

# Interferencias en sistemas de radiodifusión en zonas de frontera colombiana\*

## Interference in Broadcasting Systems in Colombia Border Areas

Recibido: 3 de diciembre de 2013- Aceptado: 3 de junio de 2014

Para citar este artículo: M. Rico, D. Contreras, E. San Juan, «Interferencias en sistemas de radiodifusión en zonas de frontera colombiana», *Ingenium*, vol. 15, n.º30, pp. 50-66, octubre, 2014.



Mónica A. Rico Martínez\*\*  
Diana C. Contreras Jáuregui\*\*\*  
Enrique A. San Juan Urrutia\*\*\*\*

### Resumen

Este artículo está orientado a determinar las características, las condiciones y señales de interferencia para los servicios de radiodifusión en el espectro radioeléctrico que puedan afectar su uso en los países vecinos, causadas por emisiones autorizadas en zonas cercanas que sobrepasan las fronteras de Colombia en los países de Panamá, Venezuela, Brasil, Perú y Ecuador. Para dicho proceso, se utilizó una herramienta de cálculo y simulación de propagación con cobertura de radiofrecuencia, que es de uso libre de Internet en formatos GTOPO30<sup>1</sup> o SRTM<sup>2</sup>[1], se usan los modelos de propagación que permita la herramienta de simulación para definir las zonas geográficas cercanas a la frontera y bandas del ERE<sup>3</sup> en las que se presenten conflictos con señales colombianas que sobrepasan el límite de frontera.

\* Artículo de investigación, producto derivado del proyecto *Caracterización de las condiciones de interferencia en el espectro radioeléctrico para servicios de radiodifusión en zonas fronterizas de Colombia*, realizado en el Grupo de Investigación ICT Research de la Universidad de San Buenaventura, llevado a cabo entre febrero y diciembre de 2013.

\*\* Magister en Ingeniería Área Electrónica, Docente, investigador Grupo SOLSYTECH, Universidad de San Buenaventura Bogotá - Colombia, mrico@usbbog.edu.co

\*\*\* Especialista en Telecomunicaciones, docente, investigador Grupo ICT RESEARCH, Universidad de San Buenaventura Bogotá - Colombia, dcontreras@usbbog.edu.co

\*\*\*\* Doctor en Sistemas Electrónicos y de Telecomunicaciones, docente investigador Universidad de Santiago de Chile USACH, Chile, enrique.sanjuan@usach.cl

1 GTOPO30: es un modelo digital de elevaciones (MDE) matricial que cubre la superficie terrestre (no marina), formado por celdas de 30'' de lado (1 km aproximadamente, aunque varía con la latitud). GTOPO30 se ha construido a partir de fuentes diversas de información raster y vectorial. Disponible en: [www6.uniovi.es/~feli/Data/Datos.html](http://www6.uniovi.es/~feli/Data/Datos.html)

2 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Disponible en: [www2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/)

3 ERE: Espectro Radio Eléctrico.

## Palabras clave

Interferencia, servicios de radiodifusión, emisiones, espectro radioeléctrico, propagación, cobertura, radiofrecuencia.

## Abstract

This article seeks to determine the characteristics, conditions and interference signals for broadcasting services in the radio spectrum that could affect its use in neighboring countries, caused by unauthorized in nearby areas beyond the borders of Colombia country emissions of Panama, Venezuela, Brazil, Peru and Ecuador. A calculation tool and simulation of propagation of radio frequency coverage, which is free internet use in GTOPO30<sup>1</sup> and SRTM<sup>2</sup> [1] formats, are used for this process, propagation models allowing the simulation tool is used to define the neighboring regions to the border and ERE<sup>3</sup> bands in which conflicts with Colombian signals that exceed the limit boundary arise.

## Keywords

Interference, broadcasting services, emissions, radio spectrum, spread, coverage, radiofrequency.

## 1. Introducción

La administración y gestión del Espectro Radioeléctrico (ERE) requiere consideraciones especiales en aquellas zonas donde diferentes entes resultan compartiendo funciones y espacio; este es el caso de las zonas de frontera, allí las administraciones deben realizar acuerdos para funcionar de la forma más eficiente posible y reducir todos aquellos casos donde la interferencia de la señal de un país cause interferencia al otro lado de la frontera.

