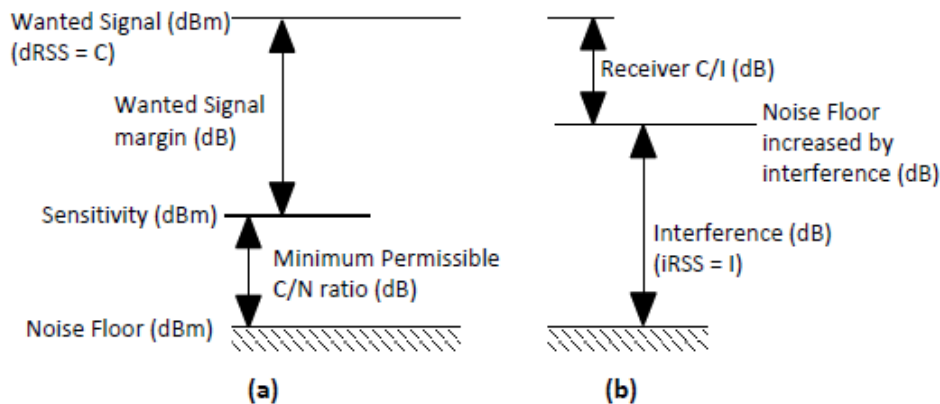


Figura 31. Nivel de señal usado para determinar cuándo se presenta interferencia. (CEPT & ECC, 2016)

La Figura 31(a) muestra la situación cuando no existe interferencia y se evidencia un margen entre la señal deseada y la sensibilidad del receptor (CEPT & ECC, 2016). La Figura 31(b) muestra que sucede cuando ocurre un evento de interferencia. La interferencia percibida, por las emisiones no deseadas en la banda adyacente, se suma al piso de ruido del receptor y reduce el margen de recepción, la diferencia entre el nivel de señal deseado y la señal interferente, medida en dB, define la relación señal a interferencia. Esta relación debe ser mayor al umbral C/I requerido para evitar la interferencia. (CEPT & ECC, 2016).

De manera análoga el criterio I/N (Interference to Noise) es utilizado para evaluar la probabilidad de interferencia  $P_I$  y guarda relación con el valor C/I. Otros criterios usados por SEAMCAT son las relaciones C/(N+I) (Carrier to Noise plus Interference), (N+I) /N (Noise plus Interference to Noise). A través de los valores de entrada del sistema SEAMCAT se establecen las relaciones adecuadas de estos criterios partiendo de la definición de uno de ellos. Para evaluar la probabilidad de interferencia sobre el sistema de televisión se usó el criterio C/I (*Carrier to Interference*). Al evaluar la probabilidad de interferencia sobre el sistema LTE se usó el criterio de interferencia I/N (*Interference to Noise*). (CEPT & ECC, 2016)

#### 5.4 Supuestos asumidos para las simulaciones

Como parte del diseño de las pruebas de simulación, hubo necesidad de establecer los supuestos más relevantes para delimitar las condiciones de transmisión y recepción, tanto para el sistema móvil en el estándar LTE, como para el servicio de TDT en Colombia. De igual forma se definió el número de eventos a simular para cada toma de datos, se

seleccionaron los modelos de propagación adecuados a cada caso propuesto, se precisaron las variables de entrada y salida para el registro de las simulaciones. Estas características se configuraron como un nuevo sistema y se almacenaron en la herramienta de simulación SEAMCAT.

#### 5.4.1 Características sistema LTE simulaciones

También se definieron características generales del sistema LTE para el DL y el UL, a partir de la normatividad técnica de LTE y de las recomendaciones vigentes, particularmente los reportes ITU-R BT.2247 e ITU-R M.2093, y las especificaciones técnicas ETSI TS 136 101 y ETSI TS 136 104, modificando los valores de frecuencia para el despliegue de las futuras redes en Colombia de acuerdo a los escenarios propuestos en la sección 5.1.

##### 5.4.1.1 Enlace descendente LTE

Tabla 16 se resumen los valores y características del DL de LTE utilizado para las simulaciones, en este caso el elemento considerado como transmisor corresponde a la estación base eNB.

Tabla 16. Valores del sistema de Tx LTE eNB para simulaciones.

Sistema	LTE Downlink	
LTE eNB Tx		
Altura Antena Tx	30	m
Potencia Tx	36	dBm
Ganancia Tx	14	dBi
Tipo de Antena Tx	3GPP 3-sector (60deg)	
Banda de frecuencias Tx	600	MHz
Frecuencia Central	Variable	MHz
Ancho de Banda	10	MHz
Resource Blocks	50	RB
N° Celdas	1	
Tamaño celda (típica suburbana)	2	km
SEM	Basada en el reporte CEPT Report 30	

Fuente: Los autores, basado en (ITU, 2015) y (ETSI, 2012)



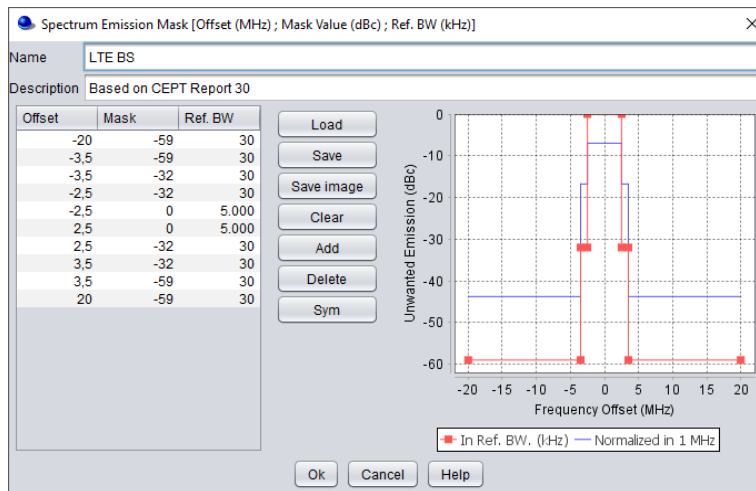


Figura 32. Máscara de emisión espectral de LTE eNB. (SEAMCAT)

Tabla 17. Valores del sistema Rx LTE UE para simulaciones.

LTE UE Rx		
Altura Antena Tx	1.5	m
Tipo de Antena Tx	omnidireccional	
Banda de frecuencias Tx	600	MHz
Frecuencia Central	Variable	MHz
Ancho de Banda	10	MHz
I/N	-10	dB
C/I	19	dB
Máscara de bloqueo	Basada en TS 136 101	

Fuente: Los autores, basado en (ITU, 2015) , (ETSI, 2015) y (ITU, 2012)

En el DL el elemento que cumple la función de recepción es la terminal de usuario UE, las características de recepción del UE se muestran en la Tabla 17.

#### 5.4.1.2 Enlace ascendente LTE

Con respecto al enlace ascendente de LTE, en la Tabla 18 se relacionan las características del transmisor Tx, es este caso la terminal móvil UE.

Tabla 18. Valores del sistema del Tx LTE UE para simulaciones.

LTE UE Tx		
Altura Antena Tx	1.5	m
Potencia Tx	23	dBm
Ganancia Tx	0	dBi
Tipo de Antena Tx	omnidireccional	
Banda de frecuencias Tx	600	MHz
Frecuencia Central	Variable	MHz

Ancho de Banda	10	MHz
SEM	Basada en TS 136 101	

Fuente: Los autores. (ITU, 2015) y (ETSI, 2015)

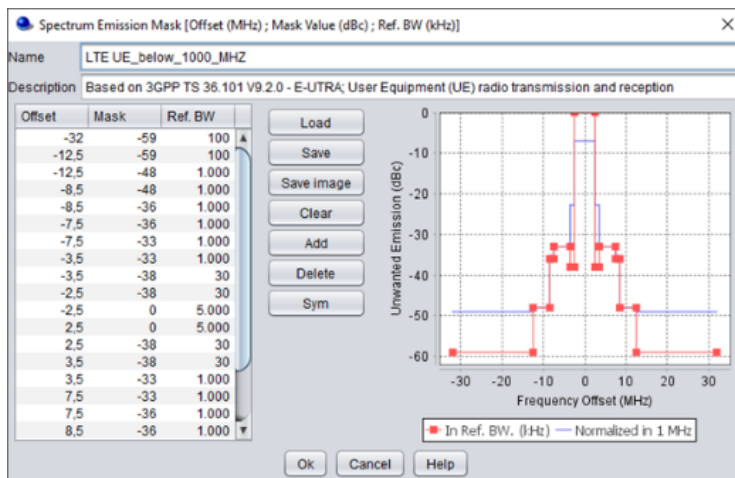


Figura 33. Máscara de emisión espectral LTE UE. SEAMCAT

En el UL el elemento que cumple la función de recepción es la estación base eNB, cuyos valores se definen en la Tabla 19.

#### 5.4.2 Características sistema DVB-T2 simulaciones.

De igual modo que para el sistema LTE, para el desarrollo de las simulaciones se especificaron las características generales del sistema de televisión en el estándar DVB-T2 a partir de la normatividad técnica y de las recomendaciones vigentes, contrastando con las características técnicas del concesionario de TDT privado en Colombia (CCNP). Estos elementos se crearon como un nuevo sistema y se almacenaron en la herramienta de simulación SEAMCAT.

Tabla 19. Valores del sistema de Rx LTE eNB para simulaciones.

Sistema	LTE Uplink	
<b>LTE eNB Rx</b>		
Altura Antena Rx	40	m
Tipo de Antena Rx	3GPP 3-sector (60deg)	
Banda de frecuencias Rx	600	MHz
Frecuencia Central	Variable	MHz
Ancho de Banda	10	MHz
Sensibilidad	-101.5	dBm
I/N	-6	dB

Mascara de bloqueo	Basada en TS 134104
--------------------	---------------------

Fuente: Los autores, basado en (ITU, 2015), (ETSI, 2012) y (ITU, 2012)

**5.4.2.1 Transmisor DVB-T2 simulaciones.**

Para la estación de transmisión de televisión digital terrestre se asumieron los valores contenidos en la Tabla 20.

Tabla 20. Valores del sistema Tx DVB-T2 para simulaciones.

Sistema		DVB-T2	
DVB-T2 Tx			
Altura Antena Tx	118	m	
Tipo de Antena Tx	DVB-T ITU-R BT.419		
Potencia Tx	64	dBm	
Potencia Tx	2.5	KW	
Ganancia Tx	10.49	dBi	
Banda de frecuencias Tx	600	MHz	
Frecuencia Central	Variable	MHz	
Modulación MOD	64 QAM 2/3		
Ancho de Banda	6	MHz	

Fuente: (CRC, 2013) y (Ribadeneira, 2012)

La máscara de emisión espectral utilizada se basa en la máscara de emisión crítica, especificada en el anexo 2 de la resolución 4337 de 2013 de la CRC (CRC, 2013).

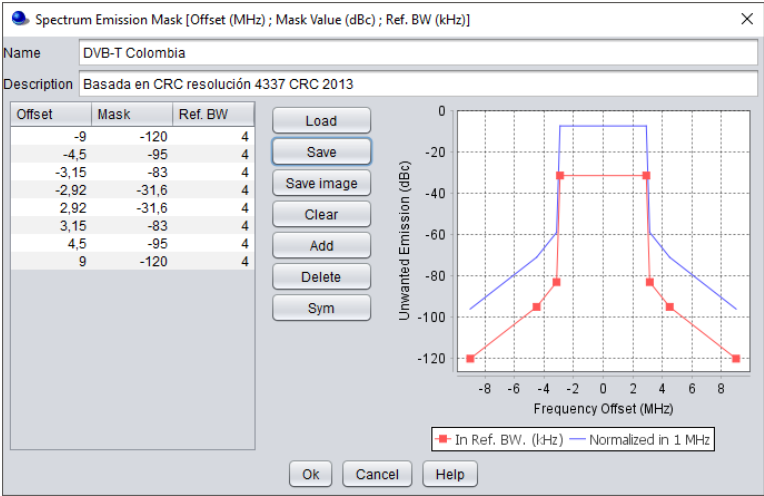


Figura 34. Máscara de emisión espectral DVB-T2

**5.4.2.2 Receptores DVB-T2 simulaciones.**

Se consideraron dos tipos posibles de recepción para el sistema DVB-T2, portable interior y fija exterior. En la Tabla 21 y Tabla 22 se registran los valores usados para las

simulaciones. Estos valores se asumieron de acuerdo a lo expuesto en la recomendación BT.2036 de la UIT para los receptores de referencia TDT en el estándar DVB.T2 en la banda V (ITU, 2013), se realizó ajuste de las unidades de la recomendación de dbd a dbi en ganancia y de dbw a dbm en los niveles mínimos de potencia, para facilidad en el desarrollo de simulaciones.

Tabla 21. Valores de sistema DVB-T2 Rx portable indoor para simulaciones

<b>DVB-T2 Rx Portable indoor</b>		
Altura Antena Tx	1,5	m
Ganancia Rx	0	dBi
Tipo de Antena Tx	DVB-T Rx UHF-VHF	
Banda de frecuencias Tx	VHF-UHF	MHz
Frecuencia Central	Variable	MHz
Sensibilidad	-81	dBm
Piso de ruido	-129	dBm
Ancho de Banda recepción	5,710	MHz
Mínimo C/I (64QAM, rate 2/3 coding)	18	dB

(ITU, 2013) y (Ribadeneira, 2012)

Tabla 22. Valores sistema DVB-T2 Rx fija outdoor simulaciones

DVB-T2 Rx Fija outdoor		
Altura Antena Tx	10	m
Ganancia Tx	9	dBi
Tipo de Antena Tx	DVB-T Rx UHF-VHF	
Banda de frecuencias Tx	VHF-UHF	MHz
Frecuencia Central	Variable	MHz
Sensibilidad	-79	dBm
Piso de ruido	-129	dBm
Ancho de Banda recepción	5,710	MHz
Mínimo C/I (64QAM, rate 2/3 coding)	20	dB

(ITU, 2013) y (Ribadeneira, 2012)

#### 5.4.3 Número de eventos simulados.

Se estableció el número de repeticiones o eventos simulados de acuerdo a la recomendación de la UIT para pruebas de campo y mediciones (ITU, 2015), para lo cual en cada prueba se simularon mil (1000) eventos.

#### 5.4.4 Modelos de propagación

En la Tabla 23 se resumen los modelos de propagación utilizados en las simulaciones, se definieron los modelos de propagación para cada enlace, tanto de los sistemas DVB-T2 y LTE propiamente, como los generados entre los elementos víctimas e interferentes. Estos modelos se seleccionaron con base en las condiciones de cada enlace, referentes a altura de las antenas y distancia entre el transmisor y el receptor, así como el entorno donde operarían los sistemas en Colombia.

Tabla 23. Modelos de propagación simulaciones.

Enlace	Modelo de propagación
Enlace DVB-T2	Hata extendido suburbano (empírico 1.25)
Enlace LTE	Hata extendido suburbano (empírico 1.34)
UE LTE - Rx DVB-T2	Espacio libre ITU-R P.525
eNB LTE – Rx DVB-T2	Hata extendido SDR (Short Range Devices)

Para los modelos de propagación utilizados no se consideraron variaciones adicionales o específicas, tales como tamaño de los pisos, habitaciones o pérdidas por muros.

## 5.5 Variables de las simulaciones.

Asociado al desarrollo y evaluación de las simulaciones correspondientes a cada caso y escenario de interferencia propuesto, se definieron las variables de entrada y de salida utilizadas en las simulaciones, las variables presentadas en la Tabla 24 permitieron realizar la construcción de las tablas de registro usadas en el Anexo 4.

Tabla 24. Variables de entrada y salida simulaciones.

Variables de entrada simulación	Variables de salida simulación
Numero de prueba.	Promedio de señal <i>deseada drss</i> (dBm)
Frecuencia central DVB-T2 (MHz)	
Frecuencia central LTE (MHz)	Promedio de señal no deseada <i>irss-unwanted</i> (dBm)
Banda de guarda en (MHz)	
Relación C/I o Relación I/N (dB)	
Distancia de protección (m o km)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
Máscara de emisión SEM	
Máscara de recepción ACS	

Con el objeto de verificar el comportamiento y evaluar los cambios en la probabilidad de interferencia, se ajustaron en cada simulación los valores del ancho de banda de guarda entre los sistemas y la distancia absoluta entre el elemento víctima y el elemento interferente, de este modo se establecieron los valores críticos de estas variables, comparando los resultados de probabilidad de interferencia  $P_1$  contra los rangos descritos en la sección 5.3 de criterios de interferencia.

Las variables banda de guarda y distancia de protección fueron propuestas y avaladas en reunión con expertos de la ANE, como técnicas de mitigación para el fenómeno de interferencia y sobre las que se recibió la recomendación de estudio y definición de valores críticos.

### 5.5.1 Banda de guarda en las simulaciones.

Se determinó utilizar los siguientes valores de bandas de guarda para las simulaciones: 0MHz, 1 MHz, 2 MHz, 3MHz, 5MHz, 10 MHz y 15 MHz. En la Tabla 25 y Tabla 26 se presentan los valores de las frecuencias centrales  $F_c$  correspondientes a cada escenario y la banda de guarda a evaluar.

Tabla 25. Frecuencias bandas de guarda escenario A.

Banda de guarda	0	1	2	3	5	10	15	MHz
F <sub>c</sub> LTE (10MHz)	634	633	632	631	629	624	619	MHz
F <sub>c</sub> canal 42 DVB-T2 (6MHz)	641	641	641	641	641	641	641	MHz

Tabla 26. Frecuencias bandas de guarda escenario B.

Banda de guarda	0	1	2	3	5	10	15	MHz
F <sub>c</sub> LTE (10MHz)	643	644	645	646	648	653	658	MHz
F <sub>c</sub> canal 41 DVB-T2 (6MHz)	635	635	635	635	635	635	635	MHz

Finalmente, para una futura evaluación del escenario C se definieron las frecuencias registradas en la Tabla 27.

Tabla 27. Frecuencias bandas de guarda escenario C.

Banda de guarda	0	1	2	3	5	10	15	MHz
F <sub>c</sub> LTE (10MHz)	619	620	621	622	624	629	634	MHz
F <sub>c</sub> SRA Canal 37(6MHz)	611	611	611	611	611	611	611	MHz

### 5.5.2 Distancia de protección en las simulaciones.

La distancia de protección se evaluó a partir de la variación del valor de distancia absoluta entre el elemento víctima y el elemento interferente en las simulaciones. Los rangos de distancias que se definieron para cada caso se encuentran descritos en la Tabla 28.

Tabla 28. Distancias enlaces para simulaciones.

Caso de interferencia	Distancia evaluada
1	1 km-20 km
2	100 m – 2 km
3	100 m – 2 km
4	1 m – 1 km
5	1 m – 1 km
6	1 m -10 m

Se consideraron estos rangos de distancia, particularmente las distancias límite para los sistemas, debido a que estas representan para cada caso la máxima potencia transmitida por el sistema interferente y la mínima potencia percibida por el sistema víctima.

## **CAPITULO VI. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES Y VALORES CRÍTICOS DE LAS VARIABLES**

En este capítulo se presenta el compendio y análisis de los resultados relativos a los valores críticos de las variables de distancia de protección y banda de guarda, hallados a partir del análisis de los datos obtenidos en las simulaciones realizadas.

Todos los valores entregados como salida de cada evento simulado fueron registrados en las tablas del Anexo 4, posteriormente se graficaron para observar la tendencia y el comportamiento del valor de la probabilidad de interferencia ( $P_I$ ), con respecto a las dos variables en evaluación. En las mismas gráficas se incluyeron las series que representan los límites del 1% y 5% de probabilidad de interferencia. De modo tal, que al observar el cruce de la curva de probabilidad con las series límites, se encuentra el valor crítico de la variable distancia o banda de guarda según sea el caso.

En la figura 35 se presenta un ejemplo de la curva obtenida al evaluar la distancia de protección en el escenario 1A (Interferencias de Tx DVB-T2 Outdoor a eNB Rx LTE Outdoor en fase simulcast) con una banda de guarda nula. En este caso se observa que se requiere una distancia de protección mínima de 8 km para no ingresar en la zona de interferencia perjudicial, una distancia mínima de 14 km para no entrar en la zona de interferencia aceptable y una distancia superior a 20 km para garantizar una probabilidad de interferencia de cero.



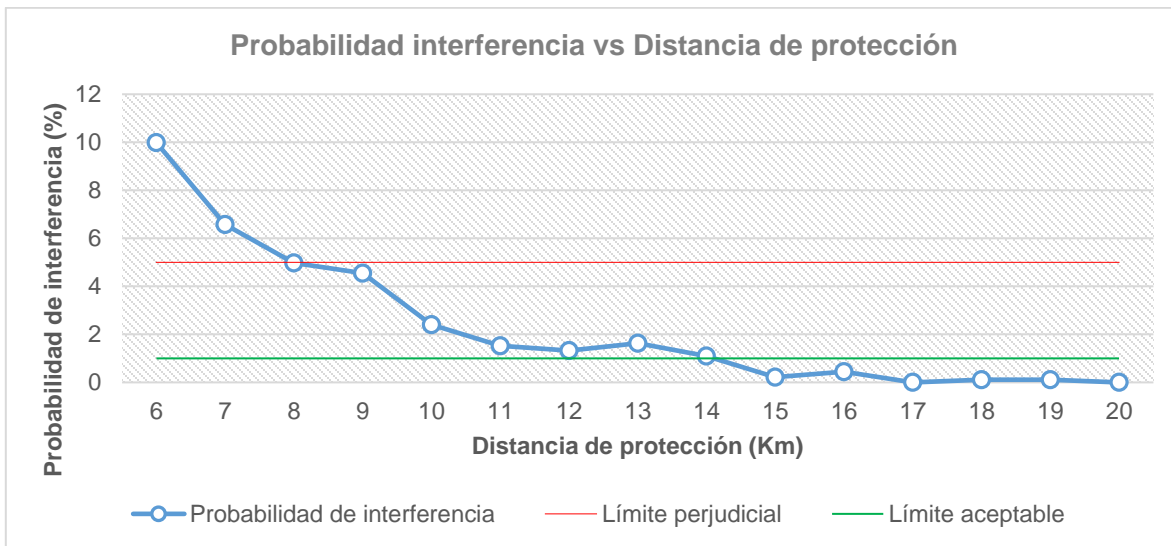


Figura 35. Ejemplo evaluación distancia de protección escenario 1A

De igual manera, la Figura 36 muestra la curva obtenida al ajustar la banda de guarda en el escenario 5A con una distancia de protección de 1m. Al evaluar los valores críticos de la banda de guarda, se observa que no se alcanza un nivel de interferencia perjudicial para ningún valor de banda de guarda, se halla una banda de guarda de 1MHz como límite de inicio de los valores de probabilidad para interferencia aceptable y una banda de guarda de 10MHz para asegurar que no exista probabilidad de interferencia.

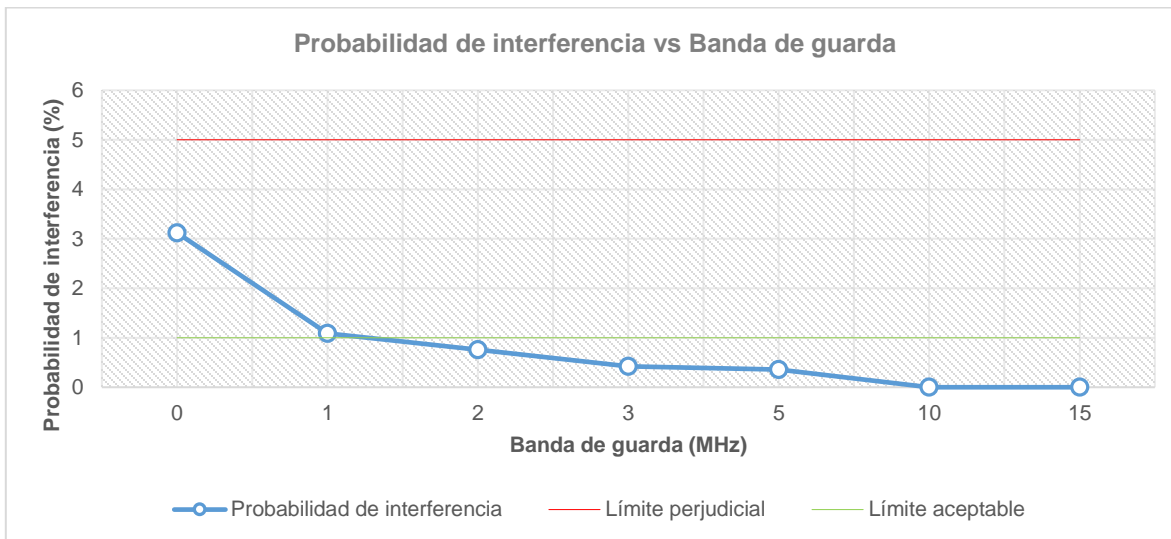


Figura 36. Ejemplo evaluación banda de guarda escenario 5A.

## 6.1 Valores críticos para distancias de protección.

En forma general, se presenta un resumen de los resultados más relevantes acerca de las distancias de protección halladas para los ambientes simulados, en el supuesto de la no existencia de banda de guarda, es decir, el escenario más crítico en frecuencia. En la Tabla 29 y Tabla 30 se presenta un resumen de los valores críticos hallados.

Iniciando con los casos 1A y 1B, se encontraron distancias mínimas de protección entre el transmisor de TDT y el eNB de LTE de 8 a 8.5 km como límite perjudicial de  $P_i$ , entre 11 y 12 km como límite aceptable de  $P_i$ , y entre 18 y 20 km para una probabilidad nula de interferencia.

Continuando con los casos 2A y 2B, se determinó una distancia de protección entre el transmisor de TDT y el UE de LTE en modo de recepción interior de 1.3 a 1.7 km como límite perjudicial de  $P_i$ , entre 2.3 y 2.8 km como límite aceptable de  $P_i$ , y de 3.8 a 4.2 km para una probabilidad de interferencia igual a cero.

Al evaluar los casos 3A y 3B, se hallaron distancias de protección entre el transmisor de TDT y el UE de LTE en modo de recepción exterior, de 1.4 y 1.5 km como límite de  $P_i$  perjudicial, de 2 a 2,5 km como límite de  $P_i$  aceptable, y de 2.1 a 3.8 km para una probabilidad nula de interferencia.

Tabla 29. Valores críticos distancia de protección TDT a LTE.

Caso-Escenario		Distancia de protección $P_i < 5\%$	Distancia de protección $P_i < 1\%$	Distancia de protección $P_i = 0\%$
TDT a LTE				
1	A	8 km	11 km	20 km
	B	8.5 km	12 km	18 km
2	A	1.3 km	2.3 km	3.8 km
	B	1.7 km	2.8 km	4.2 km
3	A	1.5 km	2 km	2.1 km
	B	1.4 km	2.5 km	3.8 km

Con respecto a los valores críticos para los casos 4A y 4B, estos indican probabilidades muy bajas de interferencias originadas por el eNB y percibidas por el receptor de TDT en

modo fijo exterior, en este caso se halló una distancia de protección de 10m, aplicable solamente a una probabilidad nula de interferencia. Los valores de probabilidad no superaron los límites del 1% de  $P_i$  en ninguna de las distancias evaluadas.

Siguiendo con los casos 5A y 5B se encontró una distancia de protección desde el eNB hacía el receptor de TDT en modo portable interior de 30m como límite de  $P_i$  aceptable y entre 170m y 300 m para eliminar la probabilidad de interferencia. Los valores de probabilidad no superaron el umbral del 5% de  $P_i$  en ninguna de las distancias consideradas.

Finalmente, de los casos considerados de interferencia de LTE a TDT, se confirma, como se señala en diversos estudios, que el mayor riesgo de nivel de afectación se presenta debido a las emisiones generadas por un equipo de usuario de LTE UE transmitiendo a su máxima potencia en la misma habitación que un receptor de televisión digital terrestre DVB-T2. Estos casos corresponden a los identificados como 6A y 6B, en los que se determinó una distancia de protección cercana a 3m como límite perjudicial de  $P_i$ , 4m aproximadamente como límite aceptable de  $P_i$  y 5m como la mayor distancia para una probabilidad del cero por ciento.

Tabla 30. Valores críticos distancia de protección LTE a TDT.

Caso-Escenario		Distancia de protección $P_i < 5\%$	Distancia de protección $P_i < 1\%$	Distancia de protección $P_i = 0\%$
<b>LTE a TDT</b>				
4	A	NA	NA	10 m
	B	NA	NA	NA
5	A	NA	30 m	300 m
	B	NA	30 m	170 m
6	A	3 m	4m	5 m
	B	2.7 m	3.3 m	4 m

Al analizar los resultados encontrados de las distancias de protección se observa que las distancias requeridas entre los transmisores TDT y LTE son mayores cuando TDT está operando en una frecuencia inferior a LTE, el escenario B. Teniendo en cuenta que durante

las simulaciones se utilizaron máscaras de emisión y recepción simétricas, se puede atribuir esta variación en los resultados a la localización en frecuencia.

Los resultados acerca de las distancias de protección indican que existe un mayor riesgo de interferencia causada por el sistema de televisión digital terrestre DVB-T2 sobre los receptores eNB y UE de LTE, comparado con la probabilidad de interferencia del sistema LTE sobre el receptor de DVB-T2. Esta probabilidad está directamente relacionada con la mayor potencia de las estaciones de transmisión de televisión digital.

A partir de los resultados de las simulaciones se encuentra que la distancia de protección como estrategia de mitigación reduce la probabilidad de interferencia, sin embargo, no es suficiente, puesto que, al considerar distancias mínimas, de 300m para los casos de cercanía del eNB a hogares o construcciones, y 5m de separación entre un televisor y una terminal móvil, no es viable garantizar estas restricciones en distancia.

## 6.2 Valores críticos para la banda de guarda.

Otra variable analizada corresponde a la banda de guarda entre los sistemas, los valores críticos se hallaron al evaluar la distancia mínima considerada para cada caso y los resultados se encuentran expuestos en la Tabla 31 y en la Tabla 32.

Tabla 31. Valores críticos banda de guarda TDT a LTE.

Caso- Escenario		Banda de guarda $P_i < 5\%$	Banda de guarda $P_i < 1\%$	Banda de guarda $P_i = 0\%$
TDT a LTE				
1	A	$1 < BG < 2$ MHz	2MHz	2 MHz
	B	$1 < BG < 2$ MHz	2MHz	2 MHz
2	A	$1 < BG < 2$ MHz	2MHz	3 MHz
	B	$1 < BG < 2$ MHz	3MHz	5 MHz
3	A	$1 < BG < 2$ MHz	2MHz	5 MHz
	B	$3 < BG < 5$ MHz	5MHz	10 MHz

En primera instancia, al verificar los resultados de los casos de interferencia generados por el sistema de televisión digital terrestre sobre los receptores de LTE, casos 1 al 3, se encuentra un comportamiento similar en las curvas, y en los valores de banda de guarda dentro de los rangos de probabilidad del 1% y del 5%, bandas de guardas entre 1MHz y

2MHz respectivamente. Sin embargo, el valor de la banda de guarda varía de manera considerable al evaluar una probabilidad nula de interferencia. En el peor caso encontrado, caso 3B, cuando el receptor UE de LTE en modo recepción exterior es interferido por la señal del transmisor DVB-T2, se halló una separación ideal de hasta 10MHz.

A través del análisis de la relación de probabilidad de interferencia versus la banda de guarda, en los casos de interferencia de LTE a TDT (casos 4 al 6) los resultados encontrados muestran que para el caso 4 se presentan probabilidades bajas de interferencia, inferiores al 1%, las cuales se reducen a 0% con una banda de guarda de 2MHz.

Cuando se verifican los resultados de los casos 5A y 5B, se observa una particularidad, aunque los valores de probabilidad de interferencia son bajos y nunca superan el 5 % con una banda de guarda de 1MHz, probabilidades entre el 0% y el 1% se presentan hasta los 10MHz de banda de guarda.

Al analizar los resultados del caso 6, para los escenarios A y B, se encontró que se presentaron las probabilidades más altas de interferencia de LTE a TDT, alcanzando valores de  $P_i$  del 45%, y se hallaron valores críticos de banda de guarda de 4MHz como límite inicial de valores de probabilidad perjudicial y una banda de guarda ideal de 5MHz para anular la probabilidad de interferencia.

Tabla 32. Valores críticos banda de guarda LTE a TDT.

Caso- Escenario		Banda de guarda $P_i < 5\%$	Banda de guarda $P_i < 1\%$	Banda de guarda $P_i = 0\%$
LTE a TDT				
4	A	NA	NA	2 MHz
	B	NA	NA	NA
5	A	NA	1 MHz	10 MHz
	B	NA	2 MHz	10 MHz
6	A	4 MHz	5 MHz	5MHz
	B	3 MHz	4 MHz	4MHz

Se puede inferir al analizar estos resultados que la banda de guarda como estrategia de mitigación cumple con un buen comportamiento en la reducción de la probabilidad de

interferencia, incluso en distancias mínimas alcanza tasas de reducción de  $P_I$  del 50% por MHz. Sin embargo, el utilizar bandas de guarda implica una restricción en el uso del espectro, que como se mencionó en la introducción conlleva al desperdicio de un recurso escaso.

También se observa que, aunque los valores de probabilidad son cuantitativamente menores para los casos de recepción de DVB-T2 frente a la recepción de LTE, para probabilidades inferiores al 5% estas permanecen en bandas de guarda más altas para la televisión digital, esto se debe a que los niveles de selectividad en frecuencia de DVB-T2 son menores en niveles de potencia bajos, cercanos al piso de ruido de -129 dBm del receptor caracterizado en las simulaciones.

Debido a que las máscaras espectrales de emisión y las características de selectividad de los receptores, se comportan de manera similar a un filtro, los valores de probabilidad como resultado del uso de las bandas de guarda se reducen en una tasa más pronunciada comparado con la distancia de protección, como se observa en las gráficas de resultados del Anexo 5.

En los casos 4A y 4B se observó que, aunque al estar la antena más expuesta a la señal interferente, las condiciones de recepción se mejoran considerablemente y que la relación entre la señal interferente y la deseada aumenta de modo que la probabilidad de interferencia se reduce, en este caso es cercana a 0 al evaluarse las distancias y las bandas de guarda mínimas.

Otros resultados relacionados con valores de distancias de protección intermedias con bandas de guarda mayores a 0MHz y bandas de guarda de protección con distancias absolutas mayores al mínimo considerado, pueden ser consultadas en los Anexos 4 y 5.

### **6.3 Correlación variables distancia de protección y banda de guarda**

Como ejercicio complementario de análisis, se desarrollaron gráficas de correlación para cada uno de los casos, entre las variables banda de guarda y distancia de protección, versus la probabilidad de interferencia obtenida de las simulaciones, se generaron las superficies descritas por los valores encontrados y se ajustaron mediante la herramienta *curve fitting* de Matlab en los diferentes modelos. Encontrando en todos los casos una

relación fuerte e inversa entre la distancia de protección, banda de guarda y la probabilidad de interferencia, a mayor distancia de protección y mayor banda de guarda menor probabilidad de interferencia.

Se realizó la verificación de la bondad del ajuste de las superficies para cada modelo utilizado, comparando de manera visual y a través del parámetro SSE (*Sum of Squares due to Error*). Luego de la comparación de los métodos disponibles se encontró que el de mejor ajuste corresponde al método de interpolación Thin-plate spline.

A continuación, se presentan las gráficas de superficie y los dibujos de contorno del caso 1B.

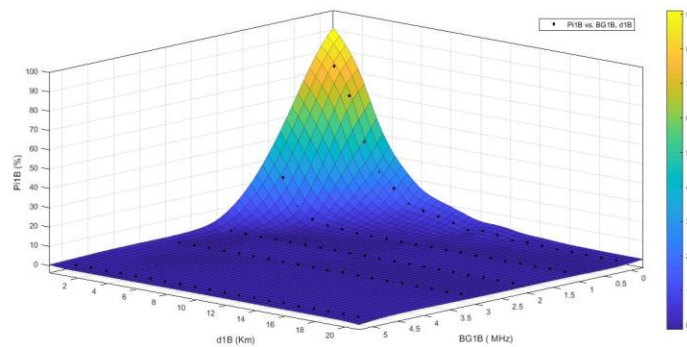


Figura 37. Ejemplo superficie caso 1B

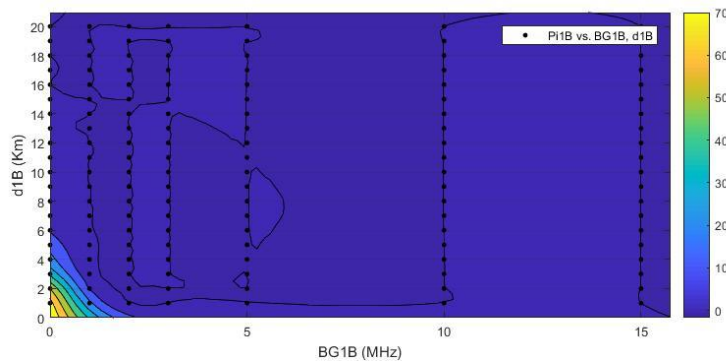


Figura 38. Ejemplo dibujo de contorno caso 1B

Luego del ajuste de superficies se generó el código en Matlab para el uso de la función de ajuste *thinplateinterp*  $f(d, BG)$  y la función de generación de datos *tpaps* con los datos obtenidos de desviación estándar y media para cada caso. En el anexo 5 se encuentran las superficies y dibujos de contorno para cada uno de los casos y escenarios.

## CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La construcción del marco teórico y el análisis de los estudios de interferencia permitieron hallar las principales variables a considerar para el desarrollo de estudios de coexistencia de los servicios DVB-T2 y LTE.
- La caracterización de la gestión y planificación del espectro, acompañada del análisis de los planes de manejo de los servicios, condujeron a establecer tres posibles escenarios de convivencia en frecuencia de los sistemas TDT y LTE en Colombia en la sub-banda UHF de 614 a 698MHz, y su desarrollo permitió encontrar otros servicios que pueden ser afectados, de modo que puedan ser evaluados en estudios futuros, en particular el servicio de radioastronomía (SRA).
- El presente trabajo de grado definió y desarrolló los escenarios en frecuencia, los casos de interferencia y los supuestos generales, valores de potencia, distancias relativas y características de los servicios móviles LTE y la televisión digital terrestre DVB-T. Los escenarios y casos de interferencia fueron avalados por expertos de la ANE y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y sirven de base para futuros estudios.
- Las simulaciones ejecutadas permitieron evaluar y establecer los valores críticos de las distancias de protección y las bandas de guarda para cada uno de los casos estudiados, en la sub-banda UHF de 614 a 698MHz, bajo las consideraciones de las probables condiciones de operación en frecuencias aún no asignadas. De este modo, se puede concluir que las herramientas de simulación basadas en el método Montecarlo representan una aproximación inicial, para la definición de los límites y valores que pueden ser usados en futuras pruebas de laboratorio.
- Se hallaron dentro de la sub-banda 614 a 698MHz, considerando el valor límite de probabilidad de interferencia perjudicial, distancias de protección de 8.5 km entre los transmisores estación de transmisión TDT y eNB LTE, 1.7km desde la estación de transmisión TDT hasta una terminal móvil de LTE, y 3m entre un receptor de DVB-T2 y el terminal móvil de LTE. No se hallaron valores de probabilidad de interferencia perjudicial en los casos entre el eNB y el receptor de TDT, pero se determinó una distancia de protección de 30m al considerar los límites de probabilidad de interferencia aceptable. Como valor de banda de guarda entre los servicios, teniendo presente que no se considera una banda de guarda dinámica o autoajutable, se halló un valor de



4MHz, el cual corresponde al valor de protección más alto encontrado en todos los casos, tal que las probabilidades de interferencia estén por debajo del límite perjudicial.

- El desarrollo de las simulaciones no abarcó todas las variables que se pudieran considerar para hallar los valores críticos más próximos a la realidad, particularmente la capacidad adaptativa del sistema LTE no se pudo simular, esta variable puede reducir los efectos asociados a la interferencia generada por las señales de televisión DVB-T2 sobre los receptores de LTE, traduciéndose en distancias de protección menores y reducción de las bandas de guarda.
- El trabajo realizado permite concluir que la calidad en la recepción para el caso de la televisión digital está relacionada con las condiciones físicas de la instalación o modo en que se dispone dicha recepción, se observó en comparación de los casos 4A-4B y 5A-5B, en el modo de recepción exterior, aunque al estar la antena más expuesta a la señal interferente, las condiciones de recepción se mejoran considerablemente también, y la relación entre la señal interferente y la deseada aumenta de manera que la probabilidad de interferencia se reduce. En este sentido, se deben procurar las condiciones mínimas de recepción para la mayor parte de los usuarios, se deben explorar regulaciones, por ejemplo, en torno a las construcciones, garantizar que las nuevas edificaciones cuenten con capacidad de conexión de cada domicilio a antenas de recepción fija aérea.
- Queda fuera del alcance de este estudio, la evaluación del impacto de la utilización de filtros para la mitigación de los efectos producidos por el fenómeno de interferencia. Para el desarrollo de esta evaluación se deben modificar en cada caso las máscaras de emisión espectral y los valores de selectividad en frecuencia (máscaras de recepción y bloqueo) para la ejecución de las simulaciones.

### **Recomendaciones y trabajos futuros**

- El trabajo de grado desarrollado consideró de manera exclusiva macro-celdas del sistema LTE, debido a que son las que se encuentran actualmente en servicio y planeadas para próximos despliegues. Se recomienda considerar en estudios futuros micro-celdas, pico-celdas y femto celdas de LTE, especialmente para la interacción con otros servicios que puedan operar en frecuencias más altas a 1GHz, tales como de redes locales de salud, equipos biomédicos y el universo de equipos que puedan tener

una conexión a internet a través de redes móviles de banda ancha (*IoT Internet of things*).

- Las tablas de valores expresadas en la normatividad muestran las máscaras críticas para los márgenes de protección, límites de bloqueo, sensibilidad y selectividad de receptores, estas son constantes o lineales dentro de los límites definidos, en las simulaciones se utilizaron estas señales como referencia, sin embargo, la linealidad de los transmisores y receptores varían. Se sugiere realizar pruebas de laboratorio previas para modelar o generar señales y máscaras de emisión más cercanas a la realidad.
- De acuerdo a los resultados encontrados, estos indican que es posible considerar bandas de guarda más pequeñas si se consideran otras técnicas de mitigación, se recomienda evaluar en estudios posteriores opciones de mitigación combinadas como filtros adicionales en los transmisores, de modo que sea posible aumentar la granularidad en la asignación del espectro a los operadores y se contribuya a mejorar el uso de este recurso, futuros estudios pueden incluir modelos de uso dinámico del espectro.
- Se observó que para los valores asumidos en los casos de recepción de DVB.T2, se encontraron probabilidades de interferencia incluso con valores de potencia muy bajos cercanos al piso del ruido del receptor. Se sugiere evaluar estos efectos y los asociados a intermodulación, y armónicos de baja potencia, especialmente para el caso de interferencia con el sistema SRA considerado en la exploración de los servicios de la banda de 600MHz. El sistema de radioastronomía tiene márgenes de protección muy bajos debido a la alta sensibilidad de los receptores. Se pone a consideración de próximas investigaciones, desarrollar este estudio con las condiciones expuestas en el marco teórico y en la construcción de los posibles escenarios de interferencia en frecuencia analizados en este trabajo de grado.
- En este trabajo de grado se utilizaron modelos de propagación estándar para entornos suburbanos. Se sugiere explorar y utilizar modelos alternativos de propagación que se adapten más a los ambientes y condiciones geográficas, demográficas para las diferentes regiones de Colombia.
- Para pruebas de laboratorio se sugiere utilizar la predicción de valores de probabilidad de interferencia en Matlab, a través de las superficies generadas en las simulaciones en función de la distancia de protección y la banda de guarda. Con el objetivo de

predecir y comparar los valores en cualquier punto de las simulaciones y las pruebas de laboratorio.

-

## BIBLIOGRAFÍA

Ancans, G., Stankevicius, E., & Bobrovs, J. (2015). Assessment of DVB-T Compatibility with LTE in Adjacent Channels in 700 MHz Band. *Elektronika Ir Elektritechnika*, 73-77.

ANE. (2014). *Estudio técnico y económico de las bandas de frecuencia identificadas para IMT según el reglamento de radio de I UIT edición del 2012 y que aún no han sido usadas para la implementación de este tipo de sistemas en Colombia, así como en las nuevas bandas*. Bogotá: ANE.

ANE. (2014). *Plan técnico de televisión Colombia PTTV*. Bogotá: ANE.

ANE. (2016). Resolución 405 de 2016.

ANTV. (2015). *Informe sectorial 2014*. Bogotá: ANTV.

ATDI. (16 de Junio de 2016). <http://www.atdi.com/>. Obtenido de [http://www.atdi.com/pdf/brochure\\_ics\\_telecom\\_web.pdf](http://www.atdi.com/pdf/brochure_ics_telecom_web.pdf)

Basnet, S., Gunawardana, U., Biyanwilage, S., & Liyanapathirana, R. (2014). Interference analysis in digital TV reception with LTE systems in adjacent bands in Australian Context., (págs. 82-87). Sindy.

Castro, A., & Fusario, R. (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información*. 406.

Cave, M., Jones, R., & Foster, M. (2009). *Gestión del espectro radioeléctrico*. Ginebra: UIT.

Celedonio, M., Masullo, P., Pulcini, L., & Vaser, M. (2015). Measured Interference of LTE Uplink Signals on DVB-T Channels. *Journal of telecommunications and information technology*, 74-85.

CEPT & ECC. (abril de 2016). *SEAMCAT Handbook*. Copenhagen , Denmark: ECC.

Comisión Nacional de Televisión. (2010). *Acuerdo 004 Comisión Nacional de televisión*. Bogotá : Comisión Nacional de Televisión.

CRC. (2013). Resolución N° 4337 de 2013. Por la cual se actualizan y complementan las especificaciones técnicas aplicables a la red de televisión digital terrestre – TDT establecidas en la Resolución CRC 4047 de 2012. Bogotá, Colombia: CRC.

CRC. (2013). *Seguimiento a la implementación de las especificaciones técnicas de la TDT en Colombia*. Bogotá: CRC.

CRC. (2014). *COMPARTICIÓN DE INFRAESTRUCTURA PARA TDT Fase I: Gestión y operación de multiplex digitales*. Bogotá: CRC.

Denkovski, D., Atanasovski, V., & Gavrilovska, L. (2015). Practical evaluation of LTE-800 and DVB-T coexistence. *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2015 IEEE*, 1-5.

DVB Project Office. (Agosot de 2015). *DVB.ORG*. Recuperado el Noviembre de 2015, de [https://www.dvb.org/resources/public/factsheets/dvb-t2\\_factsheet.pdf](https://www.dvb.org/resources/public/factsheets/dvb-t2_factsheet.pdf)

ETSI. (2012). *ETSI TS 136 104 LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception*. Sophia: ETSI.

ETSI. (2015). *ETSI TS 136 101 LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception*. sophia: ETSI.

Ettus Research. (19 de 06 de 2016). [www.ettus.com](http://www.ettus.com). Obtenido de <https://www.ettus.com/about>

Fischer, W. (2003). *Digital video and audio broadcasting technology*. Munich: Springer.

Fuentes, M. (2013). *Coexistencia entre servicios TDT y 4G en la banda de 700MHz*. iTEAM.

Garro, E. (2013). *Estudios de Convivencia de Servicios de TDT con Servicios 4G LTE en las bandas de 450 MHz, 700 MHz y 800 MHz*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Gebner, C. (2011). *LONG TERM EVOLUTION: A concise introduction to LTE and its measurement requirements*.

Gómez-Barquero, D., López-Sánchez, J., Martínez, G., Ribadeneira-Ramírez, J., & Garro, E. (2014). Frequency and Network Planning and Optimization of the Digital Terrestrial Television DVB-T2 Networks in Colombia. Valencia, España: iTEAM, Universitat Politècnica de València.

GSMA LA. (2015). *Análisis de la situación actual y estudio de coexistencia de sistemas de radiodifusión y servicios LTE en la banda de 700MHz en Perú*. Cataluña: GSMA LA.

Hong, H., Son, H., & Chong, Y. (2014). Protection Ratio between DVB-T2 and LTE Systema. *IEEE ICTC*, 792-793.

ITU. (2002). *UIT-R SM.2028-1: Metodología de simulación Monte Carlo para su aplicación en estudios*. Ginebra: ITU.

ITU. (2003). *ITU-R RA.769-1. Protection criteria used for radioastronomical measurements*. Ginebra: ITU.

ITU. (2006). *ITU RA.517-4 Protección del servicio de radioastronomía contra los transmisores que funcionan en bandas adyacentes*. Ginebra: ITU.

ITU. (2006). *ITU-R BT.1368-6. Criterios para la planificación de servicios de televisión digital terrenal en las bandas de ondas métricas/decimétricas*. Ginebra: ITU.

ITU. (2006). *ITU-T M.2078 Estimación de los requisitos de anchura de banda de espectro para el futuro desarrollo de las IMT-2000 y las IMT-Avanzadas*. Ginebra: ITU.

ITU. (2010). *La ITU y las radiocomunicaciones*. Ginebra: ITU.

ITU. (2012). *ITU-R M.2241 Compatibility studies in relation to Resolution 224 in the bands 698-806 MHz and 790-862 MHz*. Geneva: ITU.

ITU. (2013). *ITU BT.2036 Características de un sistema receptor de referencia para la planificación de frecuencias de sistemas de televisión digital terrenal*. Ginebra: ITU.

ITU. (2013). *ITU-R BT.1368-10. Planning criteria, including protection ratios for digital terrestrial services in the VHF/UHF bands*. Ginebra: ITU.

ITU. (2013). *ITU-R M.2290-0. Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT*. Ginebra: ITU.

ITU. (2013). *Report ITU-R M.2292-0 Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses*. Ginebra: ITU.

ITU. (2014). *ITU-R RA.2332. Compatibility and sharing studies between the radio astronomy service and IMT systems in the frequency bands 608-614 MHz, 1330-1400 MHz, 1400-1427 MHz, 1610.6-1613.8 MHz, 1660-1670 MHz, 2690-2700 MHz, 4800-4990 MHz and 4990-5000 MHz*. Ginebra: ITU.

ITU. (2015). *Actas finales Conferencia mundial de Radiocomunicaciones*. Ginebra: ITU.

ITU. (2015). *Actas finales: Conferencia mundial de radiocomunicaciones 2015*. (pág. 448). Ginebra: ITU.

ITU. (2015). *ITU-R RA.1513-2 Levels of data loss to radio astronomy observations and percentage-of-time criteria resulting from degradation by interference for frequency bands allocated to the radio astronomy service on a primary basis*. Ginebra: ITU.

ITU. (2015). *Report ITU-RBT.2247 Field measurement and analysis of compatibility between DTTB and IMT*. Ginebra: ITU.

Ivo, R., & Queiroz, R. (2008). *Sistemas de radiodifusión digital terrestre*. Kathrein.

Jimenez, L., Parrado, J., Quiza, C., & Suarez, C. (2001). *Modulación Multiportadora OFDM*. *Ciencia, Investigación, Academia y Desarrollo UDFJC*, 6, 30-34.

La Rue, F. (2011). *“Report of the Special Rapporteur on the promotion and protection of the right to freedom of opinion and expression”*. United Nations. Human Rights Council. Obtenido de [http://www2.ohchr.org/english/bodies/hrcouncil/docs/17session/A.HRC.17.27\\_en.pdf](http://www2.ohchr.org/english/bodies/hrcouncil/docs/17session/A.HRC.17.27_en.pdf)

Metrópolis, N. (1987). *The beginning of the Monte Carlo method*. *Los Alamos Science Special Issue*, 125-130.

MinTIC. (2015). *Boletín trimestral de las TIC, cifras primer trimestre de 2015*. Bogotá: MinTIC.

MinTIC. (2016). *Boletín trimestral de las TIC. Cifras segundo trimestre de 2016*. Bogotá: MinTIC.

MinTIC; ANTV; CRC. (2015). *Proceso de selección objetiva para asignación de espectro radioeléctrico en las bandas 700 MHz (Dividendo Digital), 900 MHz, 1.900 MHz y 2.500 MHz para servicios móviles terrestres*. Bogotá: MinTIC.

National Instruments. (1 de Abril de 2015). [www.ni.com](http://www.ni.com). Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/12985/en/>

NRAO. (18 de Julio de 2016). <https://public.nrao.edu>. Obtenido de <https://public.nrao.edu/radioastronomy/what-is-radio-astronomy>

Parker, I., & Munday, S. (2011). *Assessment of LTE 800 MHz Base Stations Interference into DTT Receivers*. Surrey: ERA Technology.

Polak, L., Kaller, O., Klozar, L., & Prokopec, J. (2012). Influence of Mobile Network Interfering Products on DVB-T/H Broadcasting Services. *Department of Radio Electronics, Brno University of Technology*.

Prasad, R. (2004). *OFDM for wireless communications systems*. Londres: Artech House Inc.

RAING. (Noviembre de 2015). *Diccionario Español de Ingeniería*. Obtenido de <http://diccionario.raing.es/es/lema/banda-de-guarda>

Ribadeneira, J. (2012). *Análisis de interferencias para la planificación de las redes TDT en la región Andina*. Iteam.

Roig, O., Valenzuela, J., & Comes, R. (2003). *Principios de comunicaciones móviles*. Universidad Politecnica de Cataluña.

Rumney, M. (2008). 3GPP-LTE: introducing Single-Carrier FDMA. *Agilent Measurement Journal*, 1-10.

SDR Forum. (Junio de 2007). *SDRF Cognitive Radio Definitions*. SDR Forum. Obtenido de [http://www.sdrforum.org/pages/documentLibrary/documents/SDRF-06-R-0011-V1\\_0\\_0.pdf](http://www.sdrforum.org/pages/documentLibrary/documents/SDRF-06-R-0011-V1_0_0.pdf)



Sendrei, L., Felix, M., Oravej, J., & Marchevsky, S. (2015). Coexistence simulation of DVB-T/T2 and LTE800 in Seamcat. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 32-38.

Sociedad Brasileira de Ingeniería de televisión. (2012). *Consideraciones de la SET sobre las pruebas de interferencia de la señal LTE en la recepción de TV digital en la banda UHF*. Sao Paulo.

## ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

3GPP: *3rd Generation Partnership Project*

ANE: Agencia Nacional del Espectro.

ACLR: *Adyacent Channel Leakage Ratio*

ACS: *Adyacent Channel Selectivity*

AMC: *Adaptative Modulation and Coding*

ANTV: Autoridad Nacional de Televisión

BER: *Bit Error Rate*

BLER: *Block Error Ratio*

COFDM: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing

CQI: *Channel quality indication*

CRC: Comisión de Regulación de Comunicaciones

DBV-T: *Digital Broadcasting Video*

DL: *Downlink*

eNB: *Evolved Node B*

ERE: Espectro radioeléctrico

ETSI: *European Telecommunications Standards Institute*

FFT: *Fast Fourier Transform*

FDD: *Frequency Division Duplex*

GSM: *Global System for Mobile Communications*

HSPA: *High-Speed Packet Access*

IMT: International Movil Telecommunications

LTE: *Long Term Evolution*

MIMO: *Multiple Input Multiple Output*

OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

OFDMA: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*

PAPR: *Peak-to-Average-Power Ratio*

PR: *Protection Ratio*

PTTV: Plan Tecnico de Televisión

Rx: Recepción

SC-FDMA: *Single Carrier- Frequency Division Multiplexing Access*

SEM: *Spectral Emission Mask*

SRA: Servicio de Radio Astronomía

TDD: *Time Division Duplex*

TDT: Televisión Digital Terrestre

Tx: Transmisión

ITU: *International Telecommunications Union*

UE: *User Equipment*

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

UL: Uplink

## ANEXO 1. SOFTWARES DE SIMULACIÓN, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE LABORATORIO

- **SEAMCAT**

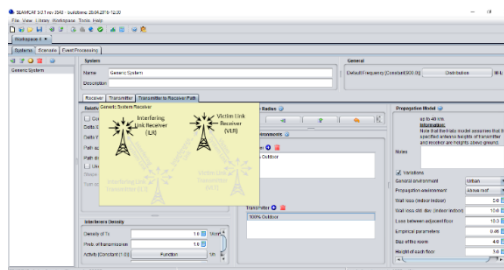
*Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool (SEAMCAT)* es una herramienta de software libre programada sobre Java que permite desarrollar simulaciones entre un sistema interferente y un sistema víctima, hace posible modelar en forma estadística los diferentes escenarios de interferencia de sistemas de radio para llevar a cabo estudios de compartición y compatibilidad electromagnética ECM entre los sistemas de radiocomunicaciones.

Cuenta con varios modelos de propagación entre los que se encuentran:

Hata Extendido, Hata extendido-SRD, ITU-R P.526-2, ITU-R P.452-14, Espacio Libre (ITU-R P.525), ITU-R P.528, ITU-R P.1546-4 Land, Longley Rice, Model C IEEE 802.11 rev3, JTG56.

En el espacio de trabajo existen tres módulos para configurar los sistemas de radiocomunicaciones, definir el escenario de interferencia y registrar los eventos de la simulación. Las librerías incluyen varios sistemas predeterminados como LTE 800MHz y DVB-T, y un sistema por defecto para cambiar los parámetros según se requiera.

De manera general el proceso de simulación cuenta con 6 pasos. Creación o actualización de la simulación, configuración de los controles de simulación, ejecución, generación del vector de análisis de resultados, análisis de probabilidad de interferencia y generación de reporte de simulación.

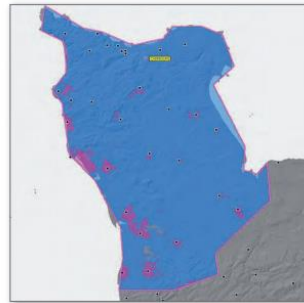


Logotipo Seamcat y espacio de trabajo. (CEPT & ECC, 2016)

- **ICS Telecom**

ICS Telecom es un software licenciado, propiedad de la compañía francesa ATDI dedicada al desarrollo de sistemas de administración automática del espectro, entre las que se incluyen herramientas de desarrollo e ingeniería del espectro, entre ellas ICS Telecom.

El paquete de software permite estudios de coexistencia entre diferentes tecnologías desde 8 kHz a 450 GHz, entre las que se incluye la posibilidad de analizar sistemas 4G vs DVB-T, cuenta con una amplia base de datos de antenas, modelos de propagación y tres métodos de cálculo Monte-Carlo, Iterativo y STD (*Sequential threshold degradation*). ICS Telecom es usada por cerca de 90 autoridades reguladoras del espectro en el mundo.



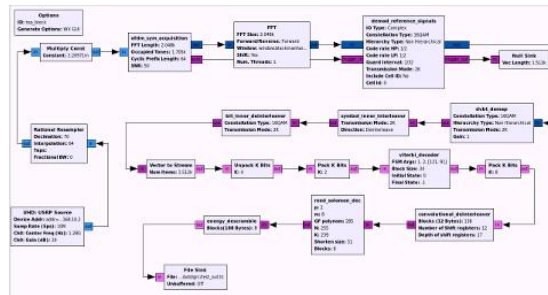
Logotipo ICS Telecom y Cálculo de Interferencia de estaciones LTE a DVB-T en ICS Telecom. (ATDI, 2016)

- **SDR-Software defined Radio.**

De acuerdo al *SDR forum* y a la IEEE (SDR Forum, 2007), la radio definida por *software* se refiere a un radio en el que algunas o todas las funciones de la capa física son emuladas por *software*. De este modo las herramientas SDR permiten reproducir a un menor costo y con mayor flexibilidad las características de un transmisor o un receptor, por ejemplo, modular y demodular con mayor simplicidad señales complejas, modificar fácilmente los parámetros de transmisión y recepción, tanto en escenarios de laboratorio como en el ajuste automático en un sistema de telecomunicación. Sin embargo, los elementos físicos de un radio que en algún caso no puedan ser reemplazados tendrán que estar incluidos en el sistema de telecomunicación a través de *hardware* y con las interfaces adecuadas para conectarse al SDR a estos módulos se les denomina USRP -Universal Software Radio Peripheral. Existen herramientas de uso libre como GNU Radio, CRC mmb Tools y licenciadas como las desarrolladas por National Instruments.

- **GNU radio.**

Es una herramienta de software desarrollada en software libre, utiliza lenguajes de programación Python y C++, se usa comúnmente con propósitos académicos, provee procesamiento de señales por bloques para generar radios basados en software y es compatible con hardware de radio frecuencia de bajo costo. Hace uso del módulo de hardware USRP. Los desarrollos elaborados por la comunidad han permitido generar la programación y los bloques para emular diversos sistemas de radiocomunicaciones. Entre ellos los que usan OFDM como LTE y TDT.



Logotipo GNU Radio y Bloques de programación OFDM. GNU Radio.

- Paquete de comunicaciones de Labview

Propiedad de National Instrument, el paquete de comunicaciones de labview ofrece un entorno de diseño integrado con hardware de radio definido por software (SDR) compatible con prototipos USRP basados en PC, USRP RIO, FlexRIO y FPGA. En conjunto con las dos herramientas permiten crear prototipos o emular sistemas inalámbricos a través de bloques de programación flexibles.

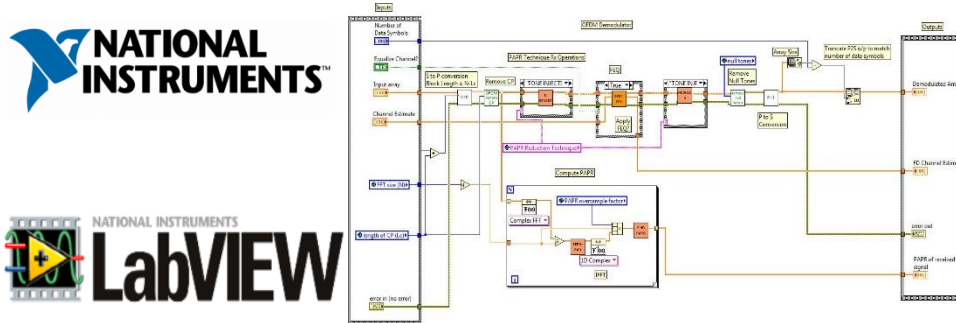
Tiene capacidad para la representación de sistemas de comunicaciones con uso de OFDM.

Específicamente el paquete de modulación permite crear módulos para:

- Generación de bits PRBS o configurables por el usuario
- Modulación y demodulación digital (4, 8, 16, 32, 64, 128, 256-QAM) (BPSK, QPSK, OQPSK, DQPSK, p/4 DQPSK) entre otros.
- Funciones de análisis de modulación, por ejemplo: Balance IQ, MER, rho, error de fase.

- Códigos de canal incluidos Reed-Solomon, BCH, LDPC, convolucional.

Por lo tanto, es posible realizar trabajos relacionados con los sistemas LTE y TDT.



Logotipo NI LabView y bloques de programación demodulador OFDM. Labview

- **USRP.**

Es una interfaz de plataforma de hardware abierta para construir sistemas SDR desarrollada por Matt Ettus. Es compatible con varios sistemas de SDR. “Los productos de radio USRP software están diseñados para aplicaciones desde DC hasta 6GHz, incluyendo arreglos de antena MIMO. Los ejemplos de las áreas de aplicación incluyen espacios blancos, comunicaciones móviles, monitoreo del espectro, redes de radio, radio cognitiva, navegación satelital y radio aficionada.” (Ettus Research, 2016)



Diferentes modelos USRP.

El módulo de *hardware* USRP provee una conversión directa de alta velocidad análoga-digital, digital-análoga con conversores ADC y DAC en conjunto con una FPGA programable para conversiones DDC-*digital downconversion* y DUC- *digital upconversion*. La cadena de control de recepción comienza con una conversión que es capaz de recibir señales muy bajas y digitalizarlas usando DDC en señales banda base en fase (I) y en

cuadratura (Q), posteriormente se hace conversión de alta velocidad ADC, luego los datos pasan al DDC para reducir la tasa de muestreo y empaquetar las señales I-Q para transmitirlos a un PC a través de una interfaz ethernet para el procesamiento.

El control de transmisión inicia con el computador donde las señales I – Q son generadas y transferidas por la interfaz ethernet. El DUC prepara la señal para el conversor DAC, luego las señales I – Q son mezcladas para producir la señal RF, amplificarla y transitarla.

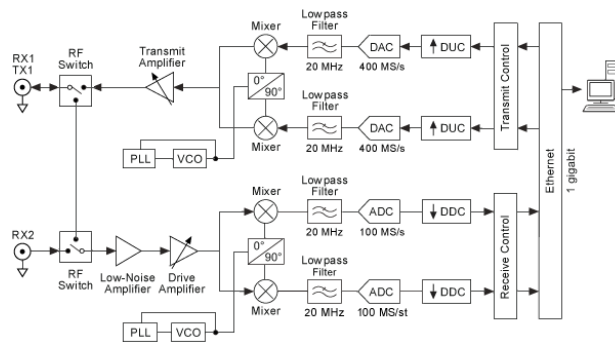


Diagrama general de bloques USRP. (National Instruments, 2015)



## ANEXO 2: CUADRO DE FRECUENCIAS COLOMBIA 54 – 806MHz

Tomando la información contenida en el cuadro actual de frecuencias y las perspectivas de movimientos y planes de manejo de frecuencia para la televisión digital terrestre, se construyó el siguiente cuadro que contiene las bandas, canales, usos actuales y posibles usos en las frecuencias comprendidas entre 54 MHz y 806 MHz.

### Frecuencias 57 MHz -216 MHz

BANDA	VHF											
	I			II		III						
Canal TV	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Frecuencia Central (MHz)	57	63	69	79	85	177	183	189	195	201	207	213
Frecuencia Inicial (MHz)	54	60	66	76	82	174	180	186	192	198	204	210
Frecuencia Final (MHz)	60	66	72	82	88	180	186	192	198	204	210	216
Ancho del canal (MHz)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
FASE SIMULCAST PTTV	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA
USO Post Apagón	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA	TVA
Posibles servicios	TV Analógica											

### Frecuencias 473 MHz -614 MHz

BANDA	UHF																															
	IV																															
Canal TV	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37								
Frecuencia Central (MHz)	473	479	485	491	497	503	509	515	521	527	533	539	545	551	557	563	569	575	581	587	593	599	605	611								
Frecuencia Inicial (MHz)	470	476	482	488	494	500	506	512	518	524	530	536	542	548	554	560	566	572	578	584	590	596	602	608								
Frecuencia Final (MHz)	476	482	488	494	500	506	512	518	524	530	536	542	548	554	560	566	572	578	584	590	596	602	608	614								
Ancho del canal (MHz)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6								
FASE SIMULCAST PTTV	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	RAS							
USO Post Apagón	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	TDT	RAS							
Posibles servicios	TDT																															

### Frecuencias 617 MHz -698 MHz

BANDA	UHF														
	IV					V									
Canal TV	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	
Frecuencia Central (MHz)	617	623	629	635	641	647	653	659	665	671	677	683	689	695	
Frecuencia Inicial (MHz)	614	620	626	632	638	644	650	656	662	668	674	680	686	692	
Frecuencia Final (MHz)	620	626	632	638	644	650	656	662	668	674	680	686	692	698	
Ancho del canal (MHz)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
FASE SIMULCAST PTTV	OPC	OPC	OPC	OPC	TDT3	TDT3	TDT3	TDT3	TDT3	TDT3	TDT3	TDT3	TDT3	TDT3	BG
USO Post Apagón	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
Posibles servicios	Posible uso IMT En Estudio														

## Frecuencias 698 MHz -806 MHz

BANDA	UHF																				
	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69			
Canal TV	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69			
Frecuencia Central (MHz)	701	707	713	719	725	731	737	743	749	755	761	767	773	779	785	791	797	803			
Frecuencia Inicial (MHz)	698	703	704	710	716	722	728	734	740	746	748	752	758	764	770	776	782	788	794	800	803
Frecuencia Final (MHz)	703	704	710	716	722	728	734	740	746	748	752	758	764	770	776	782	788	794	800	803	806
Ancho del canal (MHz)	5	1	6	6	6	6	6	6	6	2	4	6	6	6	6	6	6	6	3	3	
FASE SIMULCAST PTTV	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
USO Post Apagón	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Posibles servicios	BG	LTE UPLINK									LTE DOWNLINK										

### Nomenclatura:

**BG:** Banda de guarda.

**NA:** No Aplica

**OPC:** Opcional.

**SRA:** Servicio de Radio Astronomía.

**SD:** Sin Definición.

**TVA:** Televisión analógica.

**TDT:** Televisión Digital Terrestre.

**TDT3:** Televisión Digital Terrestre Tercer Canal.

### ANEXO 3: PLAN TECNICO DE TELEVISIÓN - PTTV

De acuerdo al cuadro anexo, incluido dentro de la publicación de la resolución 405 de 2016 de la ANE (ANE, 2016), en la que se realiza la más reciente actualización del plan técnico de televisión, se determinaron los casos más críticos de uso de frecuencias de TDT en la sub-banda 614 a 698MHz.

En el cuadro anexo de la resolución se muestra la distribución por municipio de los canales asignados para la operación nacional privada, la operación nacional pública y la operación local, tanto en la fase actual como en la fase postapagón. De igual forma se presentan las asignaciones para la operación de un tercer y cuarto operador privado.

CANTON	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	OPERACIÓN NACIONAL PRIVADA				OPERACIÓN NACIONAL PÚBLICA		OPERACIÓN LOCAL				OPERACIÓN NACIONAL PRIVADA (POSTAPAGÓN)				
			MULTIPLEX 1 (POSTAPAGÓN)	MULTIPLEX 2 (POSTAPAGÓN)	MULTIPLEX 1 (POSTAPAGÓN)	MULTIPLEX 1 (POSTAPAGÓN)	MULTIPLEX 1 (POSTAPAGÓN)	MULTIPLEX 2 (POSTAPAGÓN)	MULTIPLEX 1 (BRANDE DELICIOSO)	MULTIPLEX 1 (BRANDE DELICIOSO)	MULTIPLEX 1 (CON ANIMO DELICIOSO)	MULTIPLEX 1 (CON ANIMO DELICIOSO)	MULTIPLEX A1 (POSTAPAGÓN)	MULTIPLEX A2 (POSTAPAGÓN)			
AMBIZOAS	CAUCA	AMBIZOAS	14	14	22	22											

Se verificaron los casos de mayor recurrencia por número de municipios y canales reservados dentro de un conjunto de 1147 municipios de Colombia presentados en el anexo. De esta manera obtuvo los datos descritos a continuación.

- Canal 49: 48 municipios con asignación para mux 1 privado.
- Canal 41: 34 municipios con asignación para mux 1 privado.
- Canal 42: 76 municipios con asignación para mux 2 privado.
- Canal 45: 48 municipios con asignación para mux 2 privado.
- Canal 38: 33 municipios con asignación para mux 1 nacional público.
- Canal 40: 13 municipios con asignación para mux 1 nacional público.
- Canal 39: 26 municipios con asignación para mux 1 regional público.
- Canal 40: 50 municipios con asignación para mux 1 regional público.
- Canal 48: 45 municipios con asignación para mux 1 regional público.
- Canal 43: 47 municipios con asignación para mux 1 tercer canal nacional privado.
- Canal 47: 30 municipios con asignación para mux 1 tercer canal nacional privado.
- Canal 50: 60 municipios con asignación para mux 1 tercer canal nacional privado.
- Canales 42 al 50: 167 Municipios con asignación para mux 1 tercer canal privado.

De manera que son posibles los escenarios de interferencia tanto en la fase simulcast como en la fase postapagón. Para el detalle de frecuencias y distribución por municipios de los

canales y frecuencias en las diferentes fases de PTTV, remitirse al anexo de la resolución disponible en: <http://www.ane.gov.co/index.php/2015-12-08-19-08-23/noticias/491-ane-publica-resolucion-sobre-plan-tecnico-de-television>.

## ANEXO 4: TABLAS DE REGISTRO DE RESULTADOS SIMULACIONES

A continuación, se presentan las tablas de resultado donde se registraron los valores obtenidos a través de las simulaciones para cada uno de los casos planteados. En cada prueba se registró el valor del número de la prueba, las frecuencias de operación de cada sistema, la banda de guarda, la relación C/I o I/N, la distancia de protección, el promedio del nivel de la señal deseada, el promedio de la señal no deseada y la probabilidad de interferencia debida a la señal no deseada.

Los valores registrados en las tablas como fuera de rango, hacen referencia al resultado en la simulación donde no se obtuvo un valor, debido a que este estaba por debajo del nivel de señal que se podía registrar dentro de la prueba en SEAMCAT.

- **Tabla resultados caso 1A.**

Los siguientes valores corresponden al caso 1A, en el que el transmisor DVB-T2 interfiere a un receptor eNB de LTE, en el escenario de operación simulcast del PTTV.