La gestión del espectro radioeléctrico en zonas de frontera, presenta casos y condiciones específicas únicas en el mundo y nuevas en el contexto tecnológico; en primer lugar se presentan los casos típicos de convivencia e interferencia entre las señales locales y vecinas, en segundo lugar en Colombia se ha determinado utilizar un formato de televisión digital con canalización de 6 MHz; diferente a la canalización de 8MHz usada en todos los demás países que han escogido el formato de televisión digital DVB<sup>4</sup>[2]. Finalmente se presenta la necesidad de convivir en las zonas de frontera con señales de televisión digital de un formato diferente como el que se usa en Brasil conocido como ISDB<sup>5</sup> y en una asignación de espectro diferente, lo que implica que hasta ahora no se conocen estudios de estas situaciones particulares [3].

A lo expuesto anteriormente se debe agregar que los entes administrativos de cada país tienen diferentes prioridades en la asignación de frecuencias para servicios de radiodifusión y los cronogramas de reasignación de frecuencias son establecidos de acuerdo a las

---

4 Digital Video Broadcasting: Rec.

5 ISDB: Integrated Services Digital Broadcasting

políticas y momentos económicos y sociales de cada uno de ellos, esto hace evidente que señales de los servicios de radiodifusión generarán o serán fuente de interferencia para otros servicios que utilicen el ERE a lo largo de todas las fronteras de Colombia y en poblaciones cercanas a ellas.

En este artículo primero se referencian algunas teorías con respecto a las interferencias en el espectro radioeléctrico, posteriormente se evidencian los resultados del trabajo realizado en el proyecto «Caracterización de las condiciones de interferencia en el espectro radioeléctrico para servicios de radiodifusión en zonas fronterizas de Colombia» [4] y las respectivas simulaciones para finalizar haciendo conclusiones del tema estudiado.

## 2. Espectro radioeléctrico e interferencias

Según la recomendación UIT-R V.573-5, la interferencia radioeléctrica está definida como la «Degradación producida en la recepción de una señal útil provocada por una perturbación radioeléctrica»[9].

En los sistemas de telecomunicaciones, la transmisión y recepción de información utilizando señales de radiofrecuencia es muy común, en estos sistemas sucede una interacción entre las ondas de radio a ciertas distancias en donde puede ocurrir que se produzca un efecto deseado como por ejemplo la comunicación entre dos terminales o un efecto no deseado como la interferencia de señal por parte de un transmisor sobre un receptor involuntario [5]. Estas pérdidas de señal, que en términos físicos se conocen como la reducción de potencia (amplitud) de las señales de radio y se denominan «pérdidas por trayectoria» de las señales de radio son estudiadas y desarrolladas por diferentes modelos de propagación de ondas de radio [6].

La existencia de varios tipos de modelos de propagación está relacionada con las diferentes bandas de radiofrecuencia, las cuales tienen unas características físicas como la longitud de onda ( $\lambda$ ) que determinan su comportamiento en el espacio libre; cómo y cuánto se propagan haciéndolas utilizables para clases muy particulares de sistemas de radiocomunicaciones [6]. El factor que determina el tipo de propagación de la señal, es la relación entre la longitud de onda, la superficie de la tierra y las características de la ionosfera, surgiendo así modos de propagación de las ondas de radio: «Wave guide»<sup>6</sup>, «Ground wave»<sup>7</sup>, «Sky wave»<sup>8</sup> y «Space Wave»<sup>9</sup>; en la tabla 1 se observa la clasificación por bandas de frecuencia y algunas aplicaciones [7].

---

6 Modo de propagación de guía de onda, se presenta para bandas de muy baja frecuencia (3-30 kHz) puesto que su longitud de onda ( $\lambda$ ) es superior a 100 km.

7 Modo de propagación de onda de tierra, es característico en el rango de frecuencia de 30 kHz - 3 MHz y es similar al modo de wave guide. La longitud de onda está en el rango de 10-0.1 km.

8 Modo de propagación de onda de cielo, es típica para rangos de frecuencia de 3-30 MHz y solo se presenta en ciertas condiciones, por ejemplo de noche. Por su longitud de onda es ampliamente conocida como «Onda Corta».

9 Modo de propagación de onda espacial, se presenta cuando la frecuencia excede los 30 MHz y su longitud de onda es menor de 10 m.