<b>Sistema interferente</b>	DVB-T2	6 MHz
<b>Sistema víctima</b>	LTE eNB	10 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2 (MHz)	fc LTE (MHz)	Banda de guarda (MHz)	Relación C/I	Distancia Relativa (km)	Promedio Nivel de señal deseada (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	641	633	0	-10	1	-86,02	-83,02	73,25
2	641	633	0	-10	2	-85,96	-88,88	57,33
3	641	633	0	-10	3	-86,07	-95,49	36,72
4	641	633	0	-10	4	-86,49	-99,02	23,51
5	641	633	0	-10	5	-85,46	-102,64	17,69
6	641	633	0	-10	6	-86,74	-105,58	9,98
7	641	633	0	-10	7	-86,25	-108,1	6,58
8	641	633	0	-10	8	-86,18	-109,62	4,98
9	641	633	0	-10	9	-85,92	-111,74	4,55
10	641	633	0	-10	10	-86,53	-112,88	2,40
11	641	633	0	-10	11	-86,63	-115	1,53
12	641	633	0	-10	12	-86,28	-115,85	1,32

13	641	633	0	-10	13	-85,85	-116,84	1,63
14	641	633	0	-10	14	-86,67	-118,61	1,10
15	641	633	0	-10	15	-85,99	-119,7	0,22
16	641	633	0	-10	16	-86,35	-120,13	0,45
17	641	633	0	-10	17	-86,92	-121,78	0,00
18	641	633	0	-10	18	-86,07	-122,19	0,11
19	641	633	0	-10	19	-86,08	-123,38	0,11
20	641	633	0	-10	20	-86,4	-123,13	0,00
21	641	632	1	-10	1	-86,5	-117,74	20,07
22	641	632	1	-10	2	-86,01	-123,57	9,04
23	641	632	1	-10	3	-86,5	-129,59	2,81
24	641	632	1	-10	4	-86,61	-134,33	0,33
25	641	632	1	-10	5	-86,64	-137,24	0,44
26	641	632	1	-10	6	-86,46	-140,31	0,33
27	641	632	1	-10	7	-85,89	-142,65	0,00
28	641	632	1	-10	8	-85,88	-143,93	0,00
29	641	632	1	-10	9	-86,27	-146,05	0,00
30	641	632	1	-10	10	-85,96	-148,39	0,00
31	641	632	1	-10	11	-86,24	-149,44	0,00
32	641	632	1	-10	12	-86,01	-150,79	0,00
33	641	632	1	-10	13	-85,6	-151,91	0,00
34	641	632	1	-10	14	-86,02	-153,04	0,00
35	641	632	1	-10	15	-85,77	-154,37	0,00
36	641	632	1	-10	16	-86,32	-155,27	0,00
37	641	632	1	-10	17	-86,1	-156,89	0,00
38	641	632	1	-10	18	-86,43	-157,41	0,00
39	641	632	1	-10	19	-86,43	-158,48	0,00
40	641	632	1	-10	20	-85,99	-156,13	0,00
41	641	631	2	-10	1	-86,01	-143,55	0,11
42	641	631	2	-10	2	-86,01	-149,49	0,00
43	641	631	2	-10	3	-86,41	-155,9	0,00
44	641	631	2	-10	4	-86,52	-160,1	0,00
45	641	631	2	-10	5	-86,26	-163,18	0,00
46	641	631	2	-10	6	-85,82	-166,25	0,00
47	641	631	2	-10	7	-86,34	-169,12	0,00
48	641	631	2	-10	8	-86,28	-170,24	0,00
49	641	631	2	-10	9	-86,21	-172,98	0,00
50	641	631	2	-10	10	-86,19	-175,17	0,00
51	641	631	2	-10	11	-86,92	-177,62	0,00

52	641	631	2	-10	12	-86,15	-178,64	0,00
53	641	631	2	-10	13	-85,88	-179,32	0,00
54	641	631	2	-10	14	-86,23	-180,54	0,00
55	641	631	2	-10	15	-86,95	-182,4	0,00
56	641	631	2	-10	16	-86,21	-183,94	0,00
57	641	631	2	-10	17	-86,14	-184,21	0,00
58	641	631	2	-10	18	-86,59	-185,62	0,00
59	641	631	2	-10	19	-86,59	-187,8	0,00
60	641	631	2	-10	20	-86,17	-188,23	0,00
61	641	630	3	-10	1	-86,32	-176,24	0,00
62	641	630	3	-10	2	-86,49	-179,45	0,00
63	641	630	3	-10	3	-86,92	-182,78	0,00
64	641	630	3	-10	4	-86,17	-185,62	0,00
65	641	630	3	-10	5	-86,41	-188,71	0,00
66	641	630	3	-10	6	-86,45	-191,45	0,00
67	641	630	3	-10	7	-86,97	-193,28	0,00
68	641	630	3	-10	8	-86,2	-194,63	0,00
69	641	630	3	-10	9	-86,53	-195,24	0,00
70	641	630	3	-10	10	-86,48	-196,87	0,00
71	641	630	3	-10	11	-86,78	-198,01	0,00
72	641	630	3	-10	12	-86,24	-199,24	0,00
73	641	630	3	-10	13	-86,34	-200,32	0,00
74	641	630	3	-10	14	-86,47	-201,64	0,00
75	641	630	3	-10	15	-86,32	-202,31	0,00
76	641	630	3	-10	16	-86,14	-203,41	0,00
77	641	630	3	-10	17	-86,18	-204,32	0,00
78	641	630	3	-10	18	-86,75	-205,62	0,00
79	641	630	3	-10	19	-86,42	-206,42	0,00
80	641	630	3	-10	20	-86	-207,31	0,00
81	641	628	5	-10	1	-86,15	Fuera de rango	0,00
82	641	628	5	-10	2	-86,32	Fuera de rango	0,00
83	641	628	5	-10	3	-86,49	Fuera de rango	0,00
84	641	628	5	-10	4	-86,72	Fuera de rango	0,00
85	641	628	5	-10	5	-86,93	Fuera de rango	0,00
86	641	628	5	-10	6	-86,13	Fuera de rango	0,00
87	641	628	5	-10	7	-86,71	Fuera de rango	0,00
88	641	628	5	-10	8	-86,66	Fuera de rango	0,00

89	641	628	5	-10	9	-86,46	Fuera de rango	0,00
90	641	628	5	-10	10	-86,21	Fuera de rango	0,00
91	641	628	5	-10	11	-86,13	Fuera de rango	0,00
92	641	628	5	-10	12	-86,17	Fuera de rango	0,00
93	641	628	5	-10	13	-86,14	Fuera de rango	0,00
94	641	628	5	-10	14	-86,29	Fuera de rango	0,00
95	641	628	5	-10	15	-86,24	Fuera de rango	0,00
96	641	628	5	-10	16	-86,5	Fuera de rango	0,00
97	641	628	5	-10	17	-86,42	Fuera de rango	0,00
98	641	628	5	-10	18	-86,49	Fuera de rango	0,00
99	641	628	5	-10	19	86,21	Fuera de rango	0,00
100	641	628	5	-10	20	-86,14	Fuera de rango	0,00
101	641	623	10	-10	1	-86,21	Fuera de rango	0,00
102	641	623	10	-10	2	-86,92	Fuera de rango	0,00
103	641	623	10	-10	3	-86,21	Fuera de rango	0,00
104	641	623	10	-10	4	-86,36	Fuera de rango	0,00
105	641	623	10	-10	5	-86,72	Fuera de rango	0,00
106	641	623	10	-10	6	-86,79	Fuera de rango	0,00
107	641	623	10	-10	7	-86,19	Fuera de rango	0,00
108	641	623	10	-10	8	-86,52	Fuera de rango	0,00
109	641	623	10	-10	9	-86,36	Fuera de rango	0,00
110	641	623	10	-10	10	-86,47	Fuera de rango	0,00
111	641	623	10	-10	11	-86,12	Fuera de rango	0,00
112	641	623	10	-10	12	-86,94	Fuera de rango	0,00
113	641	623	10	-10	13	-85,86	Fuera de rango	0,00
114	641	623	10	-10	14	-86,4	Fuera de rango	0,00
115	641	623	10	-10	15	-86,44	Fuera de rango	0,00
116	641	623	10	-10	16	-86,62	Fuera de rango	0,00
117	641	623	10	-10	17	-86,31	Fuera de rango	0,00
118	641	623	10	-10	18	-86,92	Fuera de rango	0,00
119	641	623	10	-10	19	-86,2	Fuera de rango	0,00
120	641	623	10	-10	20	86,25	Fuera de rango	0,00



<b>121</b>	641	618	15	-10	1	-86,49	Fuera de rango	0,00
<b>122</b>	641	618	15	-10	2	-86,47	Fuera de rango	0,00
<b>123</b>	641	618	15	-10	3	-86,23	Fuera de rango	0,00
<b>124</b>	641	618	15	-10	4	-86,35	Fuera de rango	0,00
<b>125</b>	641	618	15	-10	5	-86,36	Fuera de rango	0,00
<b>126</b>	641	618	15	-10	6	-86,31	Fuera de rango	0,00
<b>127</b>	641	618	15	-10	7	-86,72	Fuera de rango	0,00
<b>128</b>	641	618	15	-10	8	-86,17	Fuera de rango	0,00
<b>129</b>	641	618	15	-10	9	-86,14	Fuera de rango	0,00
<b>130</b>	641	618	15	-10	10	-86,32	Fuera de rango	0,00
<b>131</b>	641	618	15	-10	11	-86,76	Fuera de rango	0,00
<b>132</b>	641	618	15	-10	12	-86,45	Fuera de rango	0,00
<b>133</b>	641	618	15	-10	13	-86,42	Fuera de rango	0,00
<b>134</b>	641	618	15	-10	14	-86,12	Fuera de rango	0,00
<b>135</b>	641	618	15	-10	15	-86,47	Fuera de rango	0,00
<b>136</b>	641	618	15	-10	16	-86,12	Fuera de rango	0,00
<b>137</b>	641	618	15	-10	17	-86,94	Fuera de rango	0,00
<b>138</b>	641	618	15	-10	18	-86,32	Fuera de rango	0,00
<b>139</b>	641	618	15	-10	19	-86,24	Fuera de rango	0,00
<b>140</b>	641	618	15	-10	20	-86,45	Fuera de rango	0,00

- **Tabla resultados caso 1B.**

Los siguientes valores corresponden al caso 1B, en el que el transmisor DVB-T2 interfiere a un receptor eNB de LTE, en el escenario de operación post apagón del PTTV.

<b>Sistema interferente</b>	DVB-T2	6 MHz
<b>Sistema víctima</b>	LTE eNB	10 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2 (MHz)	fc LTE (MHz)	Banda de guarda (MHz)	Relación I/N	Distancia Relativa (km)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	635	643	0	-10	1	-87	-82,57	73,81
2	635	643	0	-10	2	-86,37	-88,38	60,07
3	635	643	0	-10	3	-86,54	-95,04	37,64
4	635	643	0	-10	4	-86,64	-99,26	23,75
5	635	643	0	-10	5	-86,48	-102,84	16,43
6	635	643	0	-10	6	-85,88	-104,99	9,24
7	635	643	0	-10	7	-86,58	-107,96	7,45
8	635	643	0	-10	8	-86,62	-109,95	5,89
9	635	643	0	-10	9	-86,33	-111,62	3,91
10	635	643	0	-10	10	-86,24	-113,33	1,54
11	635	643	0	-10	11	-86,66	-114,39	2,58
12	635	643	0	-10	12	-86,19	-115,71	1,86
13	635	643	0	-10	13	-86,19	-117,13	0,55
14	635	643	0	-10	14	-86,66	-118,45	0,78
15	635	643	0	-10	15	-86,51	-119,46	0,44
16	635	643	0	-10	16	-86,29	-120,51	0,00
17	635	643	0	-10	17	-86,35	-121,19	0,11
18	635	643	0	-10	18	-86,32	-122,31	0,00
19	635	643	0	-10	19	-86,17	-122,78	0,00
20	635	643	0	-10	20	-85,64	-123,39	0,00
21	635	644	1	-10	1	-86,53	-116,95	22,12
22	635	644	1	-10	2	-86,25	-123,51	9,01
23	635	644	1	-10	3	-86,08	-129,61	3,31
24	635	644	1	-10	4	-86,47	-133,6	1,44
25	635	644	1	-10	5	-86,26	-137,4	1,00
26	635	644	1	-10	6	-86,24	-140,02	0,22

27	635	644	1	-10	7	-86,35	-142,09	0,11
28	635	644	1	-10	8	-86,49	-144,66	0,00
29	635	644	1	-10	9	-86,51	-146,38	0,00
30	635	644	1	-10	10	-86,82	-147,6	0,00
31	635	644	1	-10	11	-86	-149,84	0,00
32	635	644	1	-10	12	-86,74	-150,84	0,00
33	635	644	1	-10	13	-86,28	-151,7	0,00
34	635	644	1	-10	14	-86,27	-152,88	0,00
35	635	644	1	-10	15	-86,06	-154,21	0,00
36	635	644	1	-10	16	-86,53	-155,5	0,00
37	635	644	1	-10	17	-85,96	-156,83	0,00
38	635	644	1	-10	18	-86,61	-157,06	0,00
39	635	644	1	-10	19	-86,53	-157,89	0,00
40	635	644	1	-10	20	-86,46	-157,86	0,00
41	635	645	2	-10	1	-86,06	-144,41	0,11
42	635	645	2	-10	2	-86,84	-149,74	0,00
43	635	645	2	-10	3	-86,21	-155,25	0,00
44	635	645	2	-10	4	-86,71	-160,24	0,00
45	635	645	2	-10	5	-86,78	163,84	0,00
46	635	645	2	-10	6	-86,45	-166,18	0,00
47	635	645	2	-10	7	-86,37	-169,24	0,00
48	635	645	2	-10	8	-86,01	-170,76	0,00
49	635	645	2	-10	9	-87,07	-172,7	0,00
50	635	645	2	-10	10	-86,52	-174,06	0,00
51	635	645	2	-10	11	-85,87	-175,67	0,00
52	635	645	2	-10	12	-86,27	-176,3	0,00
53	635	645	2	-10	13	-86,58	-177,24	0,00
54	635	645	2	-10	14	-86,08	-178,51	0,00
55	635	645	2	-10	15	-85,8	-180,3	0,00
56	635	645	2	-10	16	-85,8	-181,38	0,00
57	635	645	2	-10	17	-86,34	-181,96	0,00
58	635	645	2	-10	18	-86,4	-183,64	0,00
59	635	645	2	-10	19	-86,15	-183,67	0,00
60	635	645	2	-10	20	-86,45	-185,22	0,00
61	635	646	3	-10	1	-86,52	-154,21	0,00
62	635	646	3	-10	2	-86,07	-160,63	0,00
63	635	646	3	-10	3	-86,29	-166,65	0,00
64	635	646	3	-10	4	-86,31	-171,18	0,00
65	635	646	3	-10	5	-86,44	-174,27	0,00

66	635	646	3	-10	6	-86,18	-177,6	0,00
67	635	646	3	-10	7	-85,66	-179,54	0,00
68	635	646	3	-10	8	-86,27	-182,05	0,00
69	635	646	3	-10	9	-86,16	-183,46	0,00
70	635	646	3	-10	10	-85,18	-183,23	0,00
71	635	646	3	-10	11	-85,28	-185,41	0,00
72	635	646	3	-10	12	-86,38	-187,84	0,00
73	635	646	3	-10	13	-86,31	-188,82	0,00
74	635	646	3	-10	14	-86,42	-190,03	0,00
75	635	646	3	-10	15	-85,98	-191,1	0,00
76	635	646	3	-10	16	-86,76	-192,17	0,00
77	635	646	3	-10	17	-86,25	-193,24	0,00
78	635	646	3	-10	18	-86,51	-194,17	0,00
79	635	646	3	-10	19	-86,27	-194,82	0,00
80	635	646	3	-10	20	-85,99	-196,2	0,00
81	635	648	5	-10	1	-86,2	Fuera de rango	0,00
82	635	648	5	-10	2	-86,24	Fuera de rango	0,00
83	635	648	5	-10	3	-86,12	Fuera de rango	0,00
84	635	648	5	-10	4	-85,92	Fuera de rango	0,00
85	635	648	5	-10	5	-86,46	Fuera de rango	0,00
86	635	648	5	-10	6	-86,36	Fuera de rango	0,00
87	635	648	5	-10	7	-86,6	Fuera de rango	0,00
88	635	648	5	-10	8	-86,31	Fuera de rango	0,00
89	635	648	5	-10	9	-86,17	Fuera de rango	0,00
90	635	648	5	-10	10	-85,24	Fuera de rango	0,00
91	635	648	5	-10	11	-85,7	Fuera de rango	0,00
92	635	648	5	-10	12	-85,88	Fuera de rango	0,00
93	635	648	5	-10	13	-86,12	Fuera de rango	0,00
94	635	648	5	-10	14	-86,5	Fuera de rango	0,00
95	635	648	5	-10	15	-86,52	Fuera de rango	0,00
96	635	648	5	-10	16	-86,72	Fuera de rango	0,00
97	635	648	5	-10	17	-85,74	Fuera de rango	0,00
98	635	648	5	-10	18	-86,12	Fuera de rango	0,00
99	635	648	5	-10	19	-86,32	Fuera de rango	0,00
100	635	648	5	-10	20	-86,54	Fuera de rango	0,00
101	635	653	10	-10	1	-86,41	Fuera de rango	0,00
102	635	653	10	-10	2	-86,64	Fuera de rango	0,00
103	635	653	10	-10	3	-86,42	Fuera de rango	0,00
104	635	653	10	-10	4	-86,32	Fuera de rango	0,00

105	635	653	10	-10	5	-86,24	Fuera de rango	0,00
106	635	653	10	-10	6	-86,24	Fuera de rango	0,00
107	635	653	10	-10	7	-86,24	Fuera de rango	0,00
108	635	653	10	-10	8	-86,31	Fuera de rango	0,00
109	635	653	10	-10	9	-86,24	Fuera de rango	0,00
110	635	653	10	-10	10	-86,64	Fuera de rango	0,00
111	635	653	10	-10	11	-85,74	Fuera de rango	0,00
112	635	653	10	-10	12	-85,32	Fuera de rango	0,00
113	635	653	10	-10	13	-85,62	Fuera de rango	0,00
114	635	653	10	-10	14	-85,62	Fuera de rango	0,00
115	635	653	10	-10	15	-85,41	Fuera de rango	0,00
116	635	653	10	-10	16	-85,31	Fuera de rango	0,00
117	635	653	10	-10	17	-85,94	Fuera de rango	0,00
118	635	653	10	-10	18	-85,61	Fuera de rango	0,00
119	635	653	10	-10	19	-85,21	Fuera de rango	0,00
120	635	653	10	-10	20	-85,63	Fuera de rango	0,00
121	635	658	15	-10	1	-86,34	Fuera de rango	0,00
122	635	658	15	-10	2	-85,94	Fuera de rango	0,00
123	635	658	15	-10	3	-85,62	Fuera de rango	0,00
124	635	658	15	-10	4	-86,31	Fuera de rango	0,00
125	635	658	15	-10	5	-86,84	Fuera de rango	0,00
126	635	658	15	-10	6	-86,42	Fuera de rango	0,00
127	635	658	15	-10	7	-86,12	Fuera de rango	0,00
128	635	658	15	-10	8	-86,32	Fuera de rango	0,00
129	635	658	15	-10	9	-86,21	Fuera de rango	0,00
130	635	658	15	-10	10	-86,14	Fuera de rango	0,00
131	635	658	15	-10	11	-85,63	Fuera de rango	0,00
132	635	658	15	-10	12	-86,41	Fuera de rango	0,00
133	635	658	15	-10	13	-85,62	Fuera de rango	0,00
134	635	658	15	-10	14	-86,34	Fuera de rango	0,00
135	635	658	15	-10	15	-85,47	Fuera de rango	0,00
136	635	658	15	-10	16	-86,31	Fuera de rango	0,00
137	635	658	15	-10	17	-86,75	Fuera de rango	0,00
138	635	658	15	-10	18	-85,74	Fuera de rango	0,00
139	635	658	15	-10	19	-85,62	Fuera de rango	0,00
140	635	658	15	-10	20	-85,31	Fuera de rango	0,00

- **Tabla resultados caso 2A**

Los siguientes valores corresponden al caso 2A, en el que el transmisor DVB-T2 interfiere a un receptor UE de LTE en modo de recepción interior, en el escenario de operación simulcast del PTTV.

<b>Sistema interferente</b>	DVB-T2	6 MHz
<b>Sistema víctima</b>	UE LTE indoor	10 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2	fc LTE	Banda de guarda (MHz)	Relación I/N	Distancia Relativa (km)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	641	633	0	-6	0,1	-74,04	-71,68	86,72
2	641	633	0	-6	0,2	-74,07	-82,32	72,10
3	641	633	0	-6	0,3	-73,7	-88,76	59,21
4	641	633	0	-6	0,4	-74,13	-92,94	50,15
5	641	633	0	-6	0,5	-73,79	-96,17	41,11
6	641	633	0	-6	0,6	-73,71	-99,36	29,26
7	641	633	0	-6	0,7	-74,53	-101,99	25,51
8	641	633	0	-6	0,8	-73,98	-103,58	20,10
9	641	633	0	-6	0,9	-74,12	-105,16	17,69
10	641	633	0	-6	1	-73,69	-106,89	14,36
11	641	633	0	-6	1,1	-73,6	-107,71	11,38
12	641	633	0	-6	1,2	-74,32	-109,99	8,88
13	641	633	0	-6	1,3	-73,68	-111,09	7,27
14	641	633	0	-6	1,4	-74,11	-112,01	6,89
15	641	633	0	-6	1,5	-74,09	-113,11	5,55
16	641	633	0	-6	1,6	-74,18	-113,97	4,74
17	641	633	0	-6	1,7	-74,29	-115,51	3,86
18	641	633	0	-6	1,8	-74,38	-115,97	2,79
19	641	633	0	-6	1,9	-74,14	-117,05	1,80
20	641	633	0	-6	2	-73,91	-117,71	0,80
21	641	633	0	-6	2,1	-73,82	-118,1	0,00
22	641	633	0	-6	2,2	-74,76	-119,34	0,00
23	641	633	0	-6	2,3	-74,33	-120,06	0,00
24	641	633	0	-6	2,4	-74,4	-120,39	0,00
25	641	632	1	-6	0,1	-73,76	-106,21	25,50

26	641	632	1	-6	0,2	-74,14	-117,64	9,83
27	641	632	1	-6	0,3	-74,03	-123,23	4,26
28	641	632	1	-6	0,4	-74,43	-128,24	1,43
29	641	632	1	-6	0,5	-74,42	-130,74	0,20
30	641	632	1	-6	0,6	-73,78	-133,66	0,10
31	641	632	1	-6	0,7	-74,2	-135,91	0,00
32	641	632	1	-6	0,8	-73,88	-138,56	0,00
33	641	632	1	-6	0,9	-74,4	-139,96	0,00
34	641	632	1	-6	1	-73,58	-141,58	0,00
35	641	632	1	-6	1,1	-74,24	-142,94	0,00
36	641	632	1	-6	1,2	-73,86	-144,17	0,00
37	641	632	1	-6	1,3	-74,77	-145,36	0,00
38	641	632	1	-6	1,4	-74,58	-146,73	0,00
39	641	632	1	-6	1,5	-74,2	-148,4	0,00
40	641	632	1	-6	1,6	-74,71	-149,03	0,00
41	641	632	1	-6	1,7	-74,09	-149,42	0,00
42	641	632	1	-6	1,8	-74,37	-150,46	0,00
43	641	632	1	-6	1,9	-74,54	-152,18	0,00
44	641	632	1	-6	2	-73,76	-152,22	0,00
45	641	631	2	-6	0,1	-74,12	-132,6	1,72
46	641	631	2	-6	0,2	-74,45	-143,39	0,30
47	641	631	2	-6	0,3	-74,03	-149,49	0,10
48	641	631	2	-6	0,4	-73,9	-154,33	0,00
49	641	631	2	-6	0,5	-74,24	-157,69	0,00
50	641	631	2	-6	0,6	-74,22	-160,19	0,00
51	641	631	2	-6	0,7	-74,2	-162,19	0,00
52	641	631	2	-6	0,8	-74,08	-164,73	0,00
53	641	631	2	-6	0,9	-74,05	-166,39	0,00
54	641	631	2	-6	1	-73,43	-168,11	0,00
55	641	631	2	-6	1,1	-74,28	-169,22	0,00
56	641	631	2	-6	1,2	-73,95	-171,18	0,00
57	641	631	2	-6	1,3	-74,22	-172,12	0,00
58	641	631	2	-6	1,4	-74,48	-173,28	0,00
59	641	631	2	-6	1,5	-74,43	-174,12	0,00
60	641	631	2	-6	1,6	-74,27	-175,04	0,00
61	641	631	2	-6	1,7	-74,29	-175,93	0,00
62	641	631	2	-6	1,8	-74,17	-176,69	0,00
63	641	631	2	-6	1,9	-73,78	-177,64	0,00
64	641	631	2	-6	2	-74,07	-178,48	0,00

65	641	630	3	-6	0,1	-73,87	-138,69	0,60
66	641	630	3	-6	0,2	-74,02	-148,77	0,40
67	641	630	3	-6	0,3	-74,72	-154,64	0,00
68	641	630	3	-6	0,4	-74,15	-158,93	0,00
69	641	630	3	-6	0,5	-74,16	-163,41	0,00
70	641	630	3	-6	0,6	-73,91	-131,18	0,00
71	641	630	3	-6	0,7	-74,25	-168,56	0,00
72	641	630	3	-6	0,8	-73,85	-168,79	0,00
73	641	630	3	-6	0,9	-74,4	-172,45	0,00
74	641	630	3	-6	1	-73,56	-174,16	0,00
75	641	630	3	-6	1,1	-73,84	-175,14	0,00
76	641	630	3	-6	1,2	-73,86	-177,01	0,00
77	641	630	3	-6	1,3	-74,11	-177,58	0,00
78	641	630	3	-6	1,4	-73,86	-179,18	0,00
79	641	630	3	-6	1,5	-74,14	-180,07	0,00
80	641	630	3	-6	1,6	-74,12	-181,03	0,00
81	641	630	3	-6	1,7	-13,92	-181,86	0,00
82	641	630	3	-6	1,8	-74,23	-182,88	0,00
83	641	630	3	-6	1,9	-73,58	-183,89	0,00
84	641	630	3	-6	2	-74,26	-184,37	0,00
85	641	628	5	-6	0,1	-74,02	-148,46	0,00
86	641	628	5	-6	0,2	-74,36	-152,24	0,00
87	641	628	5	-6	0,3	-74,21	-157,32	0,00
88	641	628	5	-6	0,4	-74,63	-162,34	0,00
89	641	628	5	-6	0,5	-74,28	-164,62	0,00
90	641	628	5	-6	0,6	-73,69	-166,21	0,00
91	641	628	5	-6	0,7	-74,13	-167,64	0,00
92	641	628	5	-6	0,8	-74,36	-168,95	0,00
93	641	628	5	-6	0,9	-74,81	-170,23	0,00
94	641	628	5	-6	1	-73,2	-171,7	0,00
95	641	628	5	-6	1,1	-73,69	-172,36	0,00
96	641	628	5	-6	1,2	-73,89	173,45	0,00
97	641	628	5	-6	1,3	-74,28	-174,62	0,00
98	641	628	5	-6	1,4	-74,16	-175,14	0,00
99	641	628	5	-6	1,5	-74,12	-176,35	0,00
100	641	628	5	-6	1,6	-74,63	-177,42	0,00
101	641	628	5	-6	1,7	-74,21	-178,32	0,00
102	641	628	5	-6	1,8	-74,62	-179,62	0,00
103	641	628	5	-6	1,9	-74,21	-182,05	0,00



104	641	628	5	-6	2	-74,39	-183,24	0,00
105	641	623	10	-6	0,1	-73,89	Fuera de rango	0,00
106	641	623	10	-6	0,2	-74,21	Fuera de rango	0,00
107	641	623	10	-6	0,3	-74,61	Fuera de rango	0,00
108	641	623	10	-6	0,4	-74,56	Fuera de rango	0,00
109	641	623	10	-6	0,5	-74,21	Fuera de rango	0,00
110	641	623	10	-6	0,6	-74,69	Fuera de rango	0,00
111	641	623	10	-6	0,7	-74,68	Fuera de rango	0,00
112	641	623	10	-6	0,8	-74,39	Fuera de rango	0,00
113	641	623	10	-6	0,9	-74,45	Fuera de rango	0,00
114	641	623	10	-6	1	-74,61	Fuera de rango	0,00
115	641	623	10	-6	1,1	-74,18	Fuera de rango	0,00
116	641	623	10	-6	1,2	-73,56	Fuera de rango	0,00
117	641	623	10	-6	1,3	-73,89	Fuera de rango	0,00
118	641	623	10	-6	1,4	-74,29	Fuera de rango	0,00
119	641	623	10	-6	1,5	-74,69	Fuera de rango	0,00
120	641	623	10	-6	1,6	-74,31	Fuera de rango	0,00
121	641	623	10	-6	1,7	-73,98	Fuera de rango	0,00
122	641	623	10	-6	1,8	-74,1	Fuera de rango	0,00
123	641	623	10	-6	1,9	-74,39	Fuera de rango	0,00
124	641	623	10	-6	2	-74,35	Fuera de rango	0,00
125	641	618	15	-6	0,1	-74,68	Fuera de rango	0,00
126	641	618	15	-6	0,2	-74,52	Fuera de rango	0,00
127	641	618	15	-6	0,3	-74,53	Fuera de rango	0,00
128	641	618	15	-6	0,4	-74,21	Fuera de rango	0,00
129	641	618	15	-6	0,5	-74,86	Fuera de rango	0,00
130	641	618	15	-6	0,6	-74,31	Fuera de rango	0,00
131	641	618	15	-6	0,7	-74,63	Fuera de rango	0,00
132	641	618	15	-6	0,8	-75,02	Fuera de rango	0,00
133	641	618	15	-6	0,9	-73,77	Fuera de rango	0,00
134	641	618	15	-6	1	-73,8	Fuera de rango	0,00
135	641	618	15	-6	1,1	-74,62	Fuera de rango	0,00

<b>136</b>	641	618	15	-6	1,2	-74,62	Fuera de rango	0,00
<b>137</b>	641	618	15	-6	1,3	-74,51	Fuera de rango	0,00
<b>138</b>	641	618	15	-6	1,4	-74,63	Fuera de rango	0,00
<b>139</b>	641	618	15	-6	1,5	-74,32	Fuera de rango	0,00
<b>140</b>	641	618	15	-6	1,6	-74,15	Fuera de rango	0,00
<b>141</b>	641	618	15	-6	1,7	-74,68	Fuera de rango	0,00
<b>142</b>	641	618	15	-6	1,8	-74,32	Fuera de rango	0,00
<b>143</b>	641	618	15	-6	1,9	-74,81	Fuera de rango	0,00
<b>144</b>	641	618	15	-6	2	-74,62	Fuera de rango	0,00

- **Tabla resultados escenario caso 2B**

Los siguientes valores corresponden al caso 2B, en el que el transmisor DVB-T2 interfiere a un receptor UE de LTE en modo de recepción interior, en el escenario de operación post apagón del PTTV.

<b>Sistema interferente</b>	DVB-T2	6 MHz
<b>Sistema victima</b>	UE LTE indoor	10 MHz

Nº Prueba	fc DVB-T2	fc LTE	Banda de guarda (MHz)	Relación I/N	Distancia Relativa (km)	Promedio nivel de señal deseado. (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada. (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada. (%)
1	635	643	0	-6	0,1	-74,49	-71,87	86,28
2	635	643	0	-6	0,2	-74,02	-82,05	71,53
3	635	643	0	-6	0,3	-73,9	-87,59	62,83
4	635	643	0	-6	0,4	-74,45	-93,8	51,01
5	635	643	0	-6	0,5	-74,26	-96,02	40,77
6	635	643	0	-6	0,6	-74,51	-99,36	33,00
7	635	643	0	-6	0,7	-74,35	-101,23	27,04
8	635	643	0	-6	0,8	-74,42	-103,92	20,30
9	635	643	0	-6	0,9	-74,1	-105,61	16,94
10	635	643	0	-6	1	-74,55	-107,18	13,37
11	635	643	0	-6	1,1	-74,49	-107,83	12,46
12	635	643	0	-6	1,2	-74,51	-109,87	11,35
13	635	643	0	-6	1,3	-73,96	-111,08	9,15
14	635	643	0	-6	1,4	-74,04	-111,94	7,06
15	635	643	0	-6	1,5	-73,86	-112,52	6,67
16	635	643	0	-6	1,6	-74,41	-113,6	5,63
17	635	643	0	-6	1,7	-74,43	-114,85	5,69
18	635	643	0	-6	1,8	-74,33	-116,39	3,76
19	635	643	0	-6	1,9	-74,01	-117,14	4,34
20	635	643	0	-6	2	-74,35	-117,42	2,42
21	635	643	0	-6	2,1	-73,96	-118,12	2,72
22	635	643	0	-6	2,2	-74,46	-119,18	2,20
23	635	643	0	-6	2,3	-73,9	-119,74	1,72
24	635	643	0	-6	2,4	-74,66	-120,29	1,52
25	635	643	0	-6	2,5	-74,02	-121,01	1,71

26	635	643	0	-6	2,6	-74,82	-121,9	1,52
27	635	643	0	-6	2,7	-74,53	-121,51	2,13
28	635	643	0	-6	2,8	-74,07	-122,63	1,01
29	635	643	0	-6	2,9	-74,56	-123,4	0,71
30	635	643	0	-6	3	-74,34	-123,86	1,01
31	635	643	0	-6	3,1	-74,03	-123,88	0,71
32	635	643	0	-6	3,2	-74,05	-124,8	0,20
33	635	643	0	-6	3,3	-73,92	-125,14	0,30
34	635	643	0	-6	3,4	-74,09	-125,79	0,51
35	635	643	0	-6	3,5	-74,22	-125,96	0,20
36	635	643	0	-6	3,6	-74,24	-126,4	0,70
37	635	643	0	-6	3,7	-74,22	-126,59	0,40
38	635	643	0	-6	3,8	-74,62	-126,79	0,90
39	635	643	0	-6	3,9	-73,95	-127,19	0,50
40	635	643	0	-6	4	-74,14	-128,62	0,20
41	635	643	0	-6	4,1	-74,51	-128,4	0,10
42	635	643	0	-6	4,2	-74,29	-128,82	0,00
43	635	643	0	-6	4,3	-74,17	-129,42	0,00
44	635	644	1	-6	0,1	-74,06	-106,52	24,60
45	635	644	1	-6	0,2	-74,36	-116,49	10,90
46	635	644	1	-6	0,3	-74,49	-123,17	4,35
47	635	644	1	-6	0,4	-74,51	-128,3	1,52
48	635	644	1	-6	0,5	-74,18	-131,01	0,40
49	635	644	1	-6	0,6	-74,88	-133,88	0,10
50	635	644	1	-6	0,7	-74,37	-135,7	0,10
51	635	644	1	-6	0,8	-74,4	-138,06	0,10
52	635	644	1	-6	0,9	-74,12	-140,08	0,00
53	635	644	1	-6	1	-74,43	-141,9	0,00
54	635	644	1	-6	1,1	-74,47	-142,59	0,00
55	635	644	1	-6	1,2	-74,59	-144,19	0,00
56	635	644	1	-6	1,3	-74,79	-145,47	0,00
57	635	644	1	-6	1,4	-74,27	-146,71	0,00
58	635	644	1	-6	1,5	-73,78	-147,57	0,00
59	635	644	1	-6	1,6	-74,3	-149,05	0,00
60	635	644	1	-6	1,7	-74,24	-149,46	0,00
61	635	644	1	-6	1,8	-74,15	-150,88	0,00
62	635	644	1	-6	1,9	-73,59	-151,66	0,00
63	635	644	1	-6	2	-74,32	-152,37	0,00
64	635	645	2	-6	0,1	-74,28	-132,39	1,91

65	635	645	2	-6	0,2	-74,76	-144	0,20
66	635	645	2	-6	0,3	-74,1	-149,68	0,20
67	635	645	2	-6	0,4	-74,25	-153,78	0,00
68	635	645	2	-6	0,5	-74,41	-157,18	0,00
69	635	645	2	-6	0,6	-74,27	-159,67	0,00
70	635	645	2	-6	0,7	-73,96	-162,11	0,00
71	635	645	2	-6	0,8	-74,1	-164,53	0,00
72	635	645	2	-6	0,9	-74,88	-165,96	0,00
73	635	645	2	-6	1	-73,94	-167,37	0,00
74	635	645	2	-6	1,1	-74,15	-169,21	0,00
75	635	645	2	-6	1,2	-74,62	-171,24	0,00
76	635	645	2	-6	1,3	-73,85	-171,92	0,00
77	635	645	2	-6	1,4	-74,61	-173,14	0,00
78	635	645	2	-6	1,5	-74,13	-174,06	0,00
79	635	645	2	-6	1,6	-74,92	-174,96	0,00
80	635	645	2	-6	1,7	-74,21	-176,24	0,00
81	635	645	2	-6	1,8	-74,51	-176,81	0,00
82	635	645	2	-6	1,9	-73,64	-177,56	0,00
83	635	645	2	-6	2	-74,27	-178,31	0,00
84	635	646	3	-6	0,1	-74,25	-138,05	1,82
85	635	646	3	-6	0,2	-74,27	-148,86	0,20
86	635	646	3	-6	0,3	-74,19	-155,71	0,00
87	635	646	3	-6	0,4	-74,26	-160,36	0,00
88	635	646	3	-6	0,5	-74,02	-162,79	0,00
89	635	646	3	-6	0,6	-74,61	-165,75	0,00
90	635	646	3	-6	0,7	-74,29	-167,74	0,00
91	635	646	3	-6	0,8	-74,06	-168,47	0,00
92	635	646	3	-6	0,9	-74,53	-170,03	0,00
93	635	646	3	-6	1	-74,31	-173,87	0,00
94	635	646	3	-6	1,1	-74,52	-175,54	0,00
95	635	646	3	-6	1,2	-74,16	-176,53	0,00
96	635	646	3	-6	1,3	-74,61	-177,83	0,00
97	635	646	3	-6	1,4	-74,26	-178,33	0,00
98	635	646	3	-6	1,5	-74,37	-179,91	0,00
99	635	646	3	-6	1,6	-74,4	-180,56	0,00
100	635	646	3	-6	1,7	-74,52	-181,63	0,00
101	635	646	3	-6	1,8	-74,21	-182,42	0,00
102	635	646	3	-6	1,9	-74,32	-183,18	0,00
103	635	646	3	-6	2	-74,1	-184,33	0,00

104	635	648	5	-6	0,1	-74,49	-150,65	0,61
105	635	648	5	-6	0,2	-74,39	-160,37	0,00
106	635	648	5	-6	0,3	-74,89	-166,61	0,00
107	635	648	5	-6	0,4	-74,35	-170,29	0,00
108	635	648	5	-6	0,5	-74,35	-173,55	0,00
109	635	648	5	-6	0,6	-74,12	-177,25	0,00
110	635	648	5	-6	0,7	-74,12	-179,25	0,00
111	635	648	5	-6	0,8	-74,01	-180,92	0,00
112	635	648	5	-6	0,9	-74,7	-183,21	0,00
113	635	648	5	-6	1	-74,27	-184,32	0,00
114	635	648	5	-6	1,1	-74,45	-185,62	0,00
115	635	648	5	-6	1,2	-74,62	-186,74	0,00
116	635	648	5	-6	1,3	-74,21	-187,62	0,00
117	635	648	5	-6	1,4	-74,32	-188,95	0,00
118	635	648	5	-6	1,5	-74,21	-190,14	0,00
119	635	648	5	-6	1,6	-74,62	-191,32	0,00
120	635	648	5	-6	1,7	-74,31	-192,5	0,00
121	635	648	5	-6	1,8	-74,16	-193,61	0,00
122	635	648	5	-6	1,9	-74,24	-194,26	0,00
123	635	648	5	-6	2	-74,68	-195,4	0,00
124	635	653	10	-6	0,1	-74,94	Fuera de rango	0,00
125	635	653	10	-6	0,2	-73,99	Fuera de rango	0,00
126	635	653	10	-6	0,3	-74,23	Fuera de rango	0,00
127	635	653	10	-6	0,4	-74,65	Fuera de rango	0,00
128	635	653	10	-6	0,5	-74,24	Fuera de rango	0,00
129	635	653	10	-6	0,6	-74,16	Fuera de rango	0,00
130	635	653	10	-6	0,7	-74,51	Fuera de rango	0,00
131	635	653	10	-6	0,8	-74,81	Fuera de rango	0,00
132	635	653	10	-6	0,9	-74,68	Fuera de rango	0,00
133	635	653	10	-6	1	-74,92	Fuera de rango	0,00
134	635	653	10	-6	1,1	-74,16	Fuera de rango	0,00
135	635	653	10	-6	1,2	-73,67	Fuera de rango	0,00
136	635	653	10	-6	1,3	-74,62	Fuera de rango	0,00
137	635	653	10	-6	1,4	-74,82	Fuera de rango	0,00
138	635	653	10	-6	1,5	-74,2	Fuera de rango	0,00
139	635	653	10	-6	1,6	-74,31	Fuera de rango	0,00
140	635	653	10	-6	1,7	-74,61	Fuera de rango	0,00
141	635	653	10	-6	1,8	-74,62	Fuera de rango	0,00
142	635	653	10	-6	1,9	-74,21	Fuera de rango	0,00

143	635	653	10	-6	2	-74,84	Fuera de rango	0,00
144	635	658	15	-6	0,1	-74,16	Fuera de rango	0,00
145	635	658	15	-6	0,2	-74,31	Fuera de rango	0,00
146	635	658	15	-6	0,3	-74,13	Fuera de rango	0,00
147	635	658	15	-6	0,4	-74,68	Fuera de rango	0,00
148	635	658	15	-6	0,5	-74,62	Fuera de rango	0,00
149	635	658	15	-6	0,6	-74,18	Fuera de rango	0,00
150	635	658	15	-6	0,7	-74,61	Fuera de rango	0,00
151	635	658	15	-6	0,8	-74,82	Fuera de rango	0,00
152	635	658	15	-6	0,9	-74,16	Fuera de rango	0,00
153	635	658	15	-6	1	-74,71	Fuera de rango	0,00
154	635	658	15	-6	1,1	-74,73	Fuera de rango	0,00
155	635	658	15	-6	1,2	-74,62	Fuera de rango	0,00
156	635	658	15	-6	1,3	-74,61	Fuera de rango	0,00
157	635	658	15	-6	1,4	-74,54	Fuera de rango	0,00
158	635	658	15	-6	1,5	-74,35	Fuera de rango	0,00
159	635	658	15	-6	1,6	-74,49	Fuera de rango	0,00
160	635	658	15	-6	1,7	-74,61	Fuera de rango	0,00
161	635	658	15	-6	1,8	-74,35	Fuera de rango	0,00
162	635	658	15	-6	1,9	-74,21	Fuera de rango	0,00
163	635	658	15	-6	2	-74,81	Fuera de rango	0,00

- **Tabla resultados escenario caso 3A**

Los siguientes valores corresponden al caso 3A, en el que el transmisor DVB-T2 interfiere a un receptor UE de LTE en modo de recepción exterior, en el escenario de operación simulcast del PTTV.

<b>Sistema interferente</b>	DVB-T2	6MHz
<b>Sistema víctima</b>	UE LTE outdoor	10 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2 (MHz)	fc LTE (MHz)	Banda de guarda (MHz)	Relación C/I	Distancia Relativa (m)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	641	633	0	-6	0,1	-79,25	-79,2	82,55
2	641	633	0	-6	0,2	-79,05	-89,1	67,26
3	641	633	0	-6	0,3	-78,29	-95,69	54,33
4	641	633	0	-6	0,4	-79,12	-100,57	42,95
5	641	633	0	-6	0,5	-79,35	-103,56	34,53
6	641	633	0	-6	0,6	-78,76	-106,14	23,55
7	641	633	0	-6	0,7	-78,94	-109,07	18,5
8	641	633	0	-6	0,8	-79,11	-111,32	15,18
9	641	633	0	-6	0,9	-79,11	-112,49	11,42
10	641	633	0	-6	1	-79,62	-113,51	10,28
11	641	633	0	-6	1,1	-78,54	-115,62	8,38
12	641	633	0	-6	1,2	-79,54	-116,56	6,3
13	641	633	0	-6	1,3	-79,33	-118,02	5,3
14	641	633	0	-6	1,4	-78,54	-119,12	4,67
15	641	633	0	-6	1,5	-79,31	-120,44	3,75
16	641	633	0	-6	1,6	-78,82	-120,99	3,83
17	641	633	0	-6	1,7	-79	-122,05	3,33
18	641	633	0	-6	1,8	-78,83	-122,99	2,07
19	641	633	0	-6	1,9	-79,55	-123,95	2,8
20	641	633	0	-6	2	-78,45	-123,7	2,18
21	641	633	0	-6	2,1	-78,92	-125,26	1,88
22	641	633	0	-6	2,2	-78,62	-126,1	2,06
23	641	633	0	-6	2,3	-79,58	-126,34	1,66
24	641	633	0	-6	2,4	-78,77	-127,65	0,83
25	641	633	0	-6	2,5	-79,13	-128,03	0,83



26	641	633	0	-6	2,6	-79,15	-128,47	1,24
27	641	633	0	-6	2,7	-79,41	-129,56	0,93
28	641	633	0	-6	2,8	-79,17	-130,1	0,41
29	641	633	0	-6	2,9	-79,25	-130,43	0,42
30	641	633	0	-6	3	-79,17	-131,52	0,62
31	641	633	0	-6	3,1	-78,96	-131,41	0,5
32	641	633	0	-6	3,2	-78,65	-131,62	0,52
33	641	633	0	-6	3,3	-79,06	-132,46	0,31
34	641	633	0	-6	3,4	-79,29	-133,07	0,61
35	641	633	0	-6	3,5	-79,02	-133,14	0,22
36	641	633	0	-6	3,6	-79,19	-133,09	0,21
37	641	633	0	-6	3,7	-79,81	-133,5	0,11
38	641	633	0	-6	3,8	-79,02	-134,17	0
39	641	633	0	-6	3,9	-78,89	-134,65	0
40	641	633	0	-6	4	-78,76	-135,73	0
41	641	632	1	-6	0,1	-78,96	-113,56	32,88
42	641	632	1	-6	0,2	-78,92	-124,44	13,98
43	641	632	1	-6	0,3	-78,73	-129,7	7,24
44	641	632	1	-6	0,4	-78,96	-135,1	2,41
45	641	632	1	-6	0,5	-78,81	-137,97	0,31
46	641	632	1	-6	0,6	-79,2	-141,45	0,21
47	641	632	1	-6	0,7	-79,32	-143,28	0,1
48	641	632	1	-6	0,8	-79,33	-145,34	0
49	641	632	1	-6	0,9	-79,2	-146,61	0
50	641	632	1	-6	1	-79,29	-144,88	0
51	641	632	1	-6	1,1	-79,34	-150,54	0
52	641	632	1	-6	1,2	-79,15	-151,4	0
53	641	632	1	-6	1,3	-78,97	-152,24	0
54	641	632	1	-6	1,4	-79,37	-153,86	0
55	641	632	1	-6	1,5	-78,04	-154,46	0
56	641	632	1	-6	1,6	-79,75	-156,2	0
57	641	632	1	-6	1,7	-78,82	-156,79	0
58	641	632	1	-6	1,8	-78,8	-157,94	0
59	641	632	1	-6	1,9	-78,94	-158,95	0
60	641	632	1	-6	2	-79,06	-159,59	0
61	641	631	2	-6	0,1	-79,1	-139,74	3,13
62	641	631	2	-6	0,2	-79,31	-150,9	0,62
63	641	631	2	-6	0,3	-79,04	-156,56	0,1
64	641	631	2	-6	0,4	-79,27	-161,45	0

65	641	631	2	-6	0,5	-79,3	-164,37	0
66	641	631	2	-6	0,6	-78,98	-166,88	0
67	641	631	2	-6	0,7	-79,16	-169,74	0
68	641	631	2	-6	0,8	-79,33	-171,35	0
69	641	631	2	-6	0,9	-79,2	-173,93	0
70	641	631	2	-6	1	-79,13	-174,79	0
71	641	631	2	-6	1,1	-78,47	-176,87	0
72	641	631	2	-6	1,2	-78,78	-177,55	0
73	641	631	2	-6	1,3	-78,88	-179,27	0
74	641	631	2	-6	1,4	-79,29	-179,78	0
75	641	631	2	-6	1,5	-78,75	-181,32	0
76	641	631	2	-6	1,6	-79,51	-181,8	0
77	641	631	2	-6	1,7	-79,01	-182,82	0
78	641	631	2	-6	1,8	-78,39	-184,61	0
79	641	631	2	-6	1,9	-79,19	-184,69	0
80	641	631	2	-6	2	-79,62	-185,87	0
81	641	630	3	-6	0,1	-79,32	-145,3	0,94
82	641	630	3	-6	0,2	-78,96	-156,02	0,21
83	641	630	3	-6	0,3	-79,53	-162,72	0
84	641	630	3	-6	0,4	-78,95	-166,88	0
85	641	630	3	-6	0,5	-79,23	-170,46	0
86	641	630	3	-6	0,6	-79,04	-172,93	0
87	641	630	3	-6	0,7	-79,57	-175,28	0
88	641	630	3	-6	0,8	-79,51	-177,62	0
89	641	630	3	-6	0,9	-78,77	-179,42	0
90	641	630	3	-6	1	-79,42	-181,17	0
91	641	630	3	-6	1,1	-79,43	-182,52	0
92	641	630	3	-6	1,2	-79,04	-183,43	0
93	641	630	3	-6	1,3	-79,18	-185,19	0
94	641	630	3	-6	1,4	-79,06	-185,69	0
95	641	630	3	-6	1,5	-78,91	-187,21	0
96	641	630	3	-6	1,6	-79,53	-187,85	0
97	641	630	3	-6	1,7	-79,03	-188,99	0
98	641	630	3	-6	1,8	-79,15	-189,9	0
99	641	630	3	-6	1,9	-79,34	-190,6	0
100	641	630	3	-6	2	-79,44	-190,95	0
101	641	628	5	-6	0,1	-78,92	-155,08	0,31
102	641	628	5	-6	0,2	-78,69	-165,45	0
103	641	628	5	-6	0,3	-79,53	-170,98	0,11

104	641	628	5	-6	0,4	-79,14	-175,77	0
105	641	628	5	-6	0,5	-79,18	-179,24	0
106	641	628	5	-6	0,6	-79,82	-182,13	0
107	641	628	5	-6	0,7	-79,72	-184,43	0
108	641	628	5	-6	0,8	-79,34	-186,52	0
109	641	628	5	-6	0,9	-78,97	-188,34	0
110	641	628	5	-6	1	-79,09	-189,71	0
111	641	628	5	-6	1,1	-79,43	-191,25	0
112	641	628	5	-6	1,2	-78,81	-192,48	0
113	641	628	5	-6	1,3	-78,66	-193,88	0
114	641	628	5	-6	1,4	-78,5	-192,12	0
115	641	628	5	-6	1,5	-79,05	-196,2	0
116	641	628	5	-6	1,6	-79,04	-197,15	0
117	641	628	5	-6	1,7	-79,19	-197,88	0
118	641	628	5	-6	1,8	-79,22	-199,2	0
119	641	628	5	-6	1,9	-79,02	-200,02	0
120	641	628	5	-6	2	-78,78	-200,47	0
121	641	623	10	-6	0,1	-78,68	Fuera de rango	0
122	641	623	10	-6	0,2	-78,26	Fuera de rango	0
123	641	623	10	-6	0,3	-79,25	Fuera de rango	0
124	641	623	10	-6	0,4	-78,95	Fuera de rango	0
125	641	623	10	-6	0,5	-78,84	Fuera de rango	0
126	641	623	10	-6	0,6	-79,32	Fuera de rango	0
127	641	623	10	-6	0,7	-78,24	Fuera de rango	0
128	641	623	10	-6	0,8	-79,12	Fuera de rango	0
129	641	623	10	-6	0,9	-79,62	Fuera de rango	0
130	641	623	10	-6	1	-79,45	Fuera de rango	0
131	641	623	10	-6	1,1	-78,32	Fuera de rango	0
132	641	623	10	-6	1,2	-79,21	Fuera de rango	0
133	641	623	10	-6	1,3	-79,34	Fuera de rango	0
134	641	623	10	-6	1,4	-79,45	Fuera de rango	0
135	641	623	10	-6	1,5	-79,24	Fuera de rango	0
136	641	623	10	-6	1,6	-79,31	Fuera de rango	0
137	641	623	10	-6	1,7	-79,42	Fuera de rango	0
138	641	623	10	-6	1,8	-79,12	Fuera de rango	0

139	641	623	10	-6	1,9	-79,45	Fuera de rango	0
140	641	623	10	-6	2	-79,46	Fuera de rango	0
141	641	618	15	-6	0,1	-79,21	Fuera de rango	0
142	641	618	15	-6	0,2	-79,12	Fuera de rango	0
143	641	618	15	-6	0,3	-79,34	Fuera de rango	0
144	641	618	15	-6	0,4	-79,45	Fuera de rango	0
145	641	618	15	-6	0,5	-79,43	Fuera de rango	0
146	641	618	15	-6	0,6	-79,28	Fuera de rango	0
147	641	618	15	-6	0,7	-79,62	Fuera de rango	0
148	641	618	15	-6	0,8	-79,24	Fuera de rango	0
149	641	618	15	-6	0,9	-79,16	Fuera de rango	0
150	641	618	15	-6	1	-79,46	Fuera de rango	0
151	641	618	15	-6	1,1	-79,48	Fuera de rango	0
152	641	618	15	-6	1,2	-79,61	Fuera de rango	0
153	641	618	15	-6	1,3	-79,28	Fuera de rango	0
154	641	618	15	-6	1,4	-79,64	Fuera de rango	0
155	641	618	15	-6	1,5	-79,46	Fuera de rango	0
156	641	618	15	-6	1,6	-79,86	Fuera de rango	0
157	641	618	15	-6	1,7	-79,32	Fuera de rango	0
158	641	618	15	-6	1,8	-78,96	Fuera de rango	0
159	641	618	15	-6	1,9	-79,18	Fuera de rango	0
160	641	618	15	-6	2	-79,18	Fuera de rango	0

- **Tabla resultados escenario caso 3B**

Los siguientes valores corresponden al caso 3B, en el que el transmisor DVB-T2 interfiere a un receptor UE de LTE en modo de recepción exterior, en el escenario de operación post apagón del PTTV.

<b>Sistema interferente</b>	DVB-T2	6MHz
<b>Sistema víctima</b>	UE LTE outdoor	10 MHz

Nº Prueba	fc DVB-T2	fc LTE	Banda de guarda (MHz)	Relación I/N	Distancia Relativa (km)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	635	643	0	-6	0,1	-76,6	-77,22	83,59
2	635	643	0	-6	0,2	-77,86	-86,95	68,37
3	635	643	0	-6	0,3	-77,02	-94,7	53,11
4	635	643	0	-6	0,4	-77,85	-98,1	42,27
5	635	643	0	-6	0,5	-77,13	-101,69	34,73
6	635	643	0	-6	0,6	-77,16	-105,06	23,72
7	635	643	0	-6	0,7	-76,64	-106,84	18,48
8	635	643	0	-6	0,8	-76,93	-108,86	15,56
9	635	643	0	-6	0,9	-77,59	-110,94	13,31
10	635	643	0	-6	1	-76,99	-113,06	9,56
11	635	643	0	-6	1,1	-77	-113,91	7,96
12	635	643	0	-6	1,2	-77,59	-114,75	7,50
13	635	643	0	-6	1,3	-77,66	-116,51	6,48
14	635	643	0	-6	1,4	-77,3	-117,44	4,40
15	635	643	0	-6	1,5	-76,83	-118,88	3,94
16	635	643	0	-6	1,6	-77,78	-119,41	4,55
17	635	643	0	-6	1,7	-77,25	-120,84	3,17
18	635	643	0	-6	1,8	-77,70	-121,95	2,25
19	635	643	0	-6	1,9	-77,21	-122,66	1,44
20	635	643	0	-6	2	-77,03	-123,7	1,22
21	635	643	0	-6	2,1	-77,4	-123,9	2,35
22	635	643	0	-6	2,2	-77,3	-124,77	1,65
23	635	643	0	-6	2,3	-77,24	-125,44	1,33
24	635	643	0	-6	2,4	-77,66	-125,85	1,95
25	635	643	0	-6	2,5	-77,04	-126,52	1,23
26	635	643	0	-6	2,6	-76,88	-126,8	0,82

27	635	643	0	-6	2,7	-77,29	-127,24	0,62
28	635	643	0	-6	2,8	-77,37	-128,39	0,82
29	635	643	0	-6	2,9	-76,91	-128,66	0,41
30	635	643	0	-6	3	-77,28	-129,23	0,62
31	635	643	0	-6	3,1	-77,14	-129,69	0,10
32	635	643	0	-6	3,2	-77,41	-130,26	0,31
33	635	643	0	-6	3,3	-77,37	-131,39	0,82
34	635	643	0	-6	3,4	-77,02	-131,45	0,20
35	635	643	0	-6	3,5	-77,19	-132,19	0,21
36	635	643	0	-6	3,6	-76,96	-132,13	0,31
37	635	643	0	-6	3,7	-77,91	-132,48	0,51
38	635	643	0	-6	3,8	-77,3	-133,17	0,10
39	635	643	0	-6	3,9	-77,83	-133,15	0,00
40	635	643	0	-6	4	-77,47	-134,15	0,00
41	635	644	1	-6	0,1	-77,47	-103,99	35,61
42	635	644	1	-6	0,2	-77,04	-113,2	19,55
43	635	644	1	-6	0,3	-77,14	-120,33	7,76
44	635	644	1	-6	0,4	-77,04	-124,99	3,06
45	635	644	1	-6	0,5	-77,19	-128,58	1,33
46	635	644	1	-6	0,6	-77,83	-131,62	0,72
47	635	644	1	-6	0,7	-76,99	-133,73	0,10
48	635	644	1	-6	0,8	-76,87	-135,1	0,10
49	635	644	1	-6	0,9	-77,16	-137,49	0,10
50	635	644	1	-6	1	-77,66	-138,86	0,10
51	635	644	1	-6	1,1	-77,42	-140,07	0,00
52	635	644	1	-6	1,2	-77,19	-142,11	0,00
53	635	644	1	-6	1,3	-77,67	-143,23	0,00
54	635	644	1	-6	1,4	-77,55	-144,15	0,00
55	635	644	1	-6	1,5	-77,48	-144,5	0,00
56	635	644	1	-6	1,6	-76,92	-145,44	0,00
57	635	644	1	-6	1,7	-77,6	-146,9	0,00
58	635	644	1	-6	1,8	-77,48	-147,9	0,00
59	635	644	1	-6	1,9	-77,04	-148,78	0,00
60	635	644	1	-6	2	-77,13	-149,42	0,00
61	635	645	2	-6	0,1	-77,08	-109,57	25,85
62	635	645	2	-6	0,2	-76,97	-119,27	10,81
63	635	645	2	-6	0,3	-76,83	-126,57	4,18
64	635	645	2	-6	0,4	-77,1	-130,42	1,84
65	635	645	2	-6	0,5	-77,21	-132,92	0,20

66	635	645	2	-6	0,6	-77,19	-137,35	0,31
67	635	645	2	-6	0,7	-77,18	-139,61	0,00
68	635	645	2	-6	0,8	-77,61	-141,82	0,10
69	635	645	2	-6	0,9	-77,31	-143,48	0,00
70	635	645	2	-6	1	-77,14	-144,89	0,00
71	635	645	2	-6	1,1	-77,45	-146,1	0,00
72	635	645	2	-6	1,2	-77,59	-147,27	0,00
73	635	645	2	-6	1,3	-77,62	-148,78	0,00
74	635	645	2	-6	1,4	-77	-149,38	0,00
75	635	645	2	-6	1,5	-77,17	151,16	0,00
76	635	645	2	-6	1,6	-77,07	-151,23	0,00
77	635	645	2	-6	1,7	-76,77	-152,7	0,00
78	635	645	2	-6	1,8	-77,8	-154,22	0,00
79	635	645	2	-6	1,9	-77,44	-154,38	0,00
80	635	645	2	-6	2	-76,88	-155,27	0,00
81	635	646	3	-6	0,1	-77,23	-114,96	16,14
82	635	646	3	-6	0,2	-77,58	-124,75	6,19
83	635	646	3	-6	0,3	-77,06	-131,6	2,05
84	635	646	3	-6	0,4	-77,59	-136,72	0,61
85	635	646	3	-6	0,5	-77,31	-139,4	0,10
86	635	646	3	-6	0,6	-77,18	-142,45	0,00
87	635	646	3	-6	0,7	-77,44	-143,62	0,00
88	635	646	3	-6	0,8	-76,97	-145,72	0,00
89	635	646	3	-6	0,9	-77,2	-147,94	0,00
90	635	646	3	-6	1	-77,96	-150,07	0,00
91	635	646	3	-6	1,1	-76,97	-151,08	0,00
92	635	646	3	-6	1,2	-77,39	-152,5	0,00
93	635	646	3	-6	1,3	-77,49	-153,92	0,00
94	635	646	3	-6	1,4	-77,57	-155,19	0,00
95	635	646	3	-6	1,5	-77,91	-155,89	0,00
96	635	646	3	-6	1,6	-77,19	-157,23	0,00
97	635	646	3	-6	1,7	-77,42	-158,51	0,00
98	635	646	3	-6	1,8	-77,45	-158,4	0,00
99	635	646	3	-6	1,9	-77,3	-159,91	0,00
100	635	646	3	-6	2	-77,24	-160,81	0,00
101	635	648	5	-6	0,1	-77,67	-120,43	10,76
102	635	648	5	-6	0,2	-77,47	-130,99	3,29
103	635	648	5	-6	0,3	-77,07	-142,12	0,10
104	635	648	5	-6	0,4	-77,03	-144,49	0,00

105	635	648	5	-6	0,5	-77,27	-147,94	0,00
106	635	648	5	-6	0,6	-77,31	-150,1	0,00
107	635	648	5	-6	0,7	-77,13	-151,26	0,00
108	635	648	5	-6	0,8	-77,13	-152	0,00
109	635	648	5	-6	0,9	-76,72	-154,04	0,00
110	635	648	5	-6	1	-76,89	-155,99	0,00
111	635	648	5	-6	1,1	-77,62	-156,83	0,00
112	635	648	5	-6	1,2	-77,47	-158,4	0,00
113	635	648	5	-6	1,3	-77,12	-159,54	0,00
114	635	648	5	-6	1,4	-77,25	-161,01	0,00
115	635	648	5	-6	1,5	-77,57	-161,58	0,00
116	635	648	5	-6	1,6	-77,54	-162,93	0,00
117	635	648	5	-6	1,7	-77,33	-163,91	0,00
118	635	648	5	-6	1,8	-77,33	-164,7	0,00
119	635	648	5	-6	1,9	-77,44	-165,48	0,00
120	635	648	5	-6	2	-77,61	-166,64	0,00
121	635	653	10	-6	0,1	-78,08	Fuera de rango	0,00
122	635	653	10	-6	0,2	-77,95	Fuera de rango	0,00
123	635	653	10	-6	0,3	-77,46	Fuera de rango	0,00
124	635	653	10	-6	0,4	-77,84	Fuera de rango	0,00
125	635	653	10	-6	0,5	-77,61	Fuera de rango	0,00
126	635	653	10	-6	0,6	-77,82	Fuera de rango	0,00
127	635	653	10	-6	0,7	-77,34	Fuera de rango	0,00
128	635	653	10	-6	0,8	-77,61	Fuera de rango	0,00
129	635	653	10	-6	0,9	-77,92	Fuera de rango	0,00
130	635	653	10	-6	1	-77,62	Fuera de rango	0,00
131	635	653	10	-6	1,1	-77,51	Fuera de rango	0,00
132	635	653	10	-6	1,2	-77,38	Fuera de rango	0,00
133	635	653	10	-6	1,3	-77,68	Fuera de rango	0,00
134	635	653	10	-6	1,4	-77,81	Fuera de rango	0,00
135	635	653	10	-6	1,5	-77,01	Fuera de rango	0,00
136	635	653	10	-6	1,6	-77,23	Fuera de rango	0,00
137	635	653	10	-6	1,7	-77,62	Fuera de rango	0,00
138	635	653	10	-6	1,8	-77,62	Fuera de rango	0,00
139	635	653	10	-6	1,9	-77,82	Fuera de rango	0,00



140	635	653	10	-6	2	-77,41	Fuera de rango	0,00
141	635	658	15	-6	0,1	-77,93	Fuera de rango	0,00
142	635	658	15	-6	0,2	-78,01	Fuera de rango	0,00
143	635	658	15	-6	0,3	-77,23	Fuera de rango	0,00
144	635	658	15	-6	0,4	-77,24	Fuera de rango	0,00
145	635	658	15	-6	0,5	-77,62	Fuera de rango	0,00
146	635	658	15	-6	0,6	-77,84	Fuera de rango	0,00
147	635	658	15	-6	0,7	-77,62	Fuera de rango	0,00
148	635	658	15	-6	0,8	-77,32	Fuera de rango	0,00
149	635	658	15	-6	0,9	-77,36	Fuera de rango	0,00
150	635	658	15	-6	1	-77,14	Fuera de rango	0,00
151	635	658	15	-6	1,1	-77,63	Fuera de rango	0,00
152	635	658	15	-6	1,2	-77,82	Fuera de rango	0,00
153	635	658	15	-6	1,3	-77,61	Fuera de rango	0,00
154	635	658	15	-6	1,4	-77,62	Fuera de rango	0,00
155	635	658	15	-6	1,5	-77,62	Fuera de rango	0,00
156	635	658	15	-6	1,6	-77,24	Fuera de rango	0,00
157	635	658	15	-6	1,7	-77,98	Fuera de rango	0,00
158	635	658	15	-6	1,8	-77,51	Fuera de rango	0,00
159	635	658	15	-6	1,9	-77,34	Fuera de rango	0,00
160	635	658	15	-6	2	-77,61	Fuera de rango	0,00

- **Tabla resultados escenario caso 4A**

Los siguientes valores corresponden al caso 4A, en el que el transmisor de LTE eNB interfiere a un receptor DVB-T2 con antena fija exterior, en el escenario de operación simulcast del PTTV.

<b>Sistema interferente</b>	LTE Downlink eNB	6MHz
<b>Sistema víctima</b>	DVB-T2 outdoor	10 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2	fc LTE	Banda de guarda (MHz)	Relación C/I	Distancia Relativa (km)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	641	633	0	20	1	-58,04	-114,14	0,2
2	641	633	0	20	10	-57,59	-116,32	0
3	641	633	0	20	20	-58,17	-118,24	0
4	641	633	0	20	30	-57,72	-119,92	0
5	641	633	0	20	40	-58,11	-121,36	0
6	641	633	0	20	50	-58,05	-123,25	0
7	641	633	0	20	60	-57,81	-125,21	0
8	641	633	0	20	70	-57,91	-126,41	0
9	641	633	0	20	80	-58,11	-127,84	0
10	641	633	0	20	90	-57,49	-128,51	0
11	641	633	0	20	100	-58,39	-130,18	0
12	641	633	0	20	200	-58,04	-135,29	0
13	641	633	0	20	300	-58,62	-137,15	0
21	641	632	1	20	1	-57,88	-115,12	0,11
22	641	632	1	20	10	-58,23	-116,21	0,1
23	641	632	1	20	20	-57,32	-120,46	0
24	641	632	1	20	30	-57,21	-122,00	0
25	641	632	1	20	40	-56,32	-125,24	0
26	641	632	1	20	50	-57,64	-127,14	0
27	641	632	1	20	60	-57,24	-130,34	0
28	641	632	1	20	70	-57,13	-132,02	0
29	641	632	1	20	80	-57,17	-132,51	0
30	641	632	1	20	90	-57,82	-138,64	0

<b>31</b>	641	632	1	20	100	-57,61	-140,05	0
-----------	-----	-----	---	----	-----	--------	---------	---

- **Tabla resultados escenario caso 4B**

Los siguientes valores corresponden al caso 4B, en el que el transmisor de LTE eNB interfiere a un receptor DVB-T2 con antena fija exterior, en el escenario de operación post apagón del PTTV.

<b>Sistema interferente</b>	LTE Downlink eNB	6MHz
<b>Sistema víctima</b>	DVB-T2 outdoor	10 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2	fc LTE	Banda de guarda (MHz)	Relación C/I	Distancia Relativa (km)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	641	633	0	20	1	-57,88	-114,06	0
2	641	633	0	20	10	-57,59	-115,12	0
3	641	633	0	20	20	-58,17	-116,95	0
4	641	633	0	20	30	-57,72	-119,14	0
5	641	633	0	20	40	-58,11	-120,9	0
6	641	633	0	20	50	-58,05	-122,7	0
7	641	633	0	20	60	-57,81	-124,06	0
8	641	633	0	20	70	-57,91	-125,34	0
9	641	633	0	20	80	-58,11	-126,28	0
10	641	633	0	20	90	-57,49	-127,34	0
11	641	633	0	20	100	-58,39	-128,07	0
12	641	633	0	20	200	-58,04	-134,12	0
13	641	633	0	20	300	-58,62	-137,59	0
21	641	632	1	20	1	-58,32	-115,25	0
22	641	632	1	20	10	-58,21	-117,81	0
23	641	632	1	20	20	-58,62	-120,31	0
24	641	632	1	20	30	-58,74	-122,85	0
25	641	632	1	20	40	-58,61	-125,38	0
26	641	632	1	20	50	-58,36	-127,91	0
27	641	632	1	20	60	-58,36	-130,44	0
28	641	632	1	20	70	-58,51	-132,97	0
29	641	632	1	20	80	-58,26	-135,5	0
30	641	632	1	20	90	-58,61	-138,03	0

<b>31</b>	641	632	1	20	100	-58.21	-141.24	0
-----------	-----	-----	---	----	-----	--------	---------	---

- **Tabla resultados caso 5A.**

Los siguientes valores corresponden al caso 5A, en el que el transmisor de LTE eNB interfiere a un receptor DVB-T2 con antena portable interior, en el escenario de operación simulcast del PTTV.