Otro modo de propagación en el que se aprovecha una propiedad conocida también en la óptica geométrica es la difracción, en la cual las ondas de radiofrecuencia bordean los obstáculos que tienen tamaños comparables a sus longitudes de onda permitiendo comunicación entre dispositivos sin línea de vista [8]. El caso de radiodifusión en frecuencias medias, es importante para Colombia, pues gracias a este fenómeno se logra una gran cobertura por parte de las transmisiones de radio AM<sup>10</sup> en FM<sup>11</sup> permitiendo llegar a zonas remotas. La dispersión troposférica, que se presenta para frecuencias mayores a 30 MHz y que en áreas con turbulencias de presión de aire crean zonas de nubes que reflejan las señales de RF<sup>12</sup> más allá de la distancia del horizonte de radio, es otro tipo de propagación.

Por lo tanto, para realizar un uso eficiente del espectro, es necesario analizar el medio ambiente y los parámetros del sistema cuya naturaleza generalmente es estadística con el fin de minimizar el área de interferencia [10]. De esta manera se garantiza que para los sistemas de radio con licencia para operar en determinados servicios y en una banda de frecuencia específica, el rendimiento de dicho sistema va a ser mayor y los usuarios no van a causar ni recibir interferencia [11].

Tabla 1. Frecuencias usadas para radiocomunicaciones en el Espectro Radio Eléctrico

Band	Frequency	Mode	Range	Bandwidth	Interference Volume	Usage
VLF	3-30 kHz	Wave guide	Several 1 000 km	Very limited	Wide spread	Worldwide, long range radionavigation and strategic communications
LF	30-300 kHz	Ground wave, sky wave	Several 1 000 km	Limited	Wide spread	Long range radionavigation and strategic communications
MF	0.3-3 MHz	Ground wave, sky wave	A few 1 000 km	Moderate	Wide spread	Medium range point-to-point, broadcasting and maritime mobile
HF	3-30 MHz	Sky wave	Up to several 1 000 km	Wide	Wide spread	Long and short range point-to-point, global broadcasting, mobile.
VHF	30-300 MHz	Space wave, tropospheric scatter, diffraction	Up to a few 100 km	Very wide	Confined	Short and medium point-to-point, mobile, LAN, audio and video broadcasting, personal communications
UHF	0.3-3 GHz	Space wave, tropospheric scatter, diffraction, line-of-sight	Generally less than 100 km	Very wide	Confined	Short, medium and long point-to-point, mobile, LAN, audio and video broadcasting, personal communications, satellite communications
SHF	3-30 GHz	Line-of-sight	30 km; several 1 000 km for multi-hop and satellite	Very wide up to 1 GHz	Generally confined	Medium to short range point-to-point, audio and video broadcasting, LAN, mobile/personal communications, satellite communications
EHF	30-300 GHz	Line-of-sight	20 km; several 1 000 km for multi-hop and satellite	Very wide up to 10 GHz	Generally confined	Short range point-to-point, microcellular, LAN and personal communications, satellite communications

Fuente: MinTIC

10 AM: Amplitud Modulada. Tipo de modulación análoga

11 MF: Frecuencias medias (0.3 - 3 MHz)

12 RF: Frecuencia de radio o radiofrecuencia.

Los parámetros que se deben considerar para prevenir a interferencia son: la frecuencia central, la canalización, la estabilidad de frecuencia, los tipos de emisión<sup>13</sup>, el nivel de potencia del transmisor o las portadoras, la máxima potencia isotrópica radiada efectiva<sup>14</sup> por canal en un ancho de banda específico y los niveles de las emisiones por fuera de la banda. También es necesario definir características de la antena [12], tales como la altura efectiva, la directividad, patrón de radiación, la polarización, la mínima front-to-back ratio<sup>15</sup> y el ancho de haz de media potencia; así como los otros usuarios que pueden ser víctimas o sistemas interferentes.

Hay 4 modos principales de interferencia, que causan la degradación de la señal de radiofrecuencia en la entrada del receptor: interferencia cocanal<sup>16</sup>[13], interferencia por canal adyacente<sup>17</sup>[14], el bloqueo<sup>18</sup> [15] y la intermodulación; las tres primeras son las que se deben tener en cuenta para determinar las condiciones de interferencia que Colombia puede causar en los países vecinos en áreas de frontera.