Sistema interferente	LTE Downlink eNB	10 MHz
Sistema víctima	DVB-T2 indoor	6 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2 (MHz)	fc LTE (MHz)	Banda de guarda (MHz)	Relación C/I	Distancia Relativa (m)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	641	633	0	20	1	-68,53	-117,14	2,71
2	641	633	0	20	10	-68,6	-117,69	3,12
3	641	633	0	20	20	-68,29	-119,02	1,41
4	641	633	0	20	30	-68,43	-120,43	0,98
5	641	633	0	20	40	-68,38	-121,93	0,22
6	641	633	0	20	50	-68,46	-125,59	0,32
7	641	633	0	20	60	-68,12	-128,93	0,11
8	641	633	0	20	70	-68,47	-131,49	0,22
9	641	633	0	20	80	-67,73	-133,86	0,43
10	641	633	0	20	90	-68,04	-135,85	0,76
11	641	633	0	20	100	-68,01	-137,86	0,65
12	641	633	0	20	200	-68,54	-148,39	0,11
13	641	633	0	20	300	-68,33	-155,1	0
14	641	633	0	20	400	-68,05	-159,03	0
15	641	633	0	20	500	-68,25	-162,86	0
16	641	633	0	20	600	-68,22	-165,62	0
17	641	633	0	20	700	-68,3	-168,13	0
18	641	633	0	20	800	-68,18	-169,66	0
19	641	633	0	20	900	-67,99	-171,87	0
20	641	633	0	20	1000	-68,05	-173,04	0
21	641	632	1	20	1	-68,37	-116,9	1,93
22	641	632	1	20	10	-68,33	-117,52	1,09
23	641	632	1	20	20	-68,81	-118,77	0,52
24	641	632	1	20	30	-68,31	-120,15	0,31
25	641	632	1	20	40	-68,75	-122	0,11
26	641	632	1	20	50	-68,34	-125,85	0,22

27	641	632	1	20	60	-67,86	-129,18	0,11
28	641	632	1	20	70	-68,09	-131,19	0,22
29	641	632	1	20	80	-68,36	-133,89	0,18
30	641	632	1	20	90	-68,34	-135,78	0,11
31	641	632	1	20	100	-68,51	-138,12	0
32	641	632	1	20	200	-68,28	-148,67	0
33	641	632	1	20	300	-68,27	-155,34	0
34	641	632	1	20	400	-68,35	-159,16	0
35	641	632	1	20	500	-68,44	-162,65	0
36	641	632	1	20	600	-68,72	-163,53	0
37	641	632	1	20	700	-68,4	-165,28	0
38	641	632	1	20	800	-68,14	-169,05	0
39	641	632	1	20	900	-68,24	-171,7	0
40	641	632	1	20	1000	-68,64	-138,03	0
41	641	631	2	20	1	-68,8	-117,46	1,24
42	641	631	2	20	10	-68,38	-117,59	0,76
43	641	631	2	20	20	-68,34	-119,03	0,33
44	641	631	2	20	30	-68,36	-120,42	0,22
45	641	631	2	20	40	-68,64	-121,8	0,11
46	641	631	2	20	50	-68,37	-125,94	0,34
47	641	631	2	20	60	-68,37	-129	0,28
48	641	631	2	20	70	-68,65	-131,48	0,21
49	641	631	2	20	80	-68,08	-133,62	0,11
50	641	631	2	20	90	-67,85	-135,68	0
51	641	631	2	20	100	-69	-137,82	0
52	641	631	2	20	200	-68,43	-147,63	0
53	641	631	2	20	300	-68,42	-154,6	0
54	641	631	2	20	400	-68,37	-159,3	0
55	641	631	2	20	500	-68,01	-162,61	0
56	641	631	2	20	600	-68,36	-165,43	0
57	641	631	2	20	700	-68,41	-167,55	0
58	641	631	2	20	800	-68,2	-169,6	0
59	641	631	2	20	900	-68,24	-171,38	0
60	641	631	2	20	1000	-68	-137,58	0
61	641	630	3	20	1	-68,44	-117,05	0,39
62	641	630	3	20	10	-67,97	-117,66	0,42
63	641	630	3	20	20	-68,48	-118,71	0,22
64	641	630	3	20	30	-68,46	-120,25	0,11
65	641	630	3	20	40	-68,19	-121,88	0

66	641	630	3	20	50	-68,7	-125,83	0,11
67	641	630	3	20	60	-68,67	-129,23	0
68	641	630	3	20	70	-68,35	-131,29	0
69	641	630	3	20	80	-68,65	-134,23	0
70	641	630	3	20	90	-67,97	-135,88	0
71	641	630	3	20	100	-68,24	-137,96	0
72	641	630	3	20	200	-68,47	-148,39	0
73	641	630	3	20	300	-68,53	-153,98	0
74	641	630	3	20	400	-67,68	-159,5	0
75	641	630	3	20	500	-68	-162,7	0
76	641	630	3	20	600	-68,86	-165,05	0
77	641	630	3	20	700	-67,77	-167,26	0
78	641	630	3	20	800	-68,31	-169,8	0
79	641	630	3	20	900	-68,43	-172	0
80	641	630	3	20	1000	-68,95	-173,17	0
81	641	628	5	20	1	-67,99	-116,86	0,22
82	641	628	5	20	10	-68,48	-117,5	0,36
83	641	628	5	20	20	-68,7	-118,83	0,22
84	641	628	5	20	30	-68,15	-120,26	0,11
85	641	628	5	20	40	-67,93	-121,73	0,1
86	641	628	5	20	50	-68,9	-125,74	0
87	641	628	5	20	60	-68,45	-129,04	0
88	641	628	5	20	70	-68,13	-131,32	0
89	641	628	5	20	80	-68,46	-133,8	0
90	641	628	5	20	90	-68,4	-135,79	0
91	641	628	5	20	100	-68,49	-135,38	0
92	641	628	5	20	200	-68,66	-148,18	0
93	641	628	5	20	300	-68,36	-154,84	0
94	641	628	5	20	400	-68,99	-158,48	0
95	641	628	5	20	500	-68,01	-162,91	0
96	641	628	5	20	600	-68,4	-165,11	0
97	641	628	5	20	700	-68,63	-167,69	0
98	641	628	5	20	800	-68,57	-169,7	0
99	641	628	5	20	900	-68,33	-171,36	0
100	641	628	5	20	1000	-68,25	-173,26	0
101	641	623	10	20	1	-68,5	-117,15	0
102	641	623	10	20	10	-68,47	-117,53	0
103	641	623	10	20	20	-68,63	-118,88	0
104	641	623	10	20	30	-68,45	-120,17	0



105	641	623	10	20	40	-68,51	-121,84	0
106	641	623	10	20	50	-68,4	-125,58	0
107	641	623	10	20	60	-68,6	-129,06	0
108	641	623	10	20	70	-68,29	-131,32	0
109	641	623	10	20	80	-68,4	-133,85	0
110	641	623	10	20	90	-68,37	-135,87	0
111	641	623	10	20	100	-68,56	-137,67	0
112	641	623	10	20	200	-68,26	-148,81	0
113	641	623	10	20	300	-68,15	-154,06	0
114	641	623	10	20	400	-68,67	-158,72	0
115	641	623	10	20	500	-68,52	-162,44	0
116	641	623	10	20	600	-68,52	-165,09	0
117	641	623	10	20	700	-68,5	-167,62	0
118	641	623	10	20	800	-67,84	-169,13	0
119	641	623	10	20	900	-68,2	-171,63	0
120	641	623	10	20	1000	-68,98	-173,06	0
121	641	618	15	20	1	-68,45	-125,12	0
122	641	618	15	20	10	-67,89	-125,69	0
123	641	618	15	20	20	-68,34	-126,83	0
124	641	618	15	20	30	-67,72	-128,43	0
125	641	618	15	20	40	-68,87	-129,81	0
126	641	618	15	20	50	-67,78	-133,97	0
127	641	618	15	20	60	-68,75	-136,96	0
128	641	618	15	20	70	-68,19	-139,9	0
129	641	618	15	20	80	-68,22	-142,09	0
130	641	618	15	20	90	-68,83	-143,76	0
131	641	618	15	20	100	-68,42	-146,24	0
132	641	618	15	20	200	-68,2	-156,63	0
133	641	618	15	20	300	-68,17	-162,38	0
134	641	618	15	20	400	-68,22	-167,62	0
135	641	618	15	20	500	-67,8	-170,93	0
136	641	618	15	20	600	-68,26	-172,96	0
137	641	618	15	20	700	-68,52	-175,83	0
138	641	618	15	20	800	-68,25	-177,83	0
139	641	618	15	20	900	-68,01	-179,87	0
140	641	618	15	20	1000	-67,61	-180,86	0

- **Tabla resultados caso 5B.**

Los siguientes valores corresponden al caso 5B, en el que el transmisor de LTE eNB interfiere a un receptor DVB-T2 con antena portable interior, en el escenario de operación post apagón del PTTV.

Sistema interferente	LTE Downlink eNB	10 MHz
Sistema víctima	DVB-T2 indoor	6 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2	fc LTE	Banda de guarda (MHz)	Relación C/I	Distancia Relativa (m)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia a señal no deseada (%)
1	635	643	0	20	1	-68,43	-117,24	3,84
2	635	643	0	20	10	-68,34	-117,76	3,22
3	635	643	0	20	20	-68,81	-118,87	1,54
4	635	643	0	20	30	-68,67	-120,46	0,33
5	635	643	0	20	40	-68,04	-121,76	0,33
6	635	643	0	20	50	-68,46	-125,82	0,33
7	635	643	0	20	60	-67,84	-132,04	0,11
8	635	643	0	20	70	-68,36	-134,31	0,22
9	635	643	0	20	80	-68,47	-136,47	0,22
10	635	643	0	20	90	-68,05	-138,26	0,98
11	635	643	0	20	100	-68,53	-139,03	0,44
12	635	643	0	20	110	-68,6	-139,26	0,65
13	635	643	0	20	120	-68,34	-140,46	0,54
14	635	643	0	20	130	-68,47	-141,86	0,22
15	635	643	0	20	140	-68,39	-143,24	0,22
16	635	643	0	20	150	-67,97	-144,4	0,21
17	635	643	0	20	160	-68,12	-145,21	0
18	635	643	0	20	170	-68,08	-145,56	0
19	635	643	0	20	180	-68,56	-146,55	0
20	635	643	0	20	190	-68,06	-148	0
21	635	643	0	20	200	-68,15	-148,38	0
22	635	643	0	20	300	-68,07	-154,53	0
23	635	643	0	20	400	-68,39	-159,25	0
24	635	643	0	20	500	-68,38	-162,33	0
25	635	643	0	20	600	-68,44	-165,32	0

26	635	643	0	20	700	-68,34	-167,99	0
27	635	643	0	20	800	-67,95	-170,36	0
28	635	643	0	20	900	-68,42	-170,93	0
29	635	643	0	20	1000	-67,92	-173,09	0
30	635	644	1	20	1	-68,22	-117,85	2,31
31	635	644	1	20	10	-68,15	-117,86	2,23
32	635	644	1	20	20	-68,69	-118,9	1,55
33	635	644	1	20	30	-68,35	-120,59	1,2
34	635	644	1	20	40	-67,84	-122,09	0,11
35	635	644	1	20	50	-68,08	-125,82	0,31
36	635	644	1	20	60	-68,12	-122,88	0,11
37	635	644	1	20	70	-68,26	-132,2	0,11
38	635	644	1	20	80	-67,93	-133,85	0,32
39	635	644	1	20	90	-67,99	-136,03	0,75
40	635	644	1	20	100	-68,22	-137,87	0,87
41	635	644	1	20	110	-68,35	-139,42	0,66
42	635	644	1	20	120	-68,2	-140,7	0,32
43	635	644	1	20	130	-67,89	-142,35	0,21
44	635	644	1	20	140	-68,45	-142,92	0,11
45	635	644	1	20	150	-68,1	-144,62	0
46	635	644	1	20	160	-68,02	-144,87	0
47	635	644	1	20	170	-68,66	-145,9	0
48	635	644	1	20	180	-68,26	-147,26	0
49	635	644	1	20	190	-68,99	-147,67	0
50	635	644	1	20	200	-67,8	-149,24	0
51	635	644	1	20	300	-68,2	-154,78	0
52	635	644	1	20	400	-68,27	-159,38	0
53	635	644	1	20	500	-68,43	-162,64	0
54	635	644	1	20	600	-68,33	-165,41	0
55	635	644	1	20	700	-67,9	-167,5	0
56	635	644	1	20	800	-68,84	-169,71	0
57	635	644	1	20	900	-68,23	-171,91	0
58	635	644	1	20	1000	-68,55	-173,73	0
59	635	645	2	20	1	-68,12	-117,72	0,89
60	635	645	2	20	10	-68,24	-120,37	0,75
61	635	645	2	20	20	-68,12	-122,06	0,33
62	635	645	2	20	30	-68,36	-125,78	0,11
63	635	645	2	20	40	-68,13	-125,86	0,22
64	635	645	2	20	50	-68,14	-129,36	0,11

65	635	645	2	20	60	-68,92	-131,76	0
66	635	645	2	20	70	-69,13	-134,21	0
67	635	645	2	20	80	-68,13	-136,34	0
68	635	645	2	20	90	-69,1	-137,75	0
69	635	645	2	20	100	-68,24	-139,03	0
70	635	645	2	20	200	-68,14	-150,36	0
71	635	645	2	20	300	-68,65	-154,71	0
72	635	645	2	20	400	-68,72	-159,12	0
73	635	645	2	20	500	-68,46	-162,53	0
74	635	645	2	20	600	-68,28	-165,64	0
75	635	645	2	20	700	-68,14	-167,34	0
76	635	645	2	20	800	-68,32	-169,98	0
77	635	645	2	20	900	-68,14	-171,61	0
78	635	645	2	20	1000	-68,14	-173,34	0
79	635	646	3	20	1	-67,26	-117,63	0,31
80	635	646	3	20	10	-67,28	-119,42	0,22
81	635	646	3	20	20	-67,95	-121,24	0,11
82	635	646	3	20	30	-68,32	-124,62	0,21
83	635	646	3	20	40	-67,92	-123,41	0,11
84	635	646	3	20	50	-68,24	-124,21	0
85	635	646	3	20	60	-68,36	-132,14	0
86	635	646	3	20	70	-68,79	-134,78	0
87	635	646	3	20	80	-68,26	-137,8	0
88	635	646	3	20	90	-68,64	-138,24	0
89	635	646	3	20	100	-68,34	-139,84	0
90	635	646	3	20	200	-68,31	-150,23	0
91	635	646	3	20	300	-68,13	-153,41	0
92	635	646	3	20	400	-68,64	-159,96	0
93	635	646	3	20	500	-68,21	-163,12	0
94	635	646	3	20	600	-68,51	-166,12	0
95	635	646	3	20	700	-68,23	-168,54	0
96	635	646	3	20	800	-68,24	-170,14	0
97	635	646	3	20	900	-68,31	-172,34	0
98	635	646	3	20	1000	-68,13	-174,62	0
99	635	648	5	20	1	-68,36	-117,24	0,11
100	635	648	5	20	10	-68,12	-118,32	0,22
101	635	648	5	20	20	-68,14	-119,11	0,22
102	635	648	5	20	30	-68,95	-123,64	0
103	635	648	5	20	40	-67,25	-125,61	0

104	635	648	5	20	50	-68,45	-126,23	0
105	635	648	5	20	60	-68,53	-131,62	0
106	635	648	5	20	70	-68,24	-133,24	0
107	635	648	5	20	80	-68,7	-136,47	0
108	635	648	5	20	90	-68,15	-139,2	0
109	635	648	5	20	100	-68,93	-140,16	0
110	635	648	5	20	200	-67,42	-149,63	0
111	635	648	5	20	300	-67,95	-158,62	0
112	635	648	5	20	400	-67,83	-160,23	0
113	635	648	5	20	500	-68,16	-163,24	0
114	635	648	5	20	600	-68,42	-167,95	0
115	635	648	5	20	700	-68,62	-169,15	0
116	635	648	5	20	800	-68,51	-171,64	0
117	635	648	5	20	900	-68,36	-173,2	0
118	635	648	5	20	1000	-67,24	-175,32	0
119	635	653	10	20	1	-67,39	Fuera de rango	0
120	635	653	10	20	10	-68,21	Fuera de rango	0
121	635	653	10	20	20	-67,34	Fuera de rango	0
122	635	653	10	20	30	-67,21	Fuera de rango	0
123	635	653	10	20	40	-68,32	Fuera de rango	0
124	635	653	10	20	50	-68,17	Fuera de rango	0
125	635	653	10	20	60	-68,23	Fuera de rango	0
126	635	653	10	20	70	-68,24	Fuera de rango	0
127	635	653	10	20	80	-68,14	Fuera de rango	0
128	635	653	10	20	90	-68,13	Fuera de rango	0
129	635	653	10	20	100	-68,9	Fuera de rango	0
130	635	653	10	20	200	-68,64	Fuera de rango	0
131	635	653	10	20	300	-68,42	Fuera de rango	0
132	635	653	10	20	400	-68,13	Fuera de rango	0
133	635	653	10	20	500	-68,12	Fuera de rango	0
134	635	653	10	20	600	-68,47	Fuera de rango	0
135	635	653	10	20	700	-68,34	Fuera de rango	0
136	635	653	10	20	800	-68,54	Fuera de rango	0
137	635	653	10	20	900	-68,41	Fuera de rango	0
138	635	653	10	20	1000	-67,84	Fuera de rango	0

139	635	658	15	20	1	-67,58	Fuera de rango	0
140	635	658	15	20	10	-68,12	Fuera de rango	0
141	635	658	15	20	20	-68,64	Fuera de rango	0
142	635	658	15	20	30	-68,43	Fuera de rango	0
143	635	658	15	20	40	-68,52	Fuera de rango	0
144	635	658	15	20	50	-68,51	Fuera de rango	0
145	635	658	15	20	60	-67,8	Fuera de rango	0
146	635	658	15	20	70	-67,84	Fuera de rango	0
147	635	658	15	20	80	-67,92	Fuera de rango	0
148	635	658	15	20	90	-68,14	Fuera de rango	0
149	635	658	15	20	100	-68,23	Fuera de rango	0
150	635	658	15	20	200	-68,12	Fuera de rango	0
151	635	658	15	20	300	-67,84	Fuera de rango	0
152	635	658	15	20	400	-68,64	Fuera de rango	0
153	635	658	15	20	500	-68,32	Fuera de rango	0
154	635	658	15	20	600	-68,24	Fuera de rango	0
155	635	658	15	20	700	-68,45	Fuera de rango	0
156	635	658	15	20	800	-67,24	Fuera de rango	0
157	635	658	15	20	900	-68,26	Fuera de rango	0
158	635	658	15	20	1000	-68,13	Fuera de rango	0

- **Tabla resultados caso 6A**

Los siguientes valores corresponden al caso 6A, en el que el transmisor de LTE UE interfiere a un receptor DVB-T2 con antena portable interior, en el escenario de operación simulcast del PTTV.

Sistema interferente	LTE Uplink UE	10 MHz
Sistema víctima	DVB-T2 indoor	6 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2 (MHz)	fc LTE (MHz)	Banda de guarda (MHz)	Relación C/I (dB)	Distancia Relativa (m)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	641	633	0	18	1	-68,54	-86,57	43,44
2	641	633	0	18	2	-68,4	-92,59	17,97
3	641	633	0	18	3	-68,11	-96,11	6,23
4	641	633	0	18	4	-68,2	-98,61	0,98
5	641	633	0	18	5	-68,72	-100,55	0
6	641	633	0	18	6	-68,4	-102,14	0
7	641	633	0	18	7	-68,47	-103,47	0
8	641	633	0	18	8	-68,41	-104,63	0
9	641	633	0	18	9	-68,19	-105,66	0
10	641	633	0	18	10	-68,74	-106,57	0
11	641	633	0	18	11	-68,52	-107,4	0
12	641	633	0	18	12	-68,75	-108,16	0
13	641	633	0	18	13	-68,82	-108,85	0
14	641	633	0	18	14	-68,04	-109,49	0
15	641	633	0	18	15	-68,38	-110,09	0
16	641	632	1	18	1	-68,47	-87,8	37,16
17	641	632	1	18	2	-68,02	-93,82	10
18	641	632	1	18	3	-68,58	-97,34	3,07
19	641	632	1	18	4	-68,43	-99,84	0
20	641	632	1	18	5	-68,53	-101,78	0
21	641	632	1	18	6	-68,38	-103,36	0
22	641	632	1	18	7	-68,33	-104,7	0
23	641	632	1	18	8	-68,78	-105,86	0
24	641	632	1	18	9	-68,61	-106,88	0
25	641	632	1	18	10	-67,9	-107,8	0

26	641	632	1	18	11	-68,17	-108,63	0
27	641	632	1	18	12	-68,55	-109,38	0
28	641	632	1	18	13	-68,67	-110,08	0
29	641	632	1	18	14	-67,58	-110,72	0
30	641	632	1	18	15	-68,34	-111,32	0
31	641	631	2	18	1	-68,29	-89,53	30,42
32	641	631	2	18	2	-68,48	-95,55	8,51
33	641	631	2	18	3	-68,79	-99,07	0
34	641	631	2	18	4	-68,5	-101,57	0
35	641	631	2	18	5	-68,88	-103,51	0
36	641	631	2	18	6	-68,96	-105,09	0
37	641	631	2	18	7	-68,38	-106,43	0
38	641	631	2	18	8	-68,38	-107,59	0
39	641	631	2	18	9	-68,29	-108,61	0
40	641	631	2	18	10	-68,23	-109,53	0
41	641	631	2	18	11	-68,74	-110,35	0
42	641	631	2	18	12	-68,28	-111,11	0
43	641	631	2	18	13	-68,47	-111,81	0
44	641	631	2	18	14	-68,41	-112,45	0
45	641	631	2	18	15	-68,63	-113,05	0
46	641	630	3	18	1	-68,29	-92,84	16,63
47	641	630	3	18	2	-68,54	-98,5	0,97
48	641	630	3	18	3	-68,04	-102,02	0
49	641	630	3	18	4	-68,63	-104,52	0
50	641	630	3	18	5	-68,22	-106,46	0
51	641	630	3	18	6	-68,41	-108,04	0
52	641	630	3	18	7	-68,34	-109,38	0
53	641	630	3	18	8	-68,36	-110,54	0
54	641	630	3	18	9	-68,56	-111,56	0
55	641	630	3	18	10	-69,09	-112,48	0
56	641	630	3	18	11	-68,28	-113,3	0
57	641	630	3	18	12	-68,32	-114,06	0
58	641	630	3	18	13	-68,37	-114,76	0
59	641	630	3	18	14	-68,49	-115,4	0
60	641	630	3	18	15	-68,82	-116	0
61	641	628	5	18	1	-68,6	-100,23	0
62	641	628	5	18	2	-68,51	-106,25	0
63	641	628	5	18	3	-68,45	-109,77	0
64	641	628	5	18	4	-68,51	-112,27	0



65	641	628	5	18	5	-68,7	-114,21	0
66	641	628	5	18	6	-68,54	-115,79	0
67	641	628	5	18	7	-68,61	-117,13	0
68	641	628	5	18	8	-68,4	-118,29	0
69	641	628	5	18	9	-68,37	-119,31	0
70	641	628	5	18	10	-68,61	-120,23	0
71	641	628	5	18	11	-68,45	-121,06	0
72	641	628	5	18	12	-68,24	-121,82	0
73	641	628	5	18	13	-68,63	-122,51	0
74	641	628	5	18	14	-68,4	-123,15	0
75	641	628	5	18	15	-67,78	-123,75	0
76	641	623	10	18	1	-68,66	-100,78	0
77	641	623	10	18	2	-68,25	-106,8	0
78	641	623	10	18	3	-68,27	-110,32	0
79	641	623	10	18	4	-68,52	-112,82	0
80	641	623	10	18	5	-68,83	-114,76	0
81	641	623	10	18	6	-68,87	-116,34	0
82	641	623	10	18	7	-68,4	-117,68	0
83	641	623	10	18	8	-68,39	-118,84	0
84	641	623	10	18	9	-68,09	-119,86	0
85	641	623	10	18	10	-68,03	-120,78	0
86	641	623	10	18	11	-68,3	-121,61	0
87	641	623	10	18	12	-68,06	-122,36	0
88	641	623	10	18	13	-68,2	-123,06	0
89	641	623	10	18	14	-68,4	-123,7	0
90	641	623	10	18	15	-68,49	-124,3	0
91	641	618	15	18	1	-68,56	-100,71	0
92	641	618	15	18	2	-68,51	-106,73	0
93	641	618	15	18	3	-68,63	-110,25	0
94	641	618	15	18	4	-68,43	-112,75	0
95	641	618	15	18	5	-68,46	-114,69	0
96	641	618	15	18	6	-67,89	-116,27	0
97	641	618	15	18	7	-68,74	-117,61	0
98	641	618	15	18	8	-68,2	-118,77	0
99	641	618	15	18	9	-68,17	-119,79	0
100	641	618	15	18	10	-68,3	-120,71	0
101	641	618	15	18	11	-68,7	-121,54	0
102	641	618	15	18	12	-68,71	-122,29	0
103	641	618	15	18	13	-67,99	-122,99	0

<b>104</b>	641	618	15	18	14	-68,68	-123,63	0
<b>105</b>	641	618	15	18	15	-68,41	-124,23	0

- **Tabla resultados caso 6B**

Los siguientes valores corresponden al caso 6B, en el que el transmisor de LTE UE interfiere a un receptor DVB-T2 con antena portable interior, en el escenario de operación post apagón del PTTV.

Sistema interferente	LTE Uplink UE	10 MHz
Sistema víctima	DVB-T2 indoor	6 MHz

N° Prueba	fc DVB-T2	fc LTE	Banda de guarda (MHz)	Relación C/I (dB)	Distancia Relativa (m)	Promedio nivel de señal deseado (dBm)	Promedio nivel de señal no deseada (dBm)	Probabilidad de interferencia señal no deseada (%)
1	635	643	0	18	1	-68,21	-87,93	39,09
2	635	643	0	18	1,2	-68,42	-85,52	32,5
3	635	643	0	18	1,4	-68,49	-90,86	24,68
4	635	643	0	18	1,6	-68,39	-92,02	20,15
5	635	643	0	18	1,8	-68,1	-93,04	15,16
6	635	643	0	18	2	-68,52	-93,96	13,75
7	635	643	0	18	2,2	-67,82	-94,78	12,06
8	635	643	0	18	2,4	-68,37	-95,54	7,21
9	635	643	0	18	2,6	-68,05	-96,23	6,04
10	635	643	0	18	2,8	-68,19	-96,88	4,41
11	635	643	0	18	3	-68,01	-97,48	3,02
12	635	643	0	18	3,2	-68,4	-98,04	1,87
13	635	643	0	18	3,4	-68,19	-98,56	0,75
14	635	643	0	18	3,6	-68,32	-99,06	0
15	635	643	0	18	3,8	-68,06	-99,53	0
16	635	643	0	18	4	-68,04	-99,98	0
17	635	643	0	18	5	-68,63	-101,91	0
18	635	643	0	18	6	-68,36	-103,5	0
19	635	643	0	18	7	-68,3	-104,84	0
20	635	643	0	18	8	-68,57	-106	0
21	635	643	0	18	9	-68,18	-107,02	0
22	635	643	0	18	10	-67,84	-107,93	0
23	635	643	0	18	11	-68,53	-108,76	0
24	635	643	0	18	12	-68,11	-109,52	0
25	635	643	0	18	13	-67,89	-110,21	0

26	635	643	0	18	14	-68,29	-110,86	0
27	635	643	0	18	15	-68,44	-111,46	0
28	635	644	1	18	1	-68,14	-89,69	30,28
29	635	644	1	18	2	-68,25	-95,71	8,1
30	635	643	1	18	2,2	-68,58	-96,54	6,08
31	635	643	1	18	2,4	-68,2	-97,29	3,16
32	635	643	1	18	2,6	-68,14	-97,99	1,51
33	635	643	1	18	2,8	-68,5	-98,63	0,98
34	635	644	1	18	3	-68,38	-99,23	0
35	635	644	1	18	4	-67,99	-101,73	0
36	635	644	1	18	5	-68,54	-103,67	0
37	635	644	1	18	6	-68,13	-105,25	0
38	635	644	1	18	7	-68,3	-106,59	0
39	635	644	1	18	8	-68,08	-107,75	0
40	635	644	1	18	9	-67,66	-108,77	0
41	635	644	1	18	10	-68,66	-109,69	0
42	635	644	1	18	11	-67,97	-110,52	0
43	635	644	1	18	12	-69	-111,27	0
44	635	644	1	18	13	-68,27	-111,97	0
45	635	644	1	18	14	-68,29	-112,61	0
46	635	644	1	18	15	-68,74	-113,21	0
47	635	645	2	18	1	-68,35	-92,67	19,03
48	635	645	2	18	1,2	-68,71	-94,25	13,49
49	635	645	2	18	1,4	-68,13	-95,59	7,99
50	635	645	2	18	1,6	-68,13	-96,75	4,57
51	635	645	2	18	1,8	-68,55	-97,77	2,85
52	635	645	2	18	2	-68,14	-98,69	0,64
53	635	645	2	18	3	-68,31	-102,2	0
54	635	645	2	18	4	-68,25	-104,71	0
55	635	645	2	18	5	-68	-106,5	0
56	635	645	2	18	6	-68,5	-108,23	0
57	635	645	2	18	7	-68,33	-109,57	0
58	635	645	2	18	8	-68,66	-110,73	0
59	635	645	2	18	9	-68,9	-111,75	0
60	635	645	2	18	10	-68,58	-112,67	0
61	635	645	2	18	11	-68,64	-113,5	0
62	635	645	2	18	12	-68,26	-114,25	0
63	635	645	2	18	13	-68,01	-114,95	0
64	635	645	2	18	14	-68,6	-115,59	0

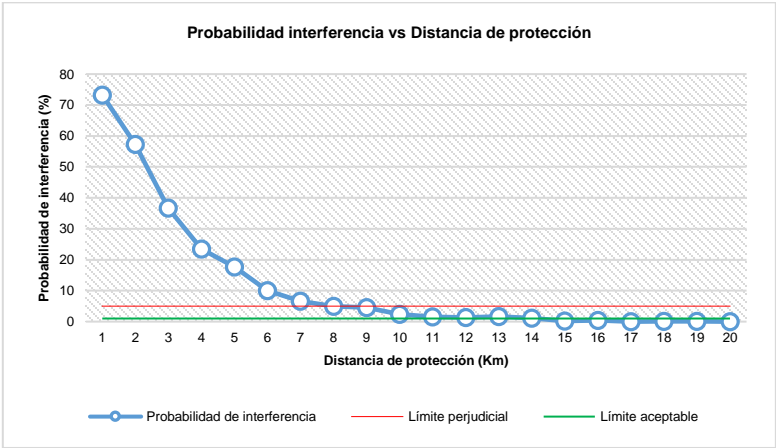
65	635	645	2	18	15	-67,84	-116,19	0
66	635	646	3	18	1	-68,55	-97,35	3,28
67	635	646	3	18	1,2	-68,51	-98,93	0,33
68	635	646	3	18	1,4	-68,06	-100,27	0
69	635	646	3	18	1,6	-68,12	-101,43	0
70	635	646	3	18	1,8	-68,38	-102,45	0
71	635	646	3	18	2	-68,68	-103,37	0
72	635	646	3	18	3	-68,52	-106,89	0
73	635	646	3	18	4	-68,03	-109,39	0
74	635	646	3	18	5	-67,71	-111,33	0
75	635	646	3	18	6	-68,26	-112,91	0
76	635	646	3	18	7	-68,49	-114,25	0
77	635	646	3	18	8	-68,22	-115,41	0
78	635	646	3	18	9	-68,55	-116,43	0
79	635	646	3	18	10	-68,37	-117,35	0
80	635	646	3	18	11	-68,39	-118,18	0
81	635	646	3	18	12	-68,32	-118,93	0
82	635	646	3	18	13	-68,28	-119,63	0
83	635	646	3	18	14	-68,06	-120,27	0
84	635	646	3	18	15	-68,55	-120,87	0
85	635	647	4	18	1	-68,03	-100,48	0
86	635	648	5	18	1	-68,13	-100,66	0
87	635	648	5	18	2	-68,62	-106,69	0
88	635	648	5	18	3	-68,34	-110,21	0
89	635	648	5	18	4	-68,66	-112,71	0
90	635	648	5	18	5	-68,19	-114,64	0
91	635	648	5	18	6	-68,21	-116,23	0
92	635	648	5	18	7	-67,78	-117,57	0
93	635	648	5	18	8	-67,73	-118,73	0
94	635	648	5	18	9	-68,49	-119,75	0
95	635	648	5	18	10	-68,13	-120,66	0
96	635	648	5	18	11	-68,49	-121,49	0
97	635	648	5	18	12	-68,42	-122,25	0
98	635	648	5	18	13	-68,45	-122,94	0
99	635	648	5	18	14	-68,44	-123,59	0
100	635	648	5	18	15	-68,08	-124,19	0
101	635	653	10	18	1	-68,21	-101,27	0
102	635	653	10	18	2	-68,16	-107,19	0
103	635	653	10	18	3	-68,08	-110,71	0

104	635	653	10	18	4	-68,25	-113,21	0
105	635	653	10	18	5	-68,19	-115,15	0
106	635	653	10	18	6	-68,26	-115,15	0
107	635	653	10	18	7	-68,39	-116,73	0
108	635	653	10	18	8	-68,42	-118,07	0
109	635	653	10	18	9	-68,29	-119,23	0
110	635	653	10	18	10	-68,33	-120,26	0
111	635	653	10	18	11	-67,88	-121,17	0
112	635	653	10	18	12	-68,99	-122	0
113	635	653	10	18	13	-67,99	-122,76	0
114	635	653	10	18	14	-68,11	-123,45	0
115	635	653	10	18	15	-68,33	-124,69	0
116	635	658	15	18	1	-68	-101,24	0
117	635	658	15	18	2	-68,89	-107,26	0
118	635	658	15	18	3	-68,67	-110,87	0
119	635	658	15	18	4	-68,59	-113,28	0
120	635	658	15	18	5	-67,87	-115,22	0
121	635	658	15	18	6	-68,17	-116,8	0
122	635	658	15	18	7	-68,18	-118,14	0
123	635	658	15	18	8	-68,18	-119,3	0
124	635	658	15	18	9	-67,84	-120,32	0
125	635	658	15	18	10	-68,58	-121,24	0
126	635	658	15	18	11	-68,61	-122,07	0
127	635	658	15	18	12	-68,62	-122,82	0
128	635	658	15	18	13	-67,86	-123,52	0
129	635	658	15	18	14	-67,57	-124,16	0
130	635	658	15	18	15	-68,61	-124,76	0

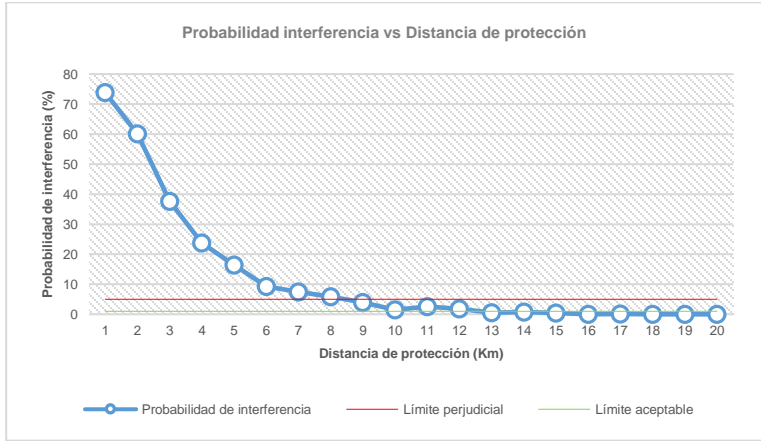
## ANEXO 5: GRÁFICAS DE RESULTADOS SIMULACIONES

En ese anexo se presentan las gráficas de resultado descritas por los valores registrados en cada uno de los casos y en las bandas de guarda seleccionadas, así como los límites definidos de interferencia perjudicial y aceptable en términos de la probabilidad de interferencia. Finalmente, para cada caso se incluyen las gráficas de las superficies descritas al evaluar todos los puntos y las proyecciones o mapas de contorno de probabilidad en función de la banda de guarda y la distancia de protección.

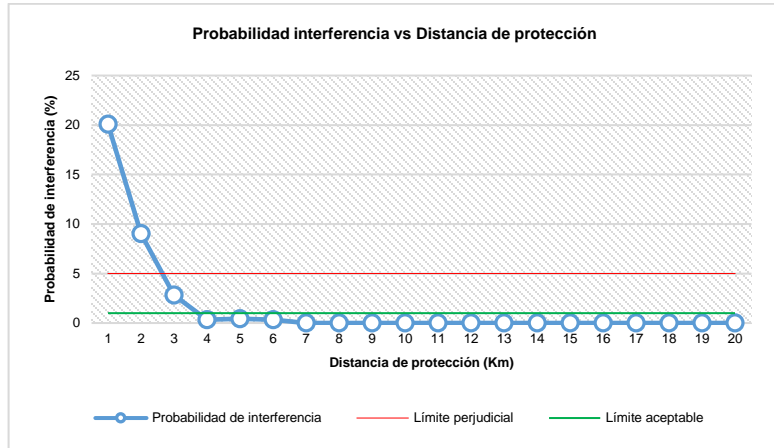
### Gráficos resultados caso 1



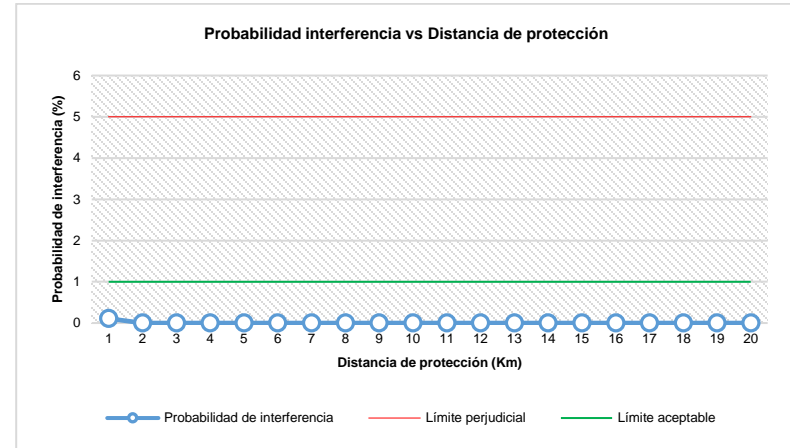
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 1A.



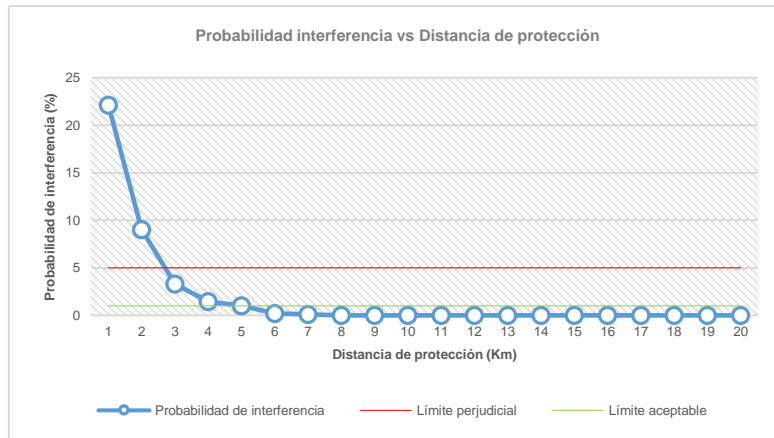
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 1B.



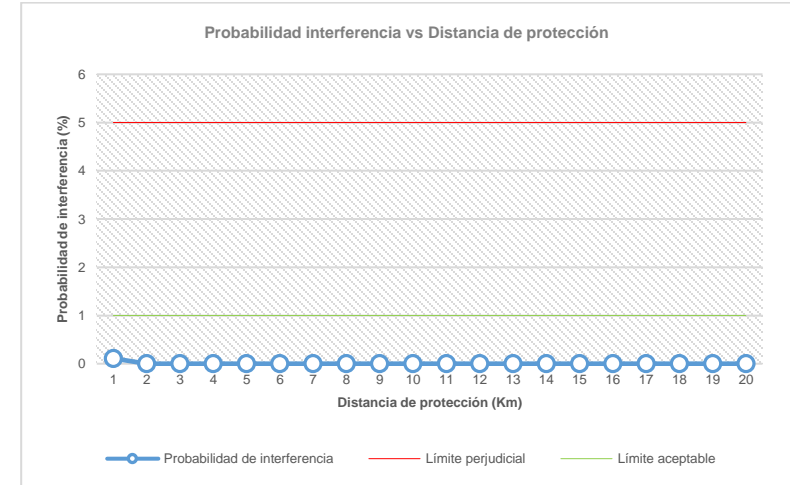
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 1A.



Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 1A.

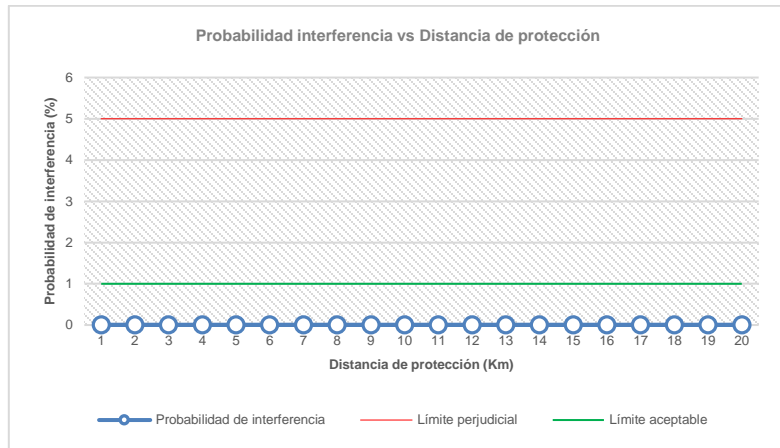


Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 1B.

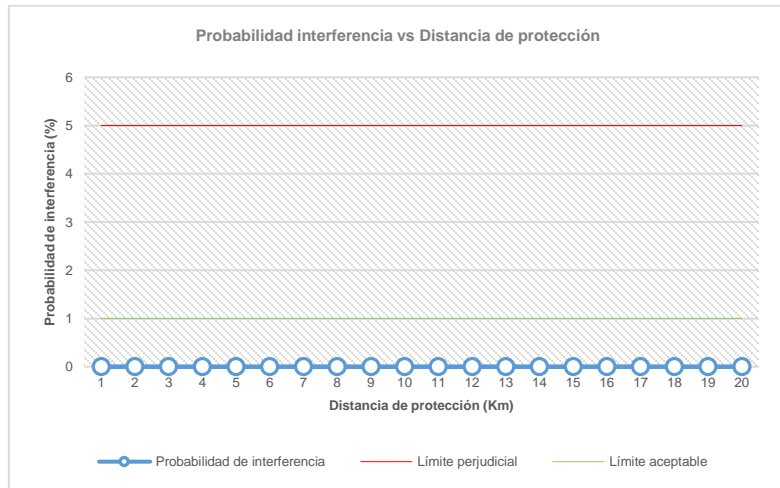


Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 1B.

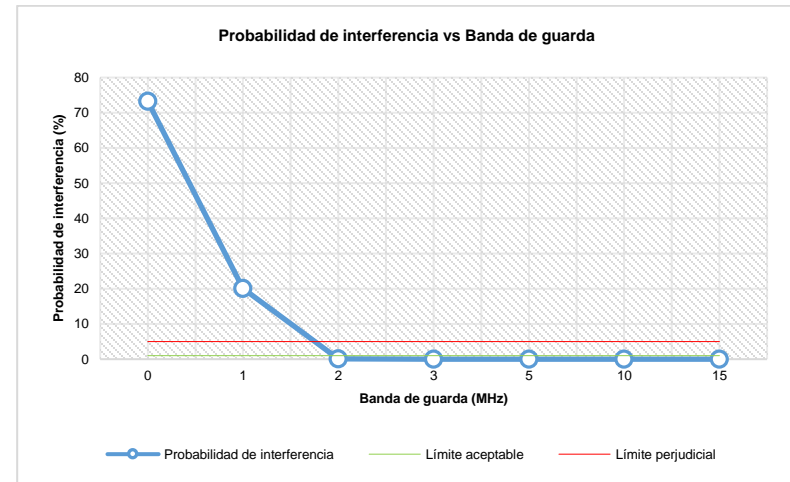




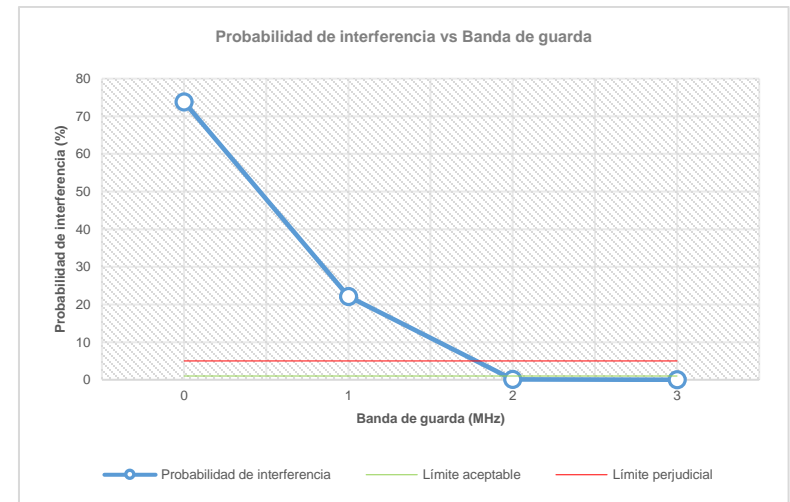
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 1A.



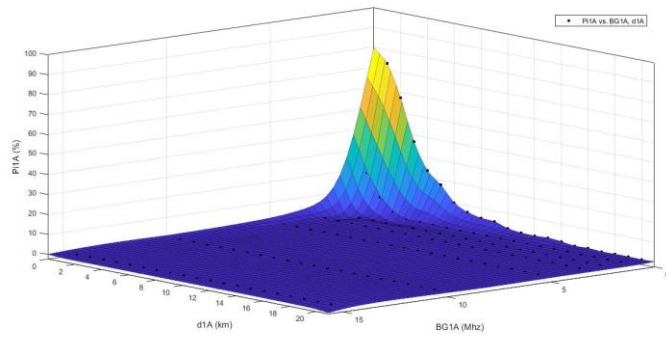
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 1B.



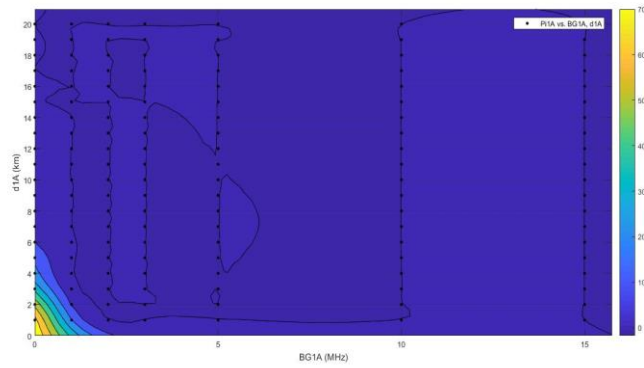
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 1km caso 1A.



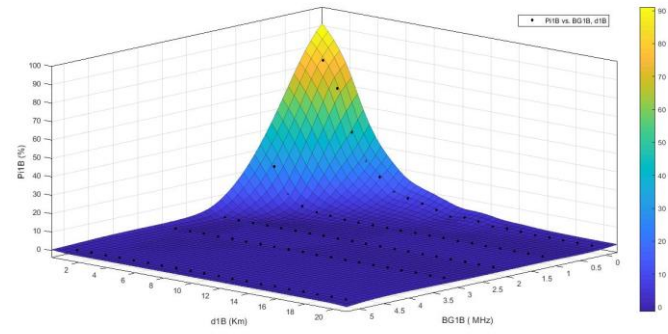
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 1km, caso 1B.



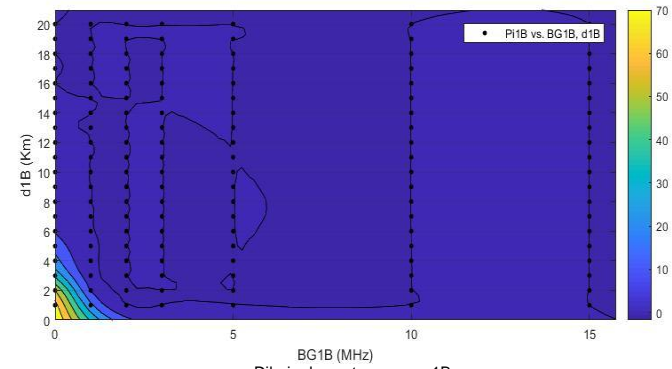
Superficie caso 1A



Dibujo de contorno caso 1A

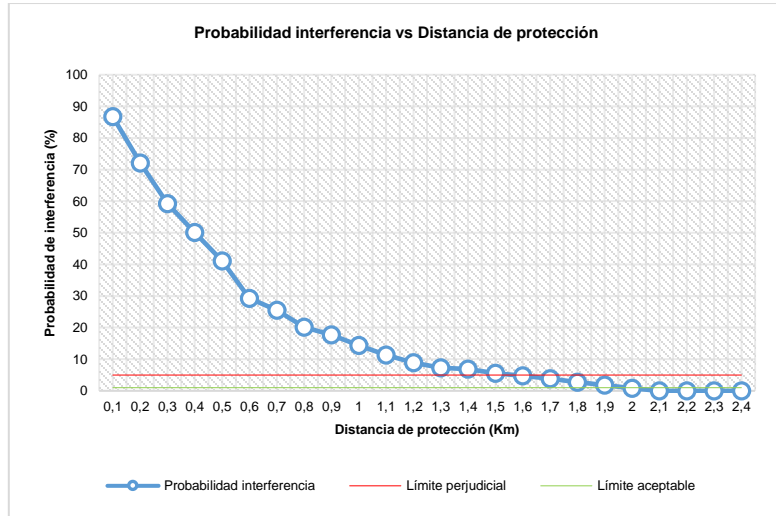


Superficie caso 1B

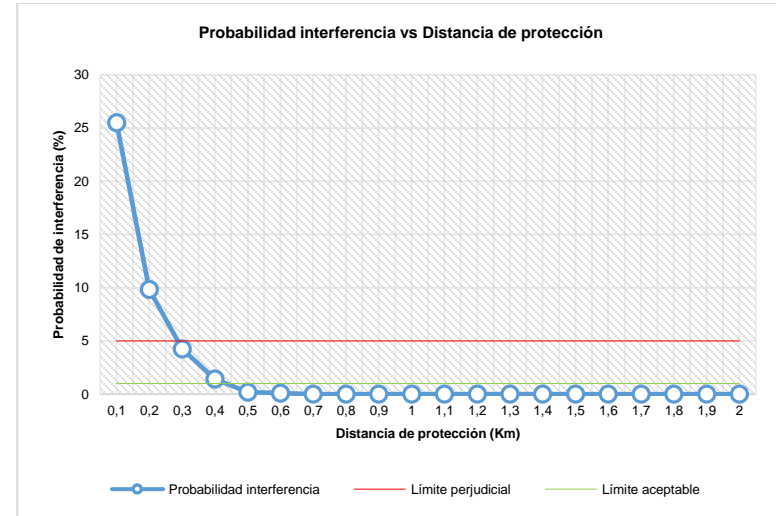


Dibujo de contorno caso 1B

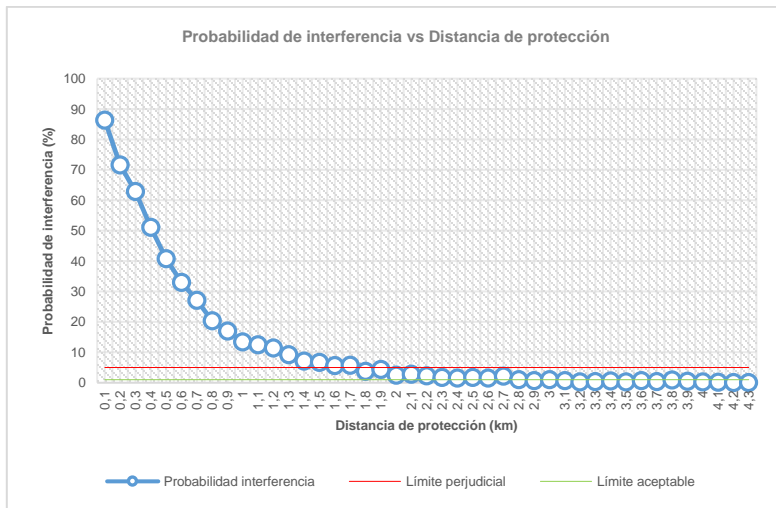
## Gráficos resultados caso 2



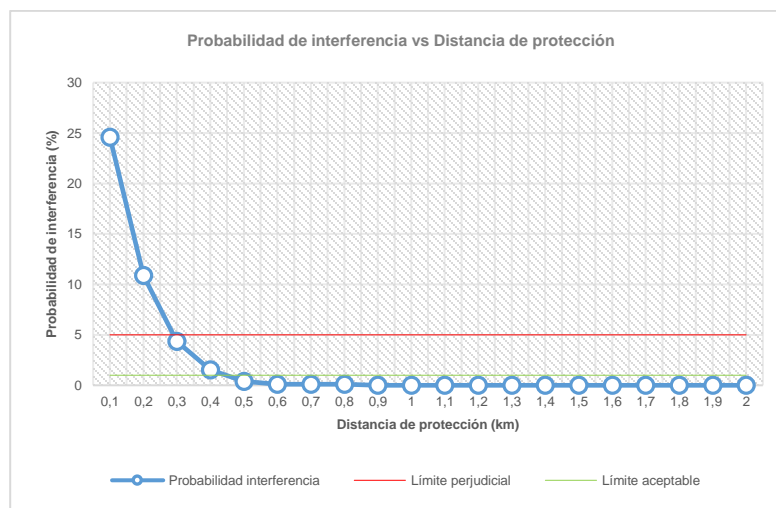
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 2A.



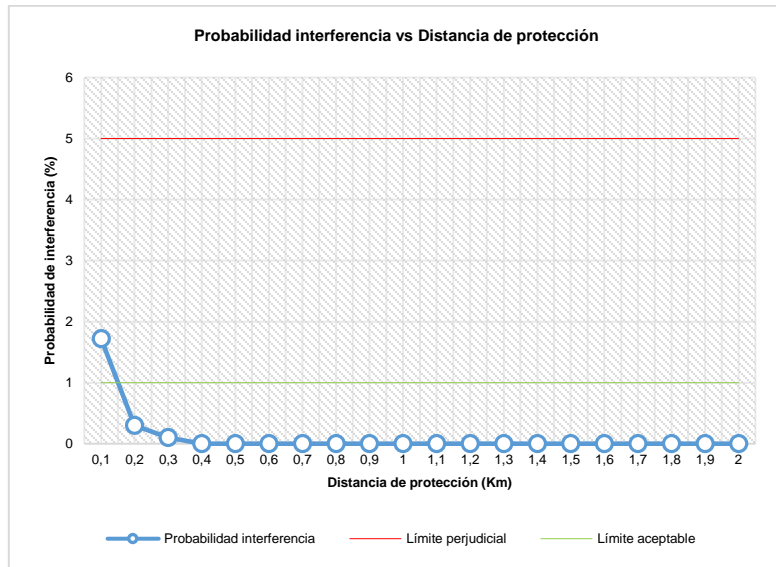
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 2A



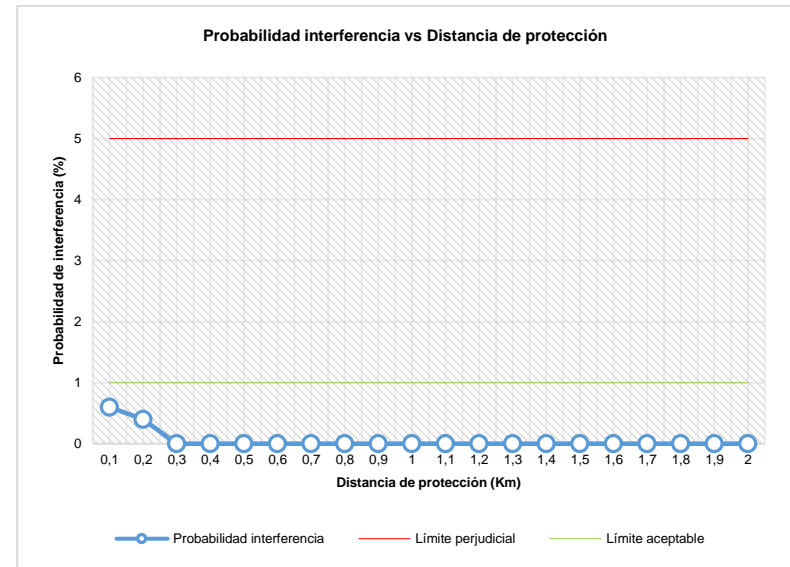
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 2B.



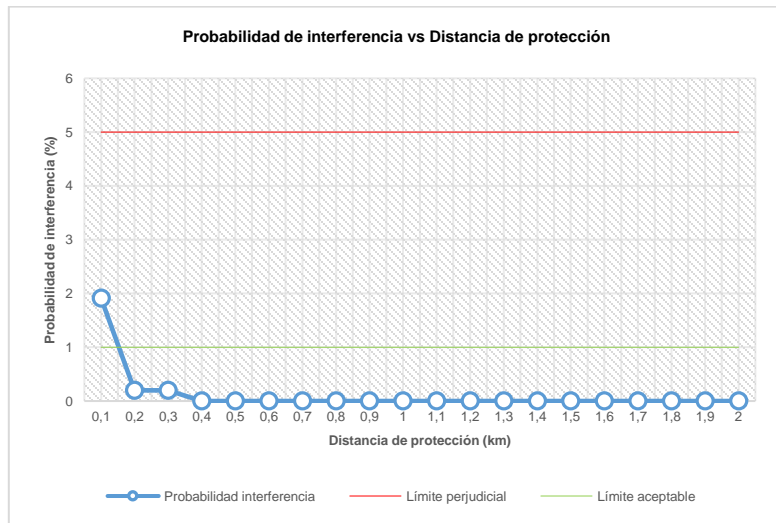
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 2B



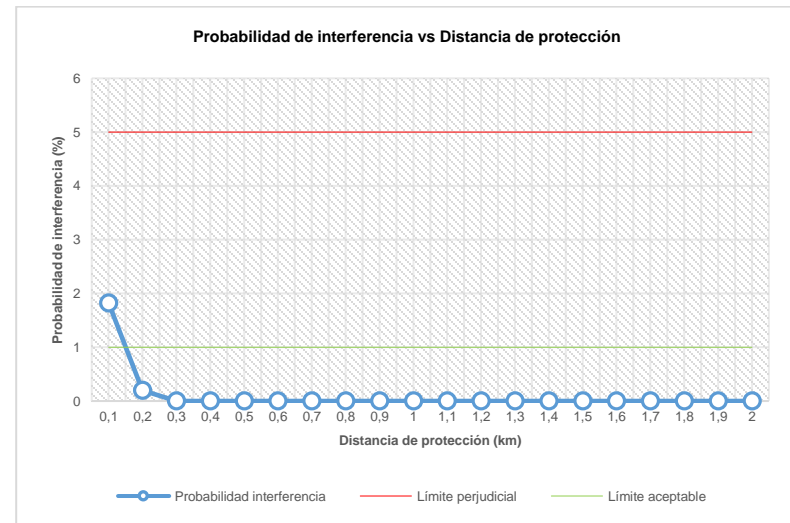
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 2A



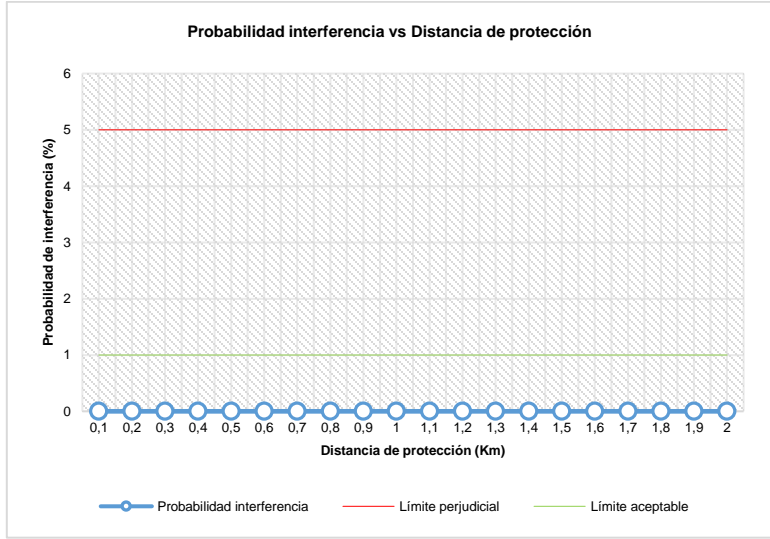
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 2A



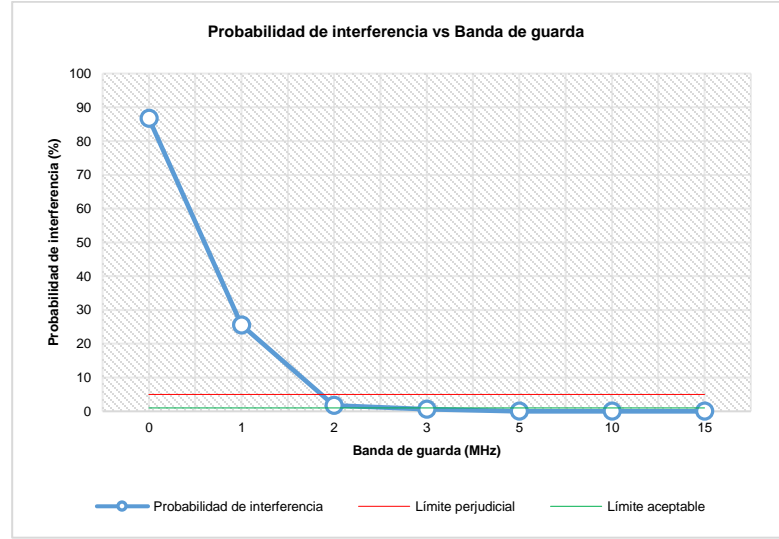
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 2B



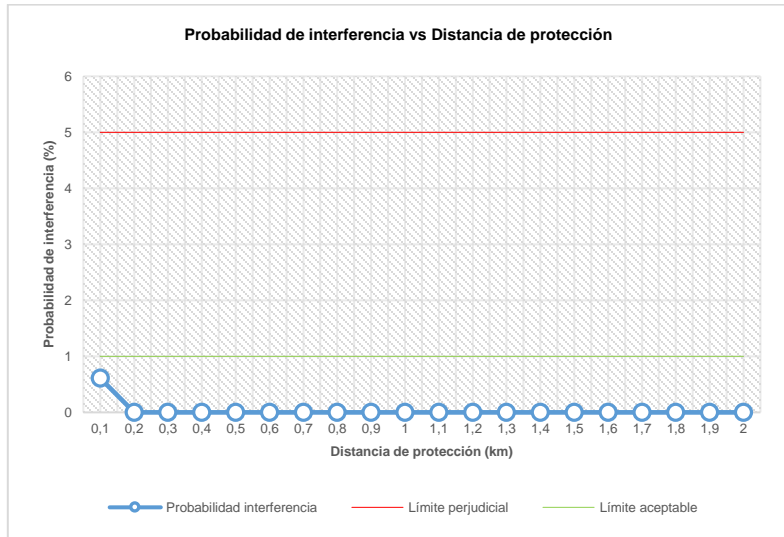
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 2B



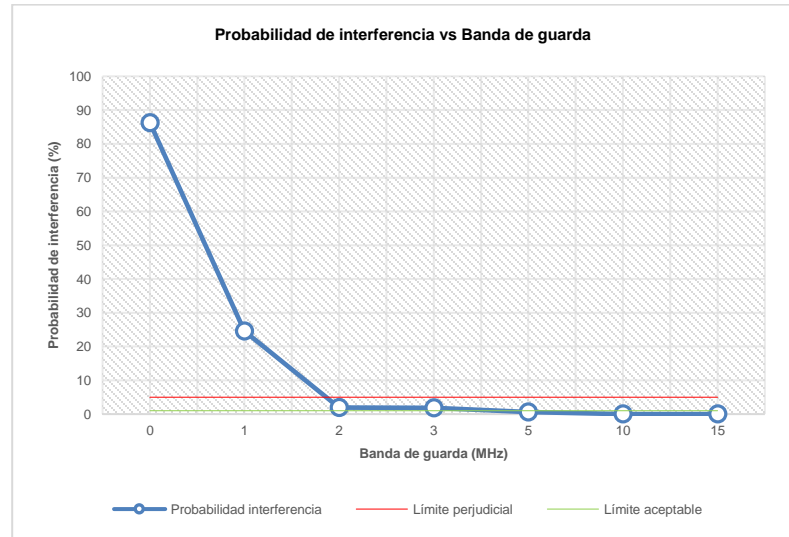
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 5MHz caso 2A



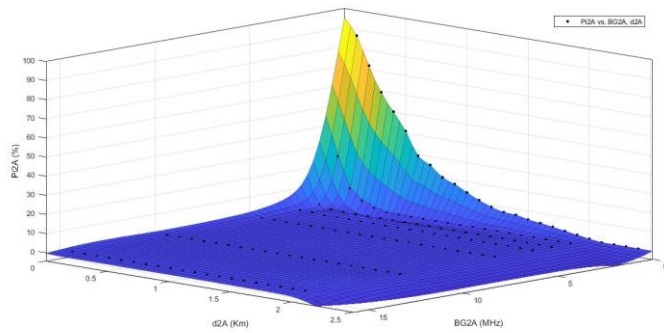
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 100m, caso 2A.



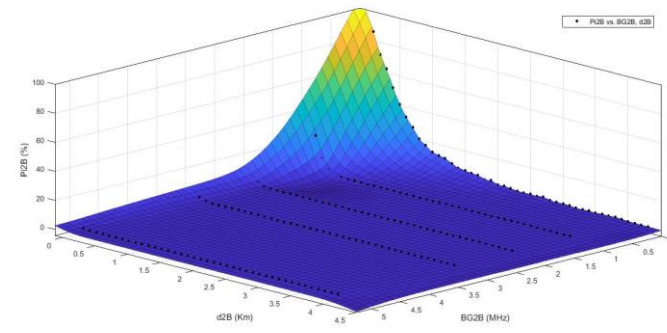
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 5MHz caso 2B



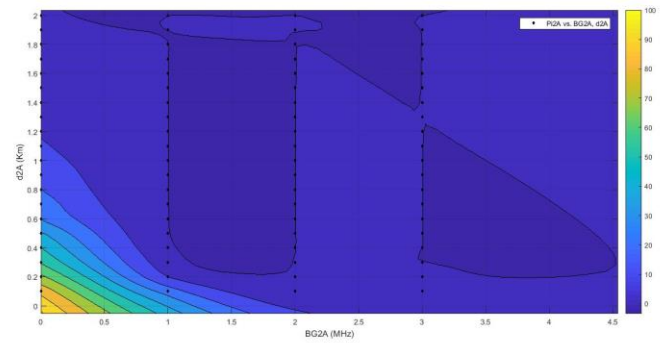
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 100m, caso 2B.



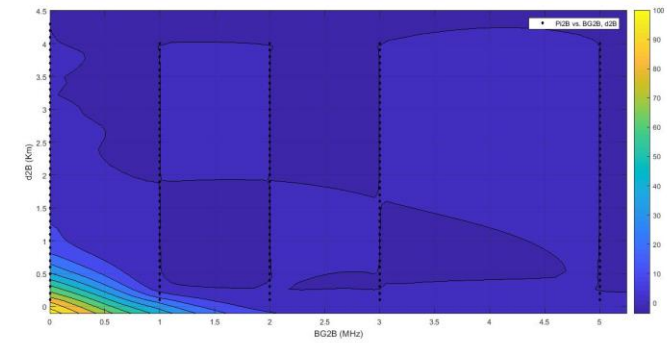
Superficie caso 2A



Superficie caso 2B

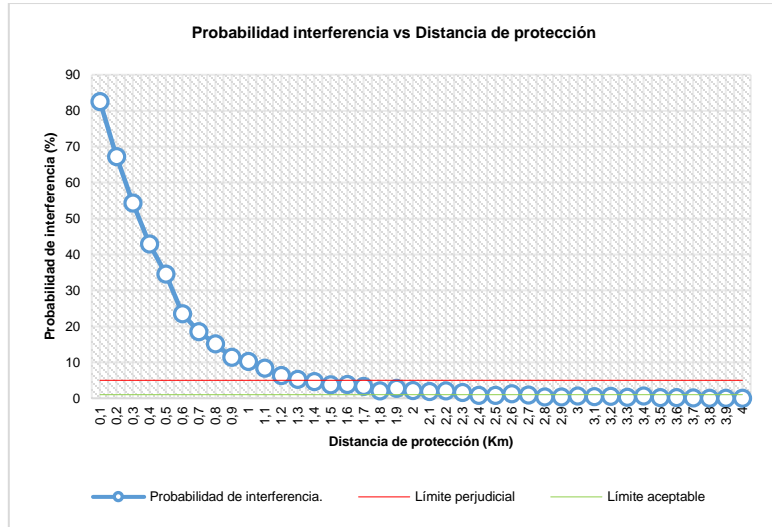


Dibujo de contorno caso 2A

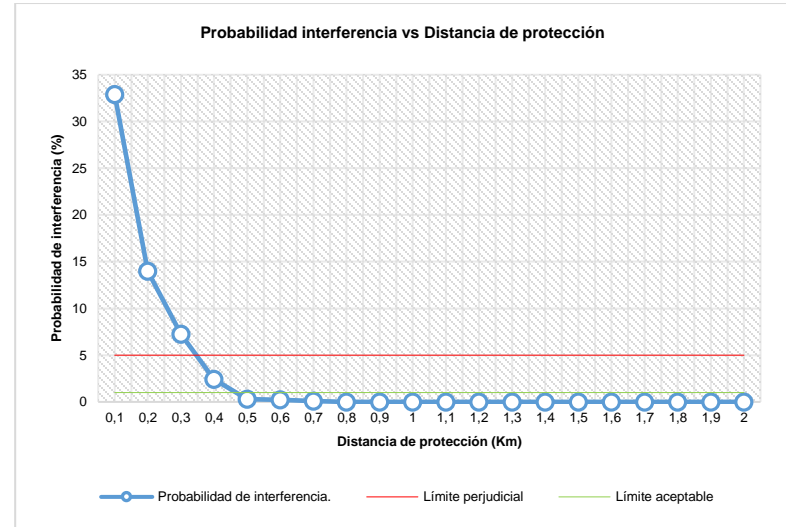


Dibujo de contorno caso 2B

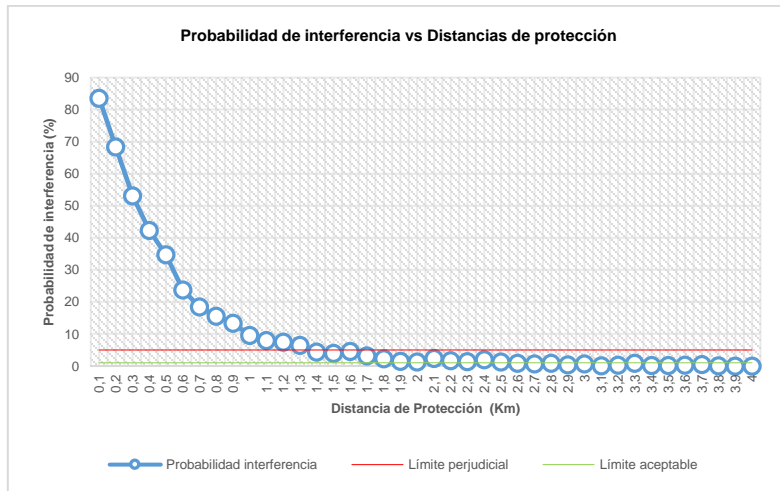
### Gráficos resultados caso 3



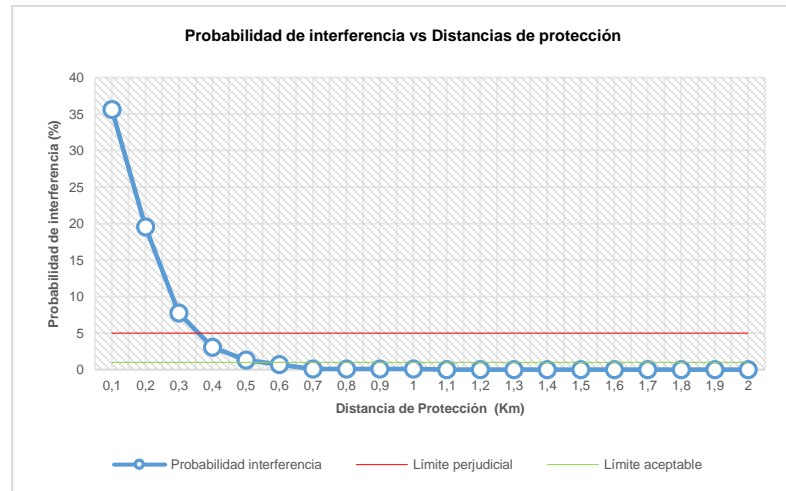
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 3A



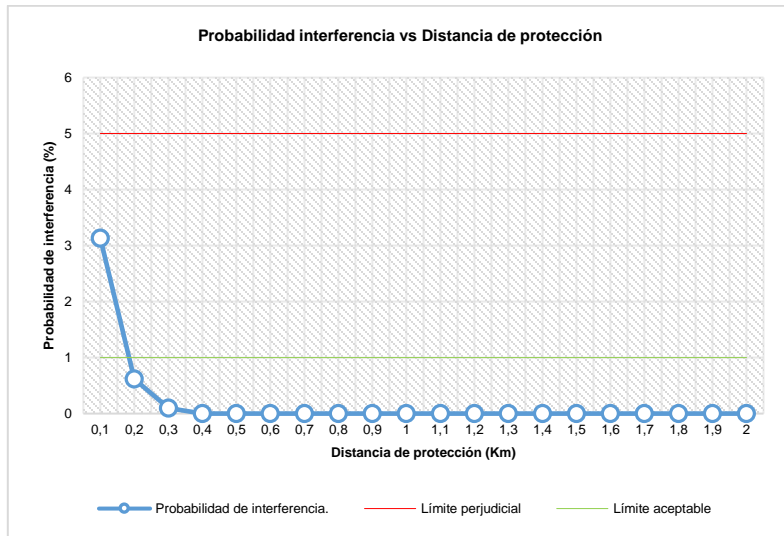
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 3A



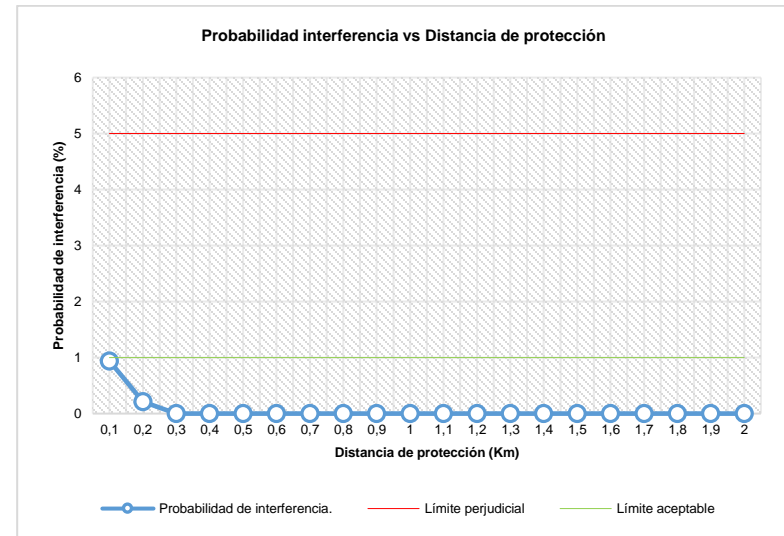
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 3B



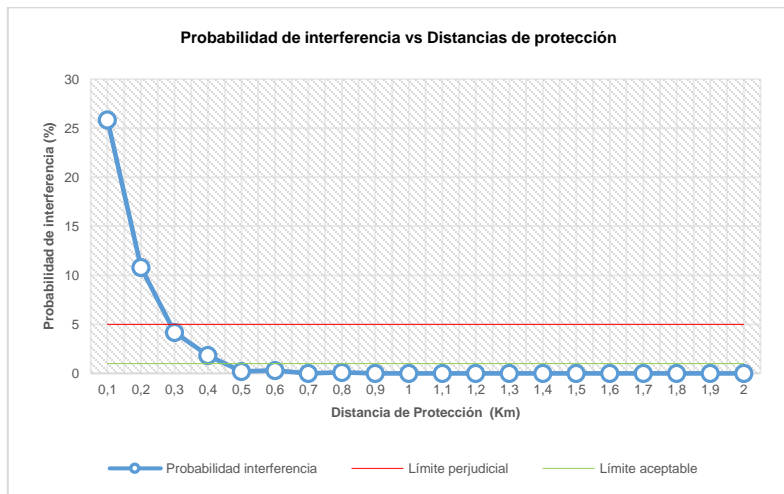
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 3B



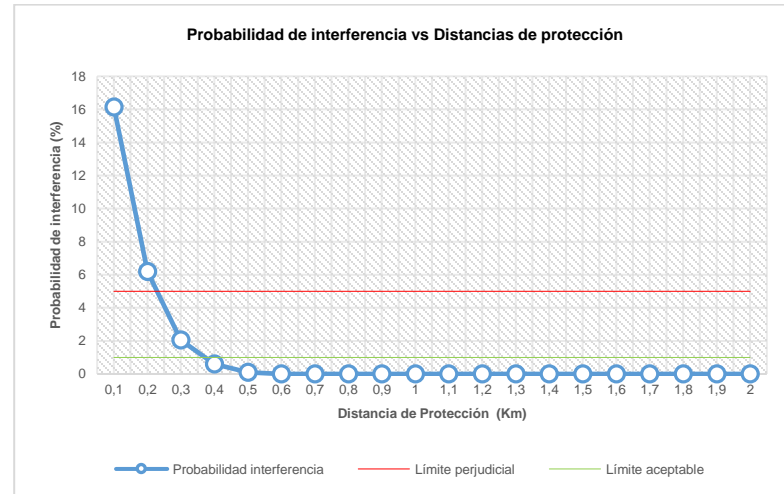
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 3A



Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 3A.