## 2.1 Interferencia cocanal

Es causada por la presencia de señales interferentes y deseadas que operan en el mismo ancho de banda del canal en el que está operando el receptor, su nivel depende de las características de rechazo cocanal del receptor y las características de emisión del transmisor.

El cálculo de la interferencia cocanal, depende de los diferentes servicios, por ejemplo para servicios de radiodifusión la distancia de separación entre las estaciones cocanales debe ser mayor a 120 km en el peor de los casos mientras que en los servicios fijos la directividad de la antena es la que juega un papel importante. Los casos en los cuales se comparte la banda, se consideran un caso especial de interferencia, más aún si se realiza un despliegue descoordinado de dispositivos inalámbricos conocidos normalmente como SDR<sup>19</sup>, en donde no se conoce el número de ellos y la ubicación de posibles fuentes de interferencia [17].

## 2.2 Interferencia de canal adyacente

Esta interferencia puede deberse a una señal interferente que opera en el canal adyacente y su nivel depende de las características de filtrado del receptor. Los efectos de interferencia de canal adyacente son el resultado de la interacción entre las señales deseadas, la interferencia y las características del receptor para varias separaciones de

13 Se refiere al tipo de señal si es análoga o digital y la modulación usada.

14 PIRE: potencia isotrópica radiada efectiva.

15 FBR: relación Front to Back, es la relación entre el máximo valor del lóbulo principal del patrón de radiación de una antena respecto al lóbulo trasero del mismo.

16 Cocanal: en el que la separación de frecuencias es cero.

17 Canal adyacente: radiocanal cuya frecuencia característica, en un conjunto determinado de radiocanales, se sitúa inmediatamente por encima o por debajo de la de un canal dado.

18 Bloqueo: se mide por el nivel de la señal interferente en una frecuencia próxima.

19 SDR: Short Range Devices, dispositivos de corto alcance.

frecuencia, las cuales se expresan en términos de separación de frecuencia-distancia<sup>20</sup>, el parámetro de selectividad del receptor o la razón de protección<sup>21</sup> del canal adyacente específico del sistema.

### 2.3 Bloqueo

Es un caso especial de interferencia de canal adyacente que puede ocurrir cuando un transmisor interferente opera físicamente próximo al receptor, si la señal interferente es lo suficientemente fuerte el receptor puede entrar en saturación. El nivel de bloqueo depende de la capacidad del receptor para resistir esa señal fuerte y se describe como una función de rechazo o una atenuación de bloqueo de la misma forma que el FDR esta depende de la separación de frecuencia entre el centro de frecuencia [18] del receptor víctima y la frecuencia de la señal interferente.

Los métodos más usados para evitar la interferencia por bloqueo son la instalación de filtros para mejorar la capacidad de atenuación de bloqueo de un receptor, la reubicación de las estaciones y la reducción de la potencia de emisión que causa dicha interferencia.

### 2.4 Datos topográficos

Con el fin de realizar una predicción confiable de la propagación de las señales radioeléctricas, es necesario tener acceso a datos topográficos que ofrezcan las características dominantes de los terrenos en los cuales se realizarán los cálculos de pérdidas por propagación, pues para frecuencias mayores a la banda VHF donde la longitud de onda es comparable al tamaño de estructuras como edificios las ondas de radio no podrían superar los obstáculos. Hay que tener en consideración otras clases de terreno que son útiles para los cálculos de propagación respectivos como el mar, otros cuerpos de agua, desierto, bosque denso, zonas rurales, suburbanas y urbanas; también información relacionada a la altura del terreno, el sitio del emplazamiento, el tamaño y la orientación de las edificaciones[19].

Toda esta información hace que se desarrollen continuamente modelos de predicción más sofisticados y precisos, que utilizan herramientas de software para lograr sus resultados y para las cuales también hay que manejar conceptos de sistemas de coordenadas, sistemas cartográficos, datos geodésicos, bases de datos topográficos, representación de datos de altura de terrenos, extracción de perfiles, información macroscópica y especializada sobre superficie del terreno y datos sobre población[20].