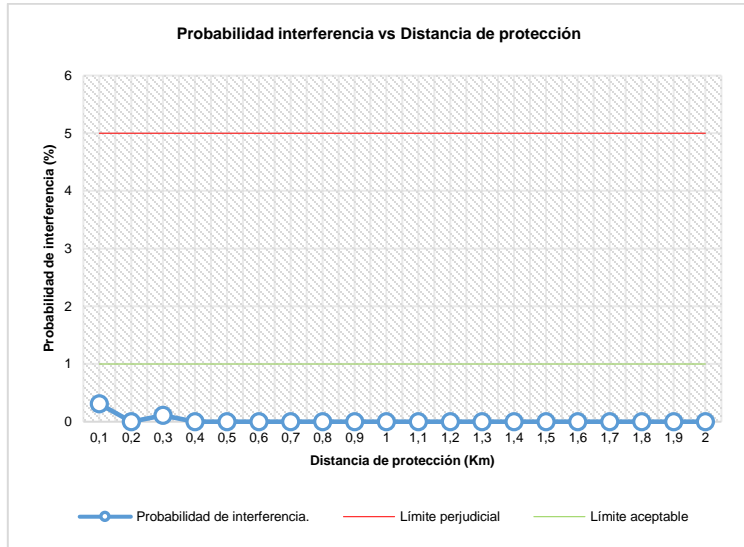


Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 3B

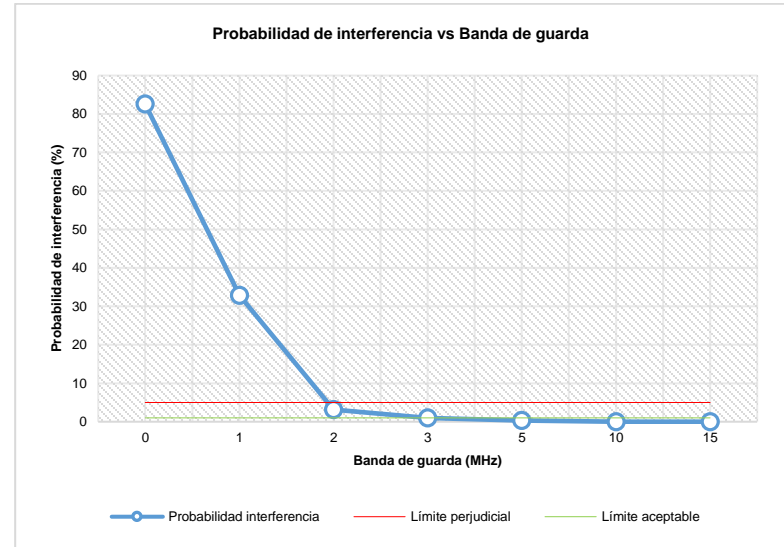


Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 3B

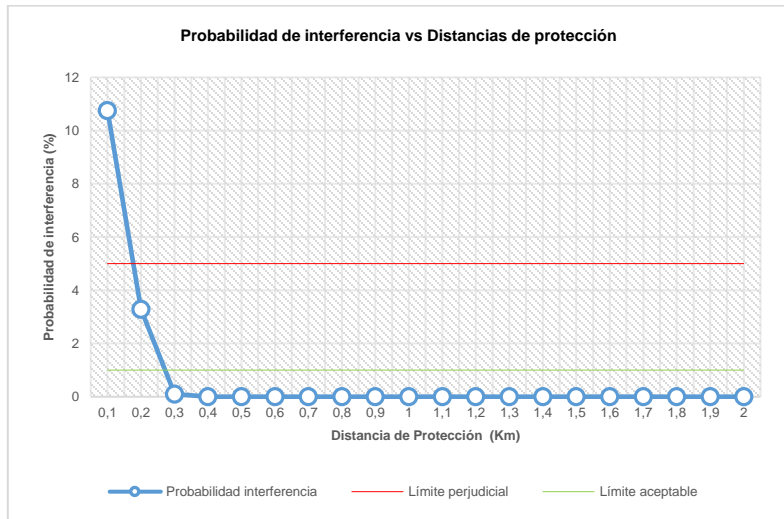




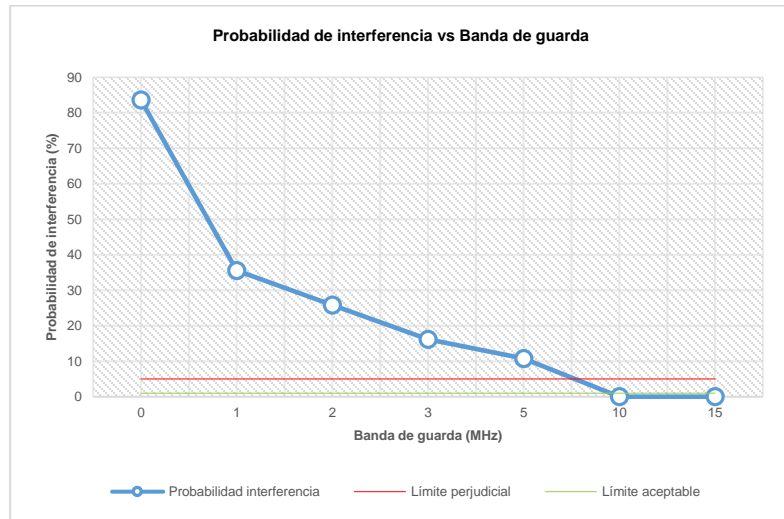
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 5MHz caso 3A.



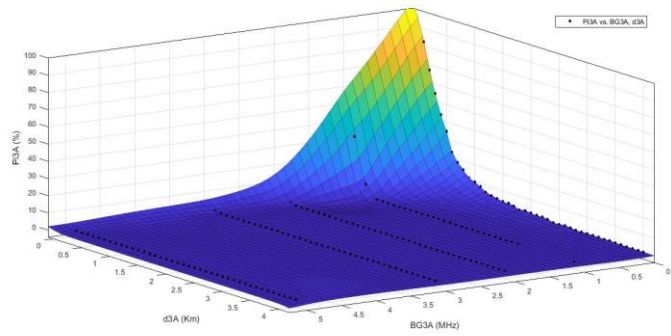
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda, distancia 100 m. Caso 3A.



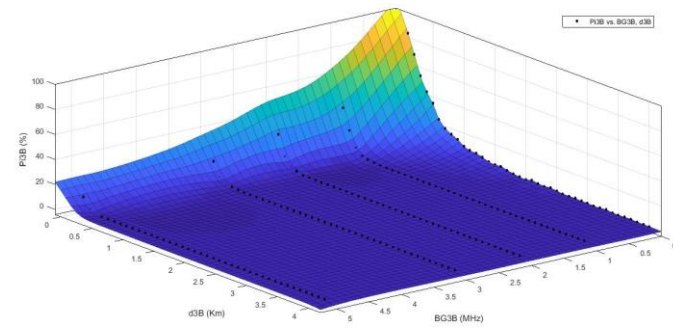
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 5MHz caso 3B.



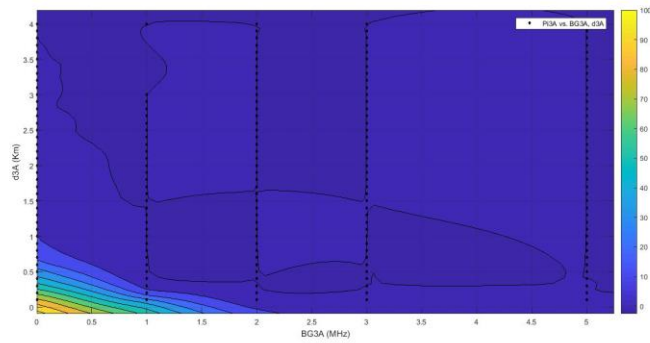
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda, distancia 100 m. Caso 3B



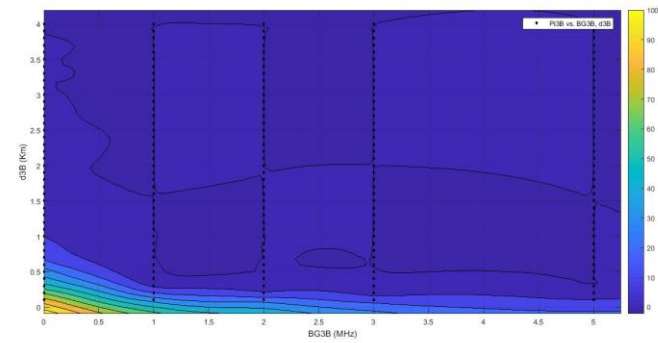
Superficie caso 3A



Superficie caso 3B

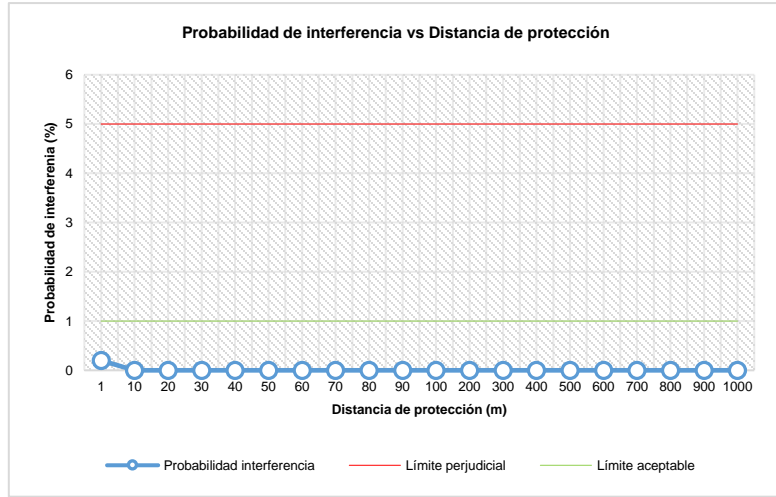


Dibujo de contorno caso 3A

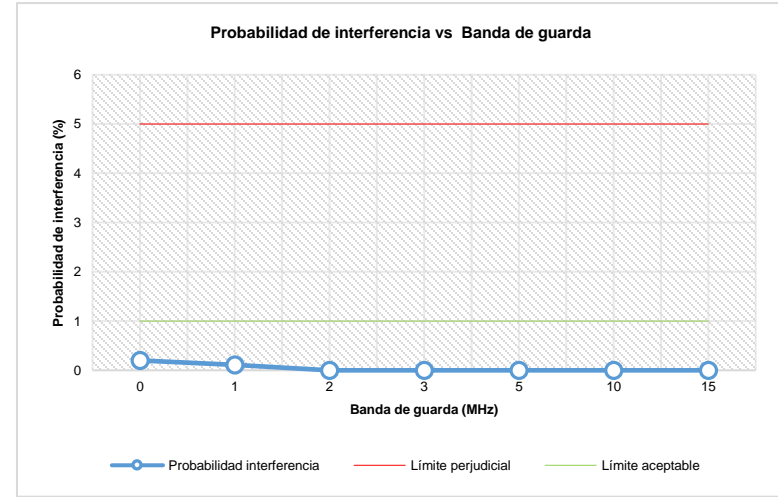


Dibujo de contorno caso 3B

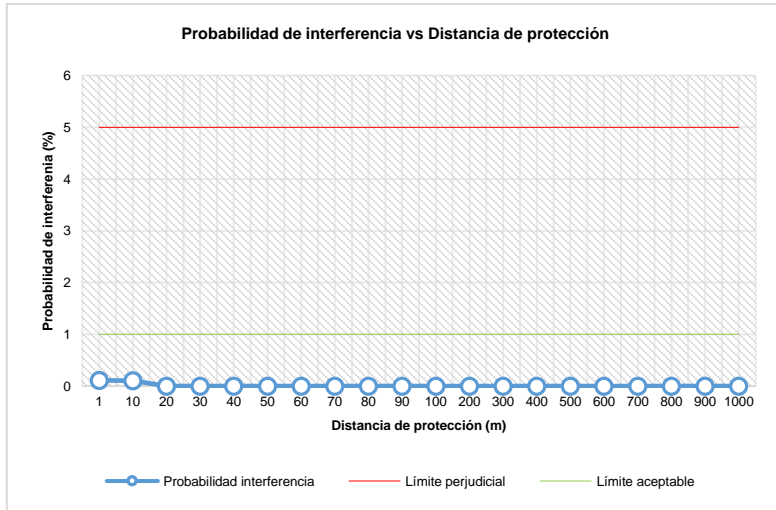
Gráficos resultados caso 4



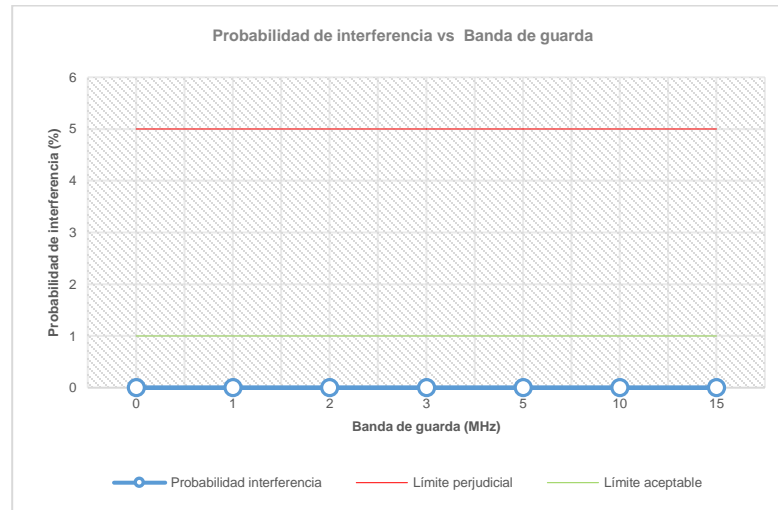
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 4A.



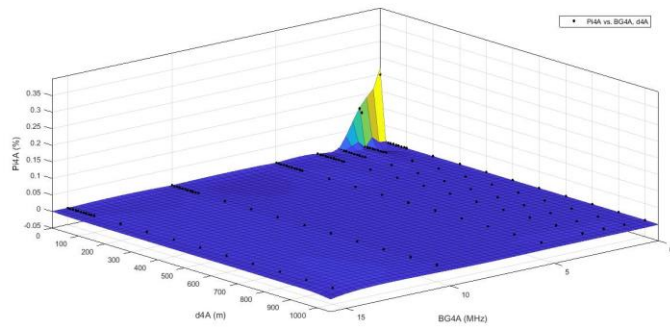
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 1m, caso 4A.



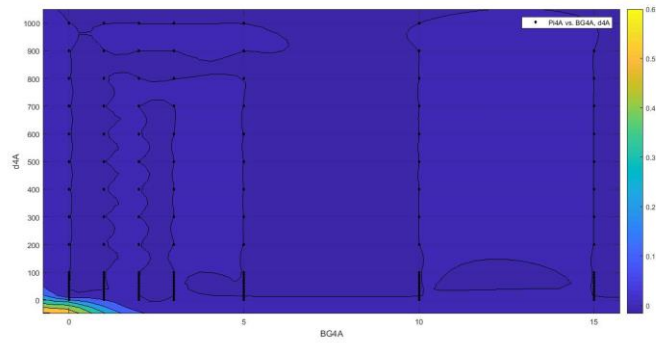
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 4A.



Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 1m, caso 4B.



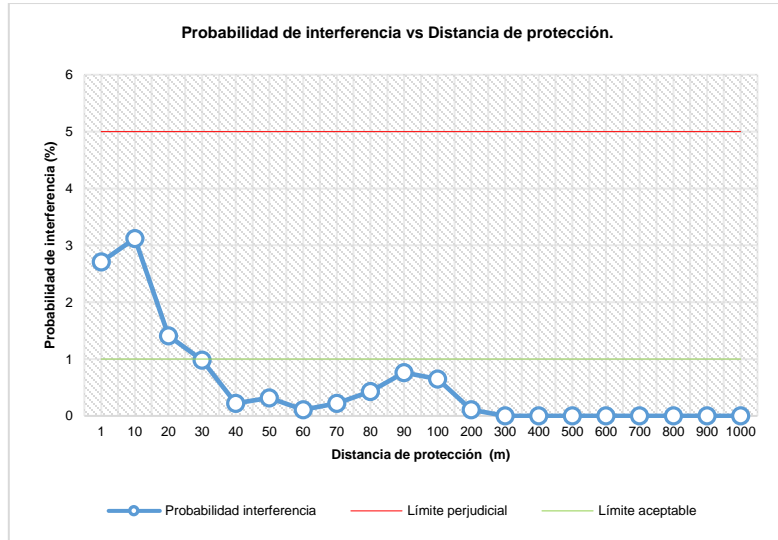
Superficie caso 4A



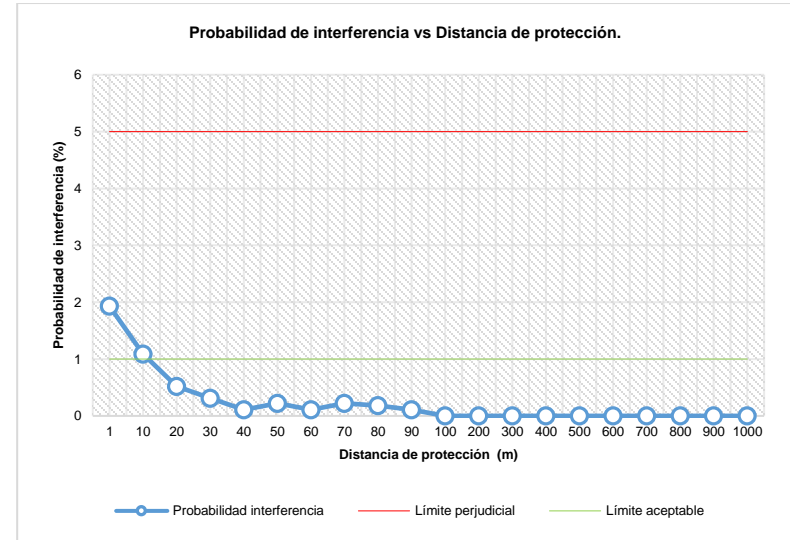
Dibujo de contorno caso 4A

Para el caso 4B no se generaron la superficie y el dibujo de contorno debido a que en ninguno de los valores evaluados se obtuvo un resultado de probabilidad de interferencia.

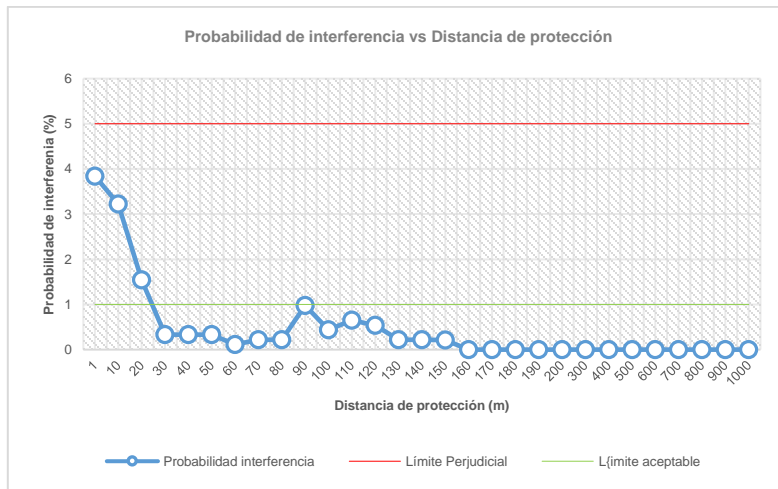
## Gráficos resultados caso 5



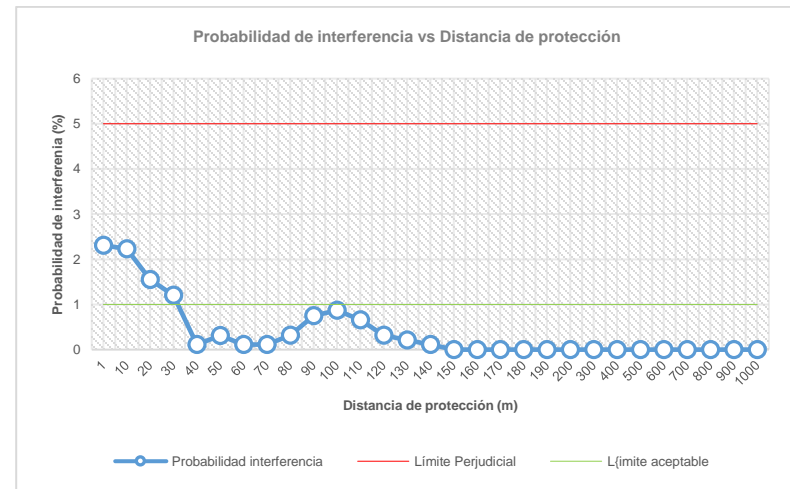
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0 MHz caso 5A.



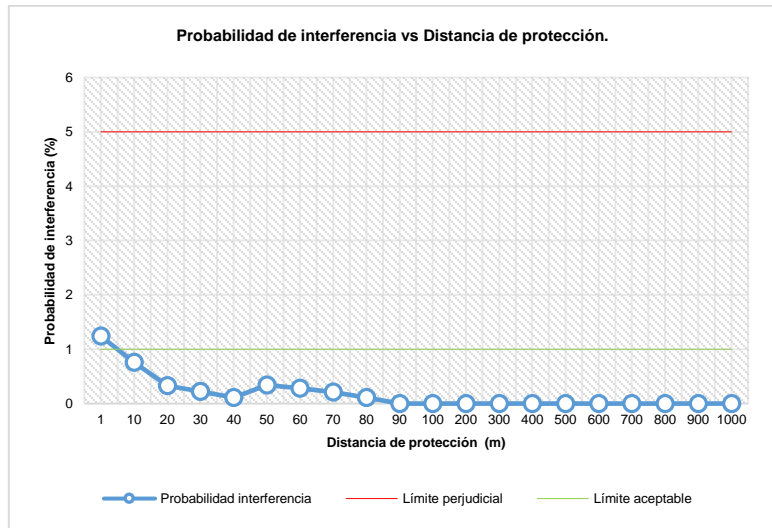
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1 MHz caso 5A.



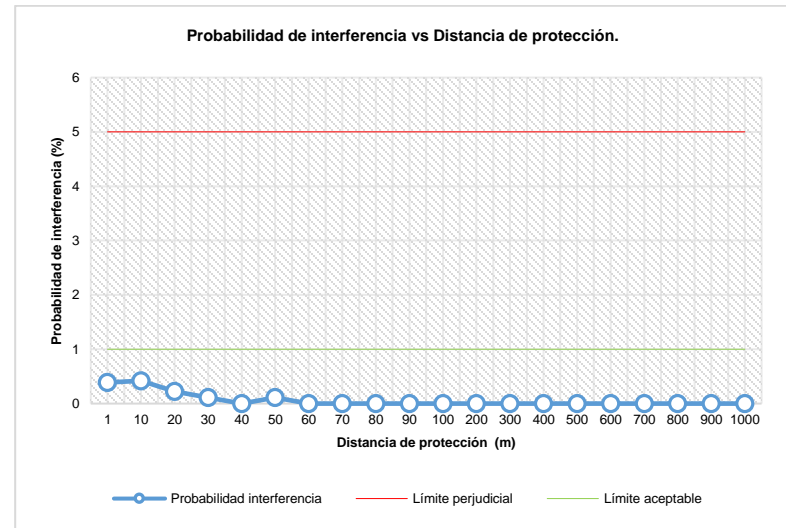
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0 MHz caso 5B.



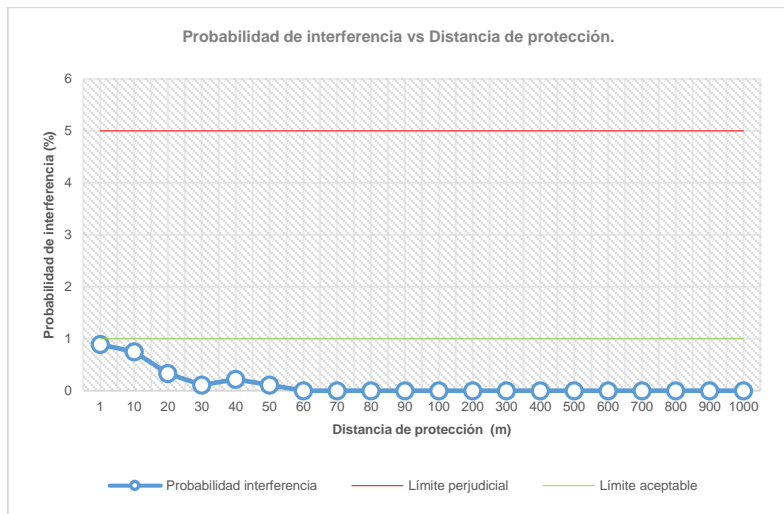
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1 MHz caso 5A.



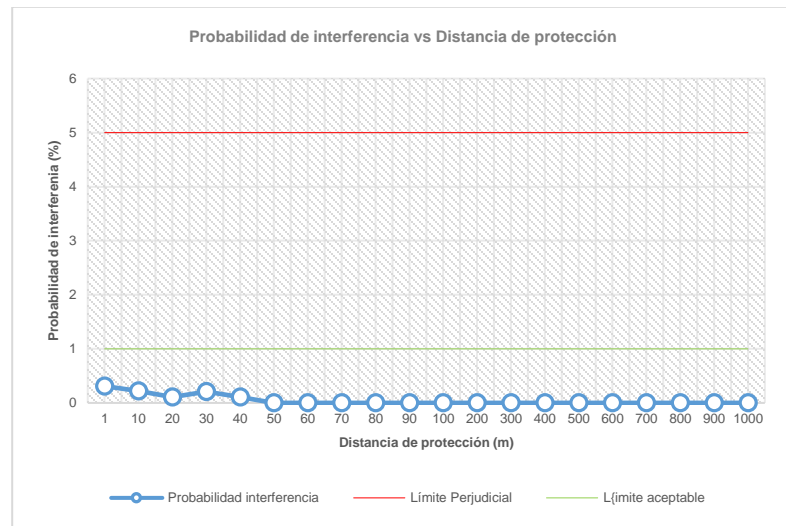
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 5A.



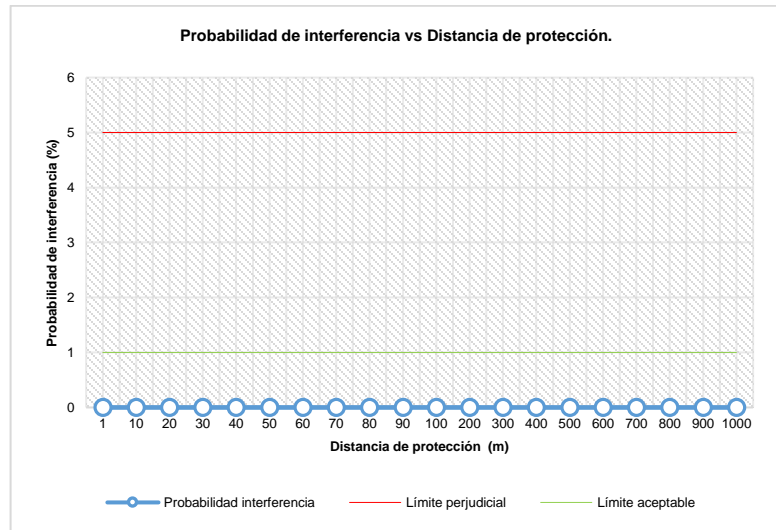
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 5A.



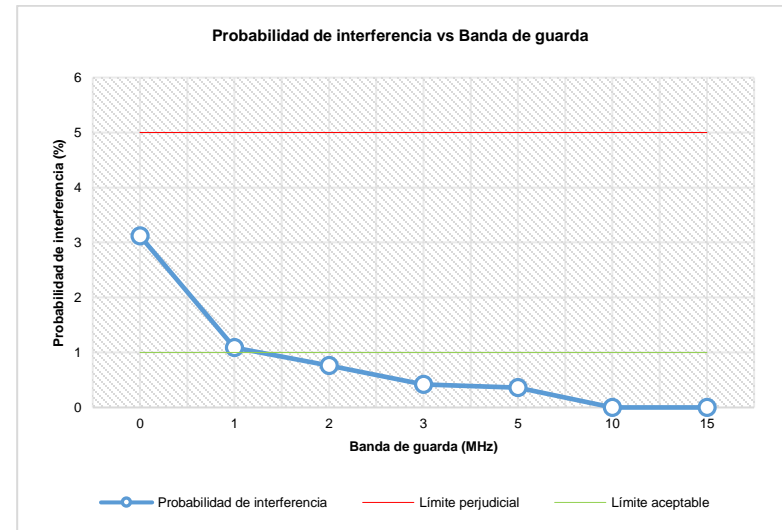
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 5B.



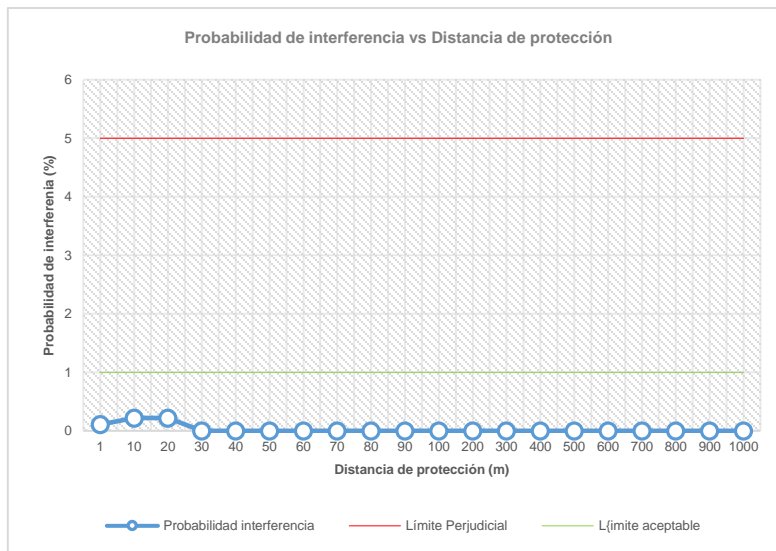
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 5MHz caso 5A.



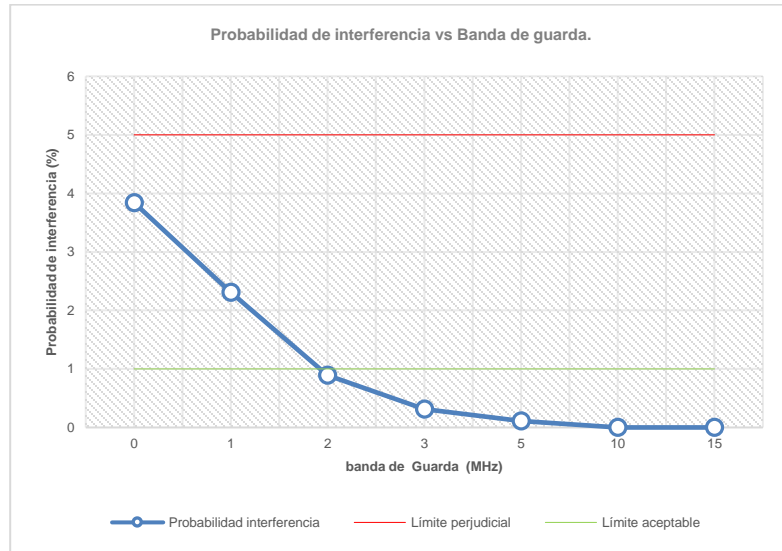
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 10MHz caso 5A.



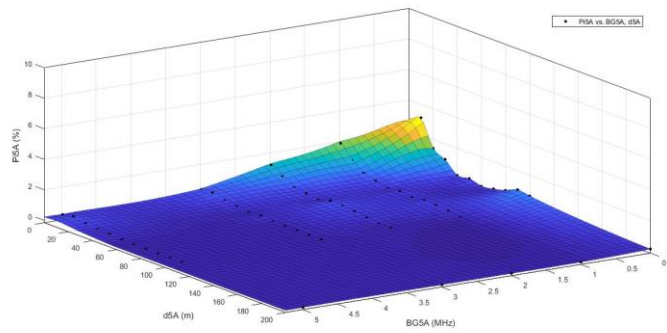
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 1m caso 5A.



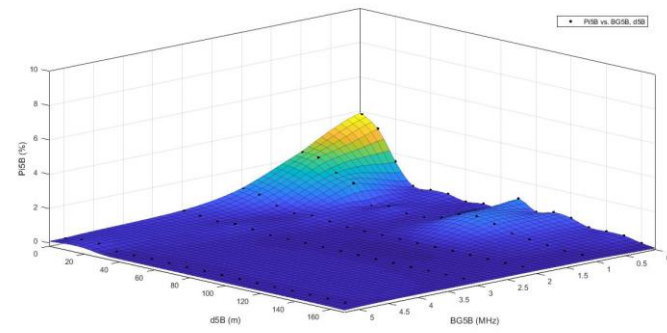
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 10MHz caso 5B.