### 2.5 Entes de vigilancia, control o regulación del ERE22

Los entes normativos y de referencia son aquellos dedicados al control y vigilancia del espectro radioeléctrico, en dos escenarios definidos, uno es el caso de Colombia y sus

20 Es la mínima distancia de separación que se requiere entre un receptor y el interferente como función de la diferencia entre las frecuencias sintonizadas.

21 Es la relación mínima requerida entre la señal deseada y la no deseada, expresada en dB a la entrada del receptor cuando las portadoras de los transmisores de las señales deseadas e indeseadas tienen la misma frecuencia o una diferencia de frecuencia de  $Df$ .

22 Espectro Radio Eléctrico.

países fronterizos donde deben ser tenidas en cuenta las oficinas y autoridades locales, en Colombia son la Agencia Nacional del Espectro<sup>23</sup> y el Ministerio de las TIC<sup>24</sup> y sus equivalentes en los países de interés en el proyecto; Panamá<sup>25</sup>, Venezuela<sup>26</sup>, Brasil<sup>27</sup>, Perú<sup>28</sup> y Ecuador<sup>29</sup>. Otro, es el caso de aquellas entidades cuya labor se orienta a la convivencia e interacción entre los diferentes países en temas de telecomunicaciones, los cuales son de carácter internacional y se refieren a la Comisión interamericana de Telecomunicaciones CITEL<sup>30</sup>; que es una oficina de la Organización de Estados Americanos y a la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT<sup>31</sup>, quien es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación, la cual tiene oficinas y seccionales dedicadas a estos temas específicos<sup>32</sup>.

## 2.6 Servicios de radiodifusión

De acuerdo a la información contenida en el Plan Técnico Nacional de Radiodifusión Sonora para AM [21] y FM [22] (actualización diciembre de 2012) y el Plan de Utilización de Frecuencias correspondiente al Acuerdo 003 de 2009 de la Comisión Nacional de Televisión (entidad liquidada) [23], las bandas de operación para los servicios de radiodifusión sonora y de televisión en Colombia son:

- **Radiodifusión Sonora A.M.**

Rango de frecuencias: 535 KHz a 1705 KHz

Separación entre canales 10KHz

Ancho de banda  $\leq 20$  KHz

La clasificación de las estaciones se realiza de acuerdo a la potencia:

A – Potencia  $10\text{Kw} < \text{pot} \leq 250 \text{ Kw}$  y de cubrimiento nacional.

B – Potencia  $5\text{Kw} < \text{pot} \leq 10\text{Kw}$  y de cubrimiento regional.

C – Potencia  $1\text{Kw} < \text{pot} \leq 5\text{Kw}$  y de cubrimiento local.

D – Potencia máxima 250w y cubrimiento regional.

Cabe aclarar, que para que el cubrimiento autorizado sea mayor, la banda de frecuencia asignada debe ser menor, debido a la atenuación de propagación de la señal y a la frecuencia.

---

23 Agencia Nacional del Espectro de Colombia [www.ane.gov.co/](http://www.ane.gov.co/)

24 Ministerio de las Tecnologías de la Información y las telecomunicaciones - Colombia [www.mintic.gov.co/](http://www.mintic.gov.co/)

25 Autoridad Nacional de Servicios Públicos de Panamá <http://200.46.47.233/>

26 Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias en Venezuela [www.mcti.gob.ve/](http://www.mcti.gob.ve/)

27 Ministério das Comunicações - Brasil [www.mc.gov.br/](http://www.mc.gov.br/)

28 Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Perú [www.mtc.gov.pe](http://www.mtc.gov.pe)

29 Ministerio de Telecomunicaciones - Ecuador [www.mintel.gob.ec](http://www.mintel.gob.ec)

30 Comisión Interamericana de Telecomunicaciones <http://portal.oas.org/Topic/CITEL>

31 UIT: Unión Internacional de las Telecomunicaciones. Visión general. Disponible en: [www.itu.int/es/about/Pages/vision.aspx](http://www.itu.int/es/about/Pages/vision.aspx)

32 Sector de Radiocomunicaciones (UIT-R) Disponible en: [www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&rlink=itur-welcome&lang=es](http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&rlink=itur-welcome&lang=es)

- **Radiodifusión Sonora F.M.**

Rango de frecuencias 88MHz a 108 MHz.

Separación entre canales 100 KHz.