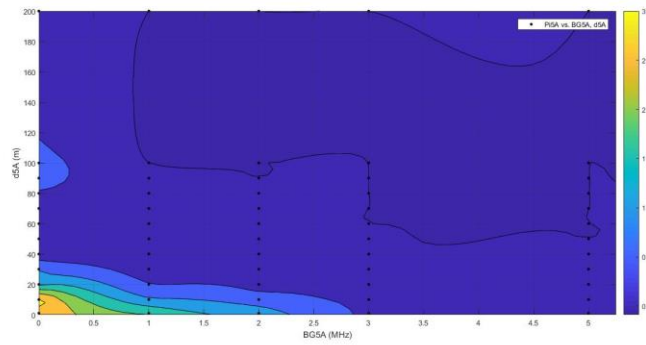
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 1m caso 5B.



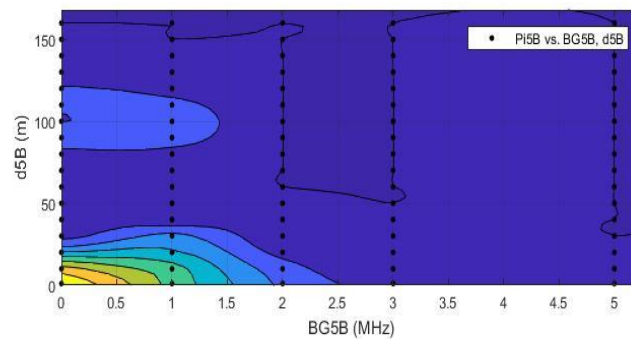
Superficie caso 5A



Superficie caso 5B



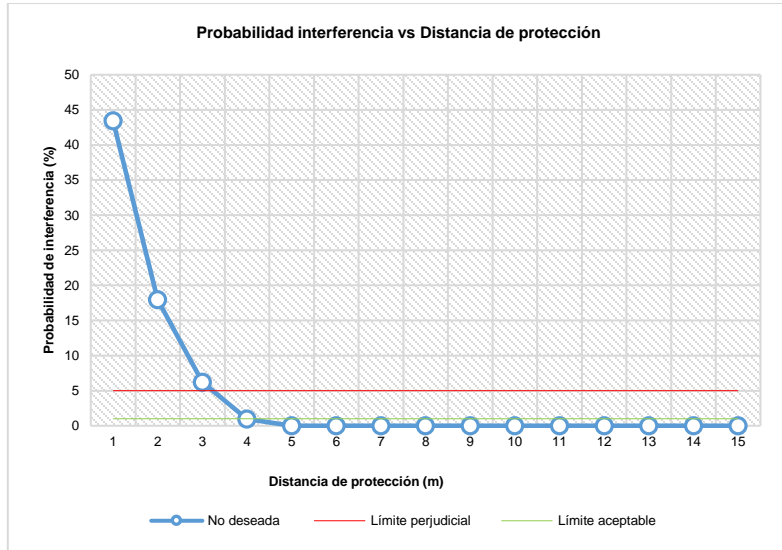
Dibujo de contorno caso 5A



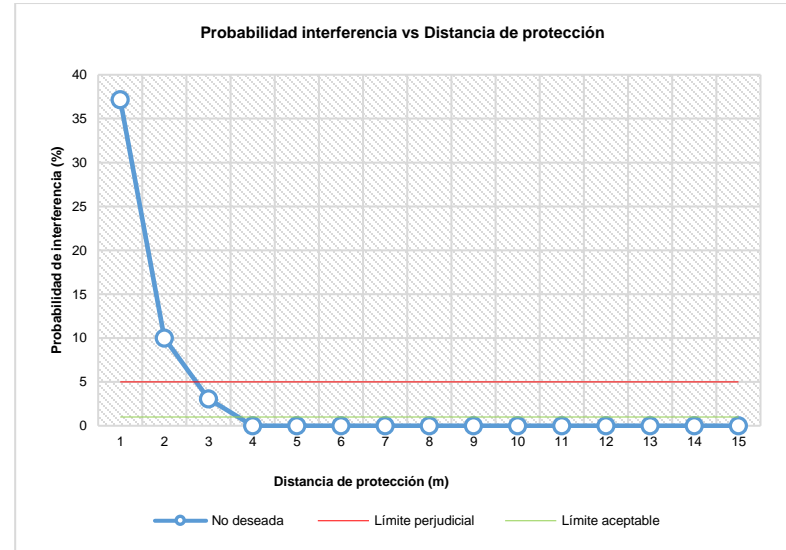
Dibujo de contorno caso 5B



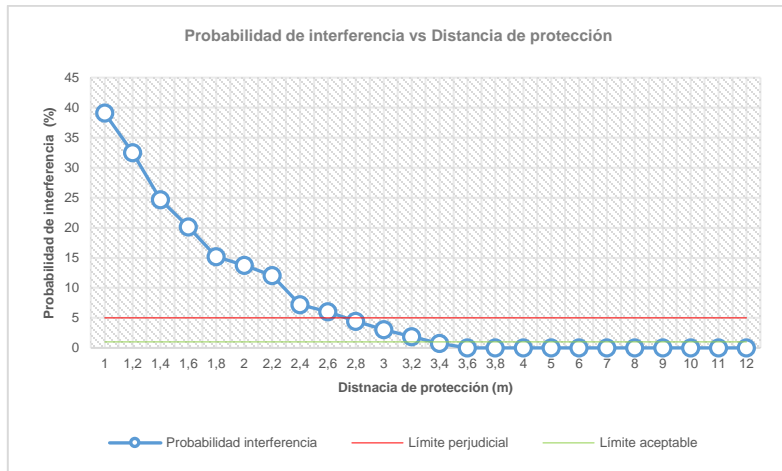
## Gráficos resultados caso 6



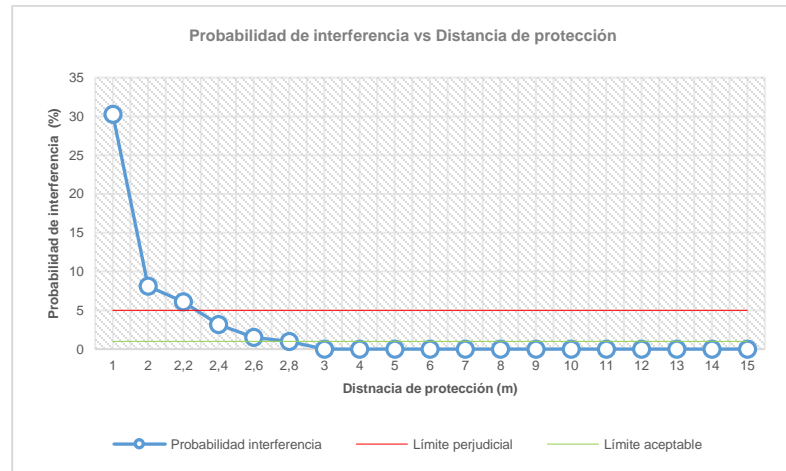
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 6A.



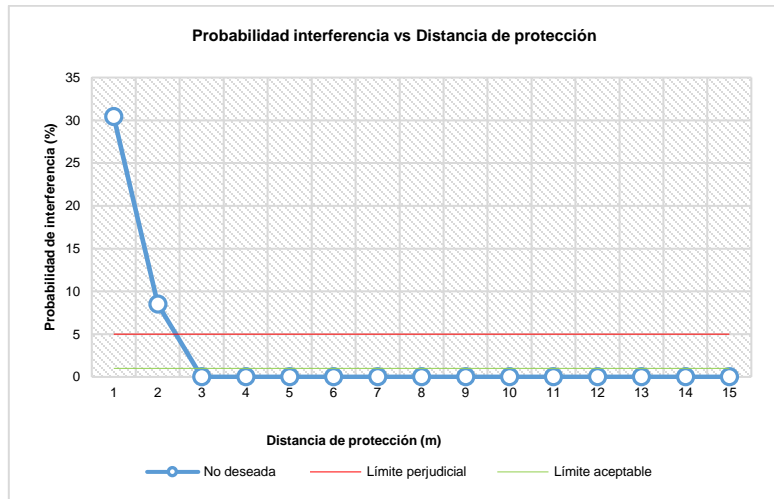
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 6A.



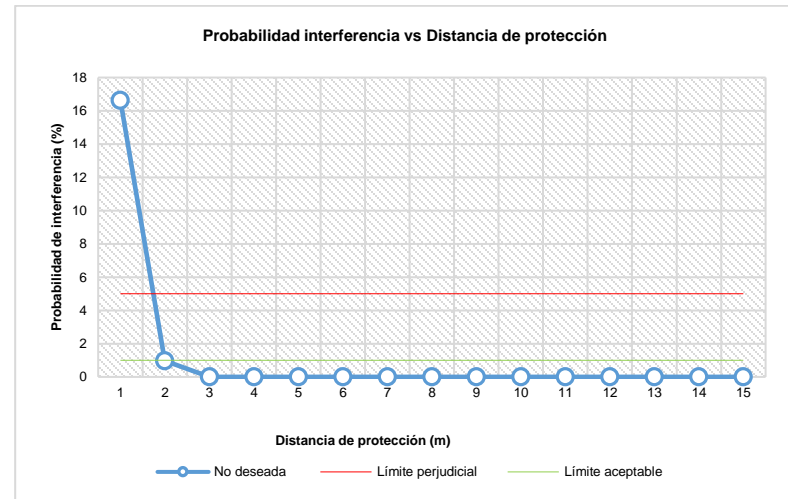
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 0MHz caso 6B.



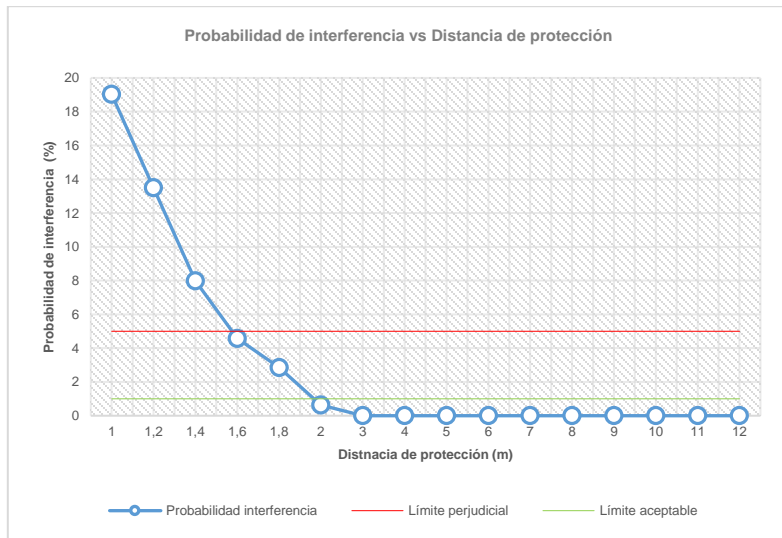
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 1MHz caso 6B.



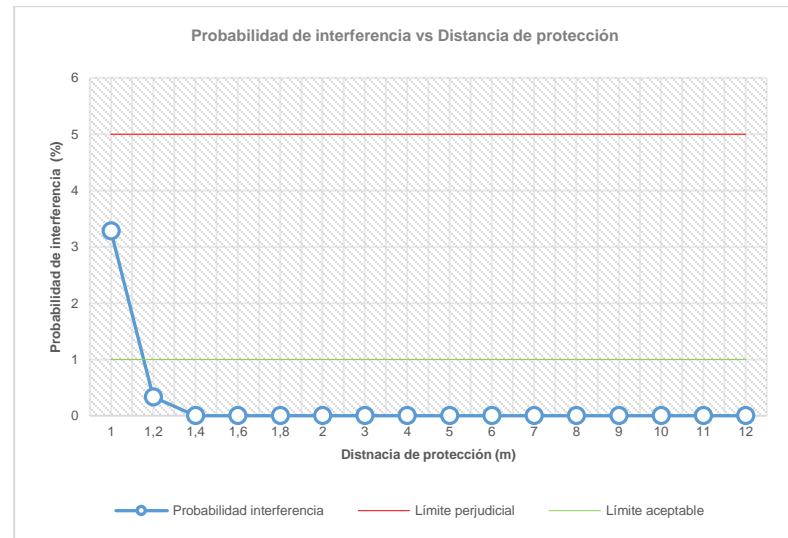
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 6A.



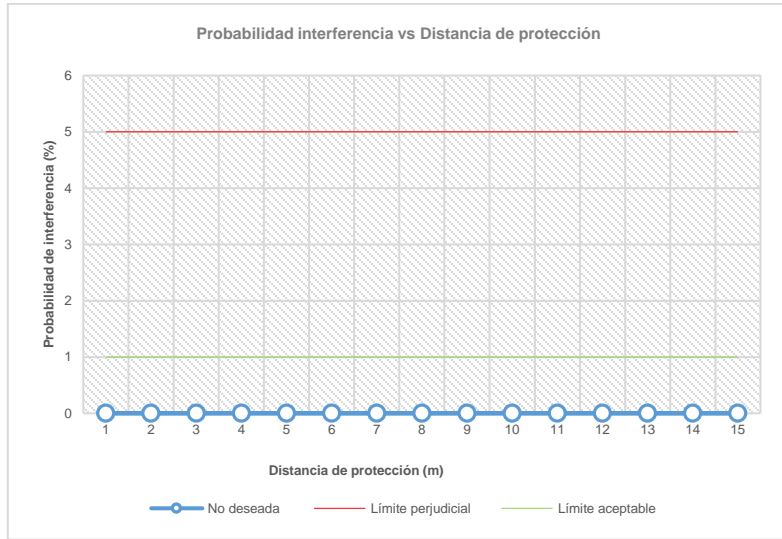
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 6A.



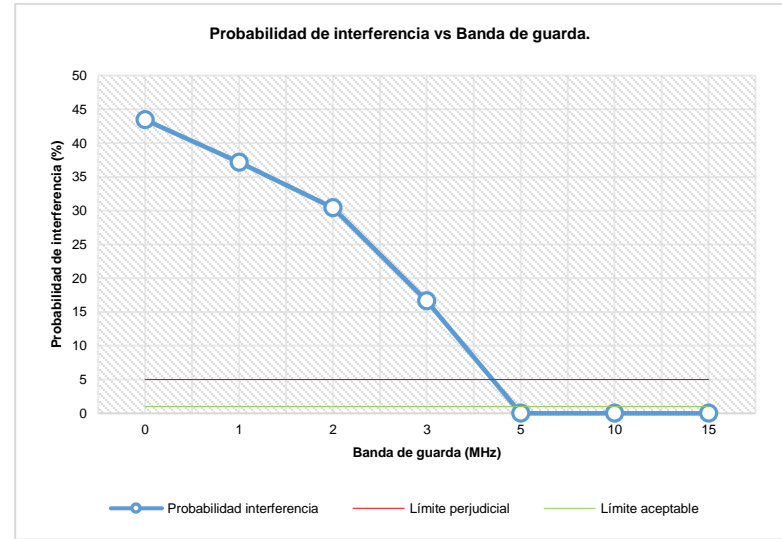
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 2MHz caso 6B.



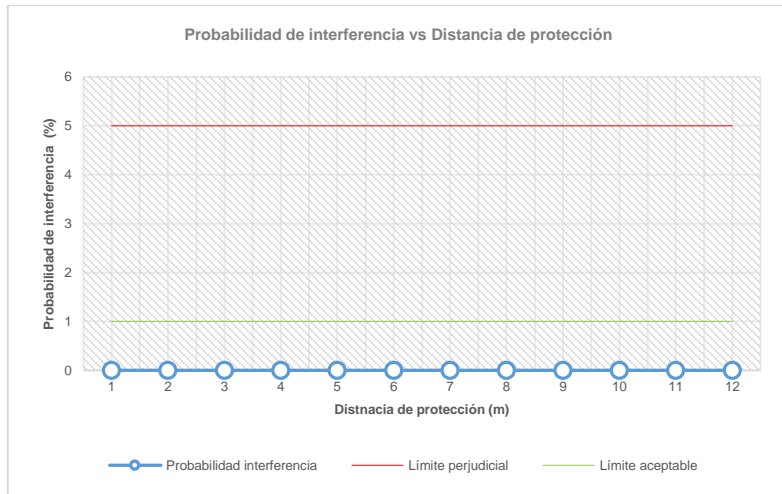
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 3MHz caso 6A.



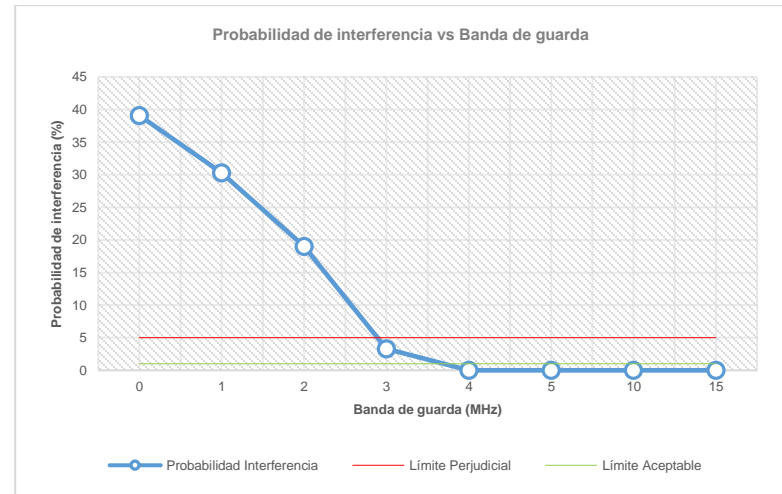
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 5MHz caso 6A.



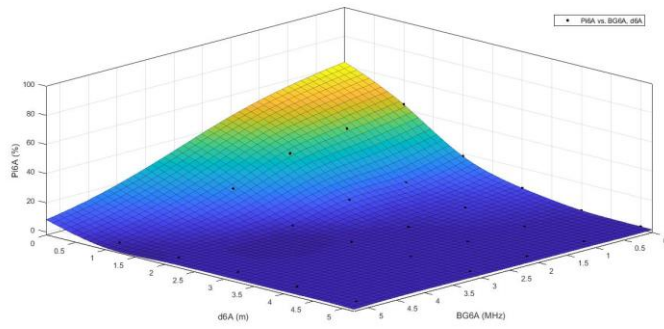
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 1m, caso 6A.



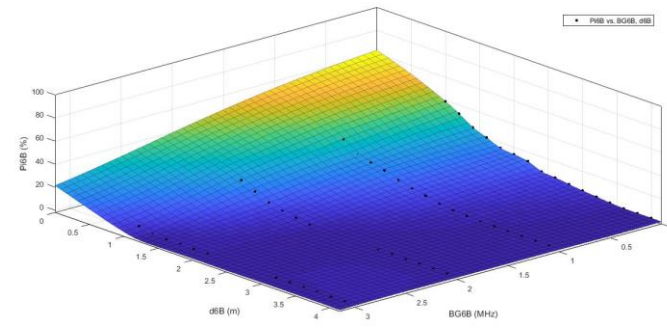
Probabilidad de interferencia vs distancia de protección BG 5MHz caso 6B.



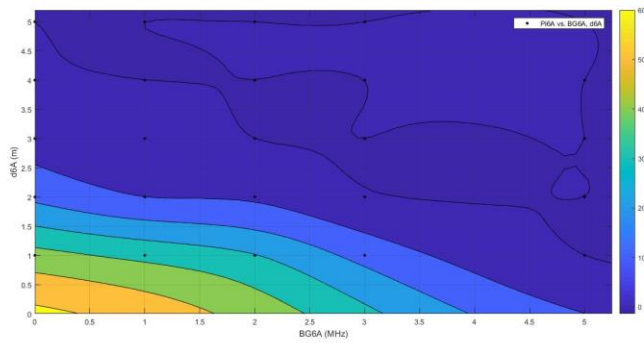
Probabilidad de interferencia vs banda de guarda. Distancia 1m, caso 6A



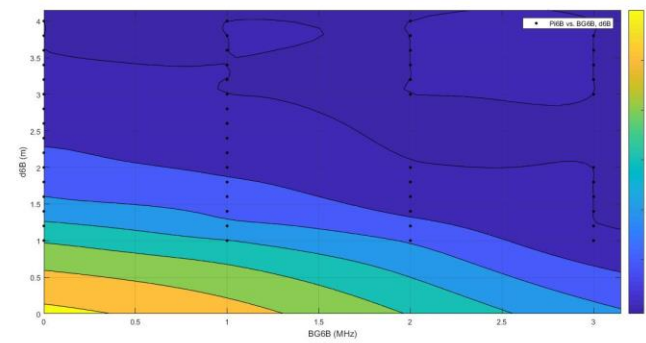
Superficie caso 6A.



Superficie caso 6B



Dibujo de contorno caso 6A



Dibujo de contorno caso 6B



## ANEXO 6: OPCIONES DE CANALIZACIÓN PARA ESCENARIOS DE INTERFERENCIA

Para los escenarios descritos como posibles, dentro de la sub-banda 614 a 698MHz, se plantearon algunas opciones de canalización para el sistema LTE. Las canalizaciones propuestas son solamente de referencia, no incluyen bandas de guarda o separación de servicios, este trabajo no detalla estas definiciones las cuales deberán ser evaluadas después de 2019 y dependen de condiciones técnicas y de mercado que no hacen parte del alcance de este estudio.

### Escenario A

En este escenario, se podría hacer uso de 24MHz para el servicio IMT, en este caso se plantean las opciones de canalización de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, considerando un esquema de LTE FDD con separación mínima del 5 % entre el UL y el DL, equivalente a 1,2MHz.

CANAL TV	38						39						40						41											
MHz Normalizado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24						
CP1	10						1,4						1,2						10						1,4					
CP2	5			5			5			1,4			1,2			5			5			1,4								
CP3	3		3		3		3		1,4		3,2		3		3		3		3		1,4									
CP4	5			3			3			2			5			3			3											

Opciones de canalización escenario adyacencia A. Los autores.

### Escenario B

Para el escenario B se plantean las opciones descritas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, como a lternativas de canalización de LTE FDD con una separación mínima del 5% entre el *uplink* y el *downlink*, equivalente a 3MHz:

Canal	42					43					44					45					46					47					48					49					50					51														
MHz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
CP2.1	10					10					5					1,4	1,4	4,4					10					10					5					1,4	1,4																					
CP2.2	10					5					5					5					1,4	1,4	4,4					10					5					5					5					1,4	1,4											
CP2.3	5			5		5					5					5					1,4	1,4	4,4					5					5					5					5					1,4	1,4											
CP2.4	15										10										3					4					15															10										3				

Opciones de canalización escenario de adyacencia B.

### Escenario C

En este escenario la canalización propuesta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para LTE FDD se c onstituiría por bloques *uplink* y *downlink* con una separación mínima del 5% equivalente a 4,2MHz.

Canal	38					39					40					41					42					43					44					45					46					47					48					49					50					51																			
MHz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	
CP3.1	10					10					10					5					3	1,4	5,2					10					10					10					5					3	1,4																																				
CP3.2	10					10					10					3					3	3	3	6					10					10					10					3					3	3																																			
CP3.3	5			5		5					5					5					5					4					5					5					5					5					5					5																													
CP3.4	10										10										5					5					5					4					10															10										5					5					5					5				

Opciones de canalización escenario de adyacencia C

## ANEXO 7: GUÍA PARA SIMULACIÓN EN SEAMCAT

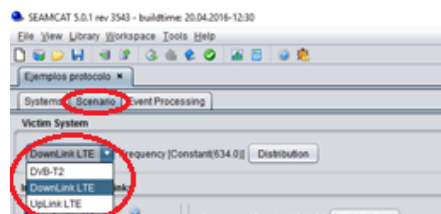
A continuación, se presenta una guía rápida para el desarrollo de las simulaciones ejecutadas a partir de los sistemas creados e ingresados en el software de simulación SEAMCAT. Iniciando por la selección de los sistemas, los ajustes de las variables, distancia y frecuencia, la verificación o compilación de la simulación, la ejecución de la simulación y como último el cálculo de probabilidad de interferencia.

### Selección de sistemas:

En la pestaña *systems* se definen los sistemas que se considerarán dentro del ambiente de simulación, cuando estos sistemas son cargados al software de simulación es posible desarrollar un escenario de pruebas o simulación mediante la selección de un sistema víctima y uno o varios sistemas interferentes.

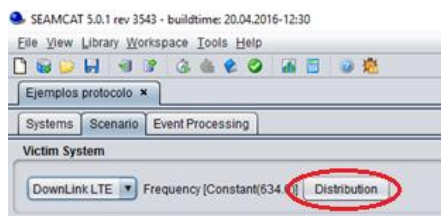
### Sistema Víctima:

En la pestaña *Scenario* en el campo Victim System, se selecciona del menú desplegable el sistema que se considerará como sistema víctima según el caso a simular. (En el ejemplo se selecciona el sistema *DownLink LTE*)

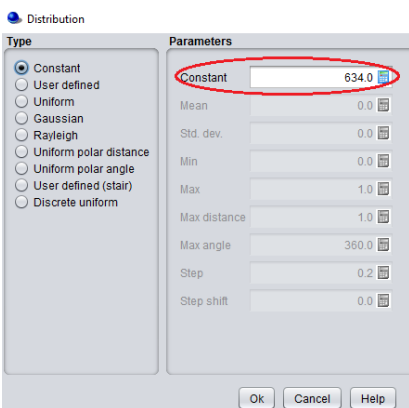


### Ajuste de frecuencia:


En la opción *Frequency* se puede modificar el valor de la frecuencia central del sistema víctima a través del botón *Distribution*.

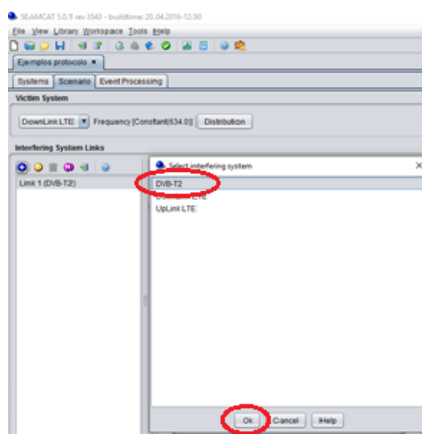






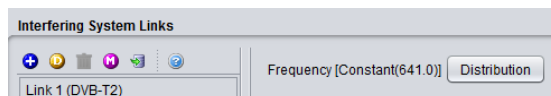
### Sistema Interferente:

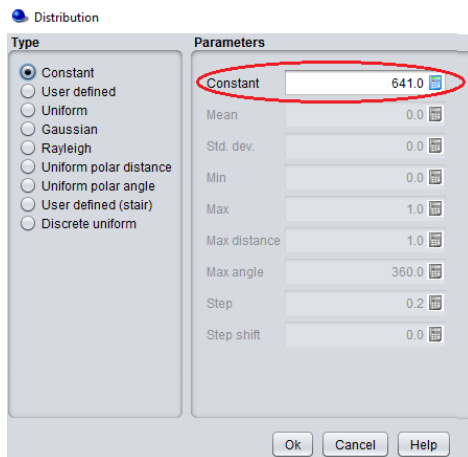
En la pestaña *Scenario* en el campo *Interfering System Links*, se agrega a través del botón  (add new interference link to the list) el enlace se considerará como interferente según el caso a simular. (En el ejemplo se selecciona el sistema *DVB-T2*).



### Ajuste de frecuencia:

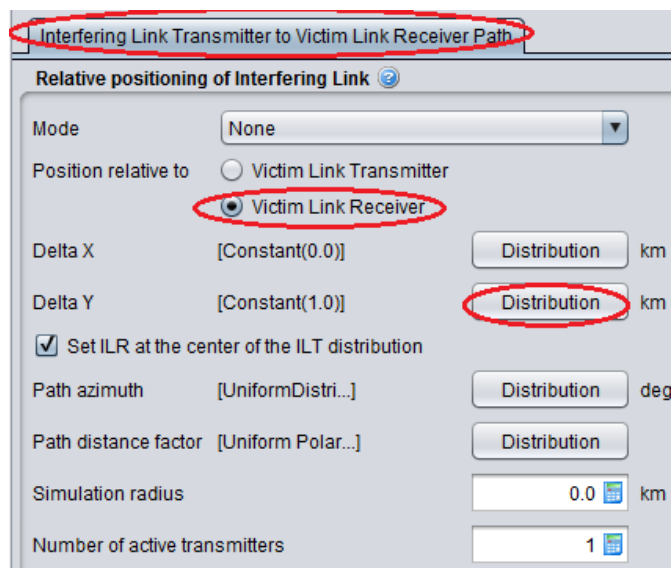
En la opción *Frequency* se puede modificar el valor de la frecuencia central del sistema interferente a través del botón *Distribution*.





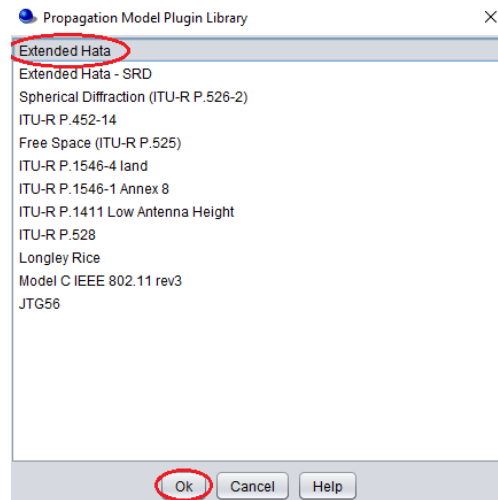
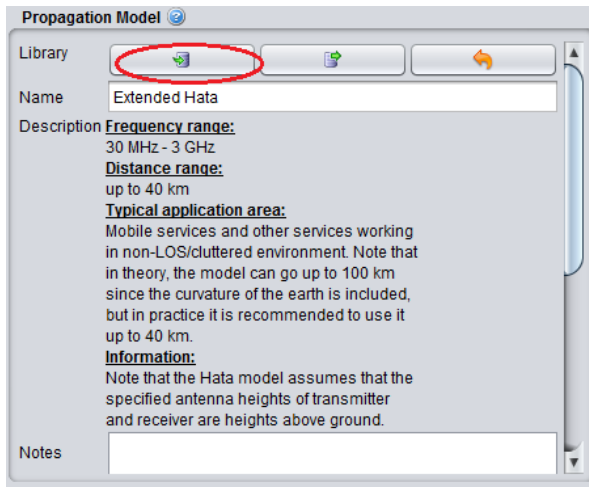
### Ajuste de distancia sistemas.

A través de módulo *Interfering System Links* de la pestaña *Scenario*, se realiza el ajuste de la distancia, de modo que se pueda evaluar la distancia de protección. En la sección *Relative positioning of Interfering Link*, se seleccionan las opciones *Mode: none*, posición relativa al receptor víctima y el campo *Delta Y* con el valor de distancia a evaluar en km.

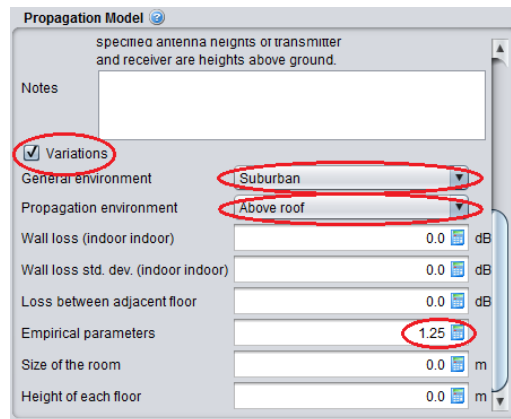


### Selección del modelo de propagación:

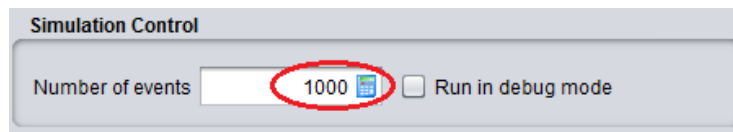
En la sección *Propagation Model* se selecciona el modelo de propagación adecuado para el caso de interferencia simulado, la opción *library* cuenta con los modelos de propagación disponibles. (En el caso del ejemplo se seleccionó *Extended-hata*)




Luego de la selección del modelo de propagación, se realiza el ajuste de las variables del modelo.

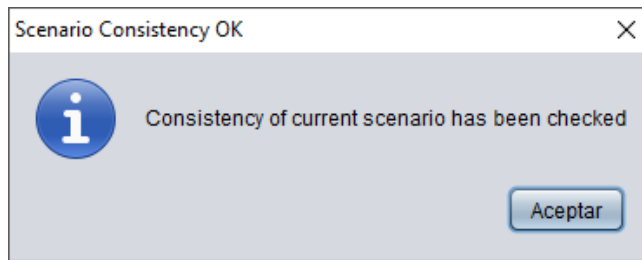


## Configuración de Numero de eventos




## Verificación del escenario de simulación

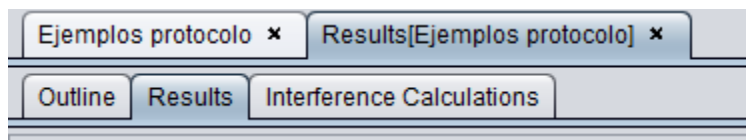
Luego de la selección de los sistemas víctima e interferente, y el ajuste de parámetros de acuerdo al caso a simular, se debe verificar que la configuración sea correcta, no contenga errores o valores incoherentes, a través del botón *check consistency*  .



Se debe obtener un escenario sin errores, en caso contrario se requiere realizar la revisión de los valores indicados como fuera de contexto o errados.

### Iniciar simulación

Para iniciar la simulación se da click sobre el botón *Start Event Generation* , una vez ejecutada la simulación, se genera una nueva ventana con nombre *Results*. Esta ventana consta de 3 pestañas que se denominan *Outline*, *results* y *Interference Calculations*.

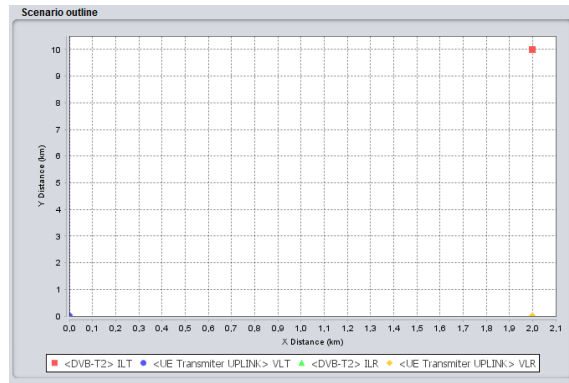


### Resultados de la simulación

La primera pestaña de la ventana de resultados es *Outline*, esta permite ver el resumen de la simulación y registrar los niveles de señal obtenidos. Particularmente el promedio de nivel de señal deseado *dRss* y el promedio de nivel de señal interferente o no deseado *iRss*.

Simulation Summary			
	Mean	Median	StdDev
dRSS	-85,67 dBm	-85,37 dBm	9,23 dB
iRSSunwanted	-113,57 dBm	-113,17 dBm	9,08 dB
iRSSblocking	-174,56 dBm	-174,16 dBm	9,08 dB

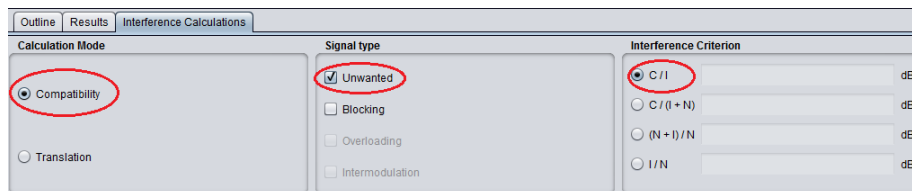
En la misma ventana se puede observar la configuración espacial del caso simulado, en la sección *scenario outline*.



A través de la pestaña *results* se puede obtener toda la información de la simulación realizada referida a los valores de entrada de los sistemas en estudio y los arreglos de vectores con los valores de las señales obtenidos en cada evento simulado, esta información puede ser exportada como código de la simulación ejecutada.

### Calculo de interferencia:

Finalmente, la pestaña *Interference Calculations* permite realizar el cálculo de interferencia en términos de probabilidad de acuerdo al criterio de interferencia que se seleccione y cargue en el sistema. Se seleccionan el modo de cálculo adecuado (compatibilidad), el tipo de señal (No deseada) y el criterio de interferencia (para el ejemplo C/I).



Una vez tildadas estas opciones, se inicia el cálculo de probabilidad de interferencia con el botón *start* del módulo *interference calculation engine control*. Esta operación arroja el resultado del porcentaje de probabilidad de interferencia para el caso simulado.