Ancho de banda  $\leq 180\text{KHz}$  – Monofónica y  $\leq 250\text{ KHz}$  – Estereofónica.

La clasificación de las estaciones se realiza de acuerdo a la potencia:

A – Potencia  $15\text{ Kw} < \text{pot} \leq 100\text{ Kw}$ .

B – Potencia  $5\text{ Kw} < \text{pot} \leq 15\text{ Kw}$ .

C – Potencia  $1\text{ Kw} < \text{pot} \leq 5\text{ Kw}$ .

D – Potencia  $100\text{ w} < \text{pot} \leq 250\text{ w}$ .

- **Radiodifusión televisión**

**Sub-banda VHF**

Rangos de frecuencia: 54 a 72 MHz (canales 2 al 4).

76 a 88 MHz (canales 5 al 6).

174 a 216 MHz (canales 7 al 13).

Ancho de banda 6 MHz.

Portadora de audio -0,25 MHz desde el límite superior del canal.

Portadora de vídeo +1,25 MHz a partir del límite inferior del canal.

**Sub-banda UHF**

Rangos de frecuencia: 470 a 890 MHz (canales 14 al 83).

Ancho de banda 6 MHz.

Portadora de audio -0,25 MHz desde el límite superior del canal.

Portadora de vídeo +1,25 MHz a partir del límite inferior del canal.

## 2.7 Zonas frontera

A continuación se relacionan los departamentos fronterizos objeto del presente estudio con los países vecinos.

Tabla 2. Listado de departamentos y sus zonas fronterizas

DEPARTAMENTO	PAÍS FRONTERA
Amazonas	Perú - Brasil
Arauca	Venezuela
Chocó	Panamá
Guainía	Venezuela - Brasil
La Guajira	Venezuela
Nariño	Ecuador
Norte de Santander	Venezuela
Putumayo	Ecuador -Perú

Fuente: Autores

Para el cálculo de la propagación [24], se tienen los siguientes parámetros:

*Frecuencia:* el rango de frecuencias nominales para el modelo varía entre 20MHz y 40GHz.

*ERP (Effective Radiated Power):* potencia efectiva de radiación, se introducen en las unidades que fije el usuario en la opción de configuración del sistema (mW, W, kW, dBm, dBW, dBk).

*Antena:* se asume antena omni-direccional, a menos que se especifique el uso de una antena directiva.

*Altura de la antena:* altura a la que se sitúa la antena, medido en pies o metros, (sobre el nivel del mar), para transmitir y recibir. El programa computará las alturas efectivas necesarias para ajustarse a los cálculos del modelo.

*Polarización:* debe especificarse si se trabaja con polarización horizontal o vertical. El modelo de Longley-Rice asume que ambas antenas tienen la misma polarización, vertical y horizontal.

*Refractividad:* la refractividad de la atmósfera determina la cantidad de «bending» o curvatura que sufrirán las ondas radio. En otros modelos, el parámetro de refractividad puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente 4/3 (1.333). Para el modelo Longley-Rice, hay tres formas de especificar la refractividad. Se puede introducir el valor de refractividad de superficie directamente, típicamente en el rango de 250 a 400 unidades de n (correspondiente a valores de curvatura de la tierra de 1.232 a 1.767). Una curvatura efectiva de la tierra de 4/3 (= 1.333) corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 unidades de n. Longley y Rice recomiendan este último valor para condiciones atmosféricas promedio. La relación entre los parámetros «k» y «n», viene dada por la ecuación 1.

$$N_s = 179.3 \ln \left[ \frac{1}{0.046665} \left( 1 - \frac{1}{K} \right) \right] \quad ec \ 1$$

*Permitividad:* la permitividad relativa o constante dieléctrica del medio ( $\epsilon$ ), tiene unos valores típicos tabulados.

Tabla 3. Permitividad y conductividad

	PERMITIVIDAD	CONDUCTIVIDAD
Tierra media	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra rica	25	0.020
Agua fresca	81	0.010
Agua mar	81	5.000

Fuente: Autores (recopilación)

*Conductividad*: la conductividad, medida en Siemens por metro, tiene unos valores típicos tabulados [25].

### 3. Metodología

La caracterización de las condiciones de interferencia en el espectro radioeléctrico, para servicios de radiodifusión, causados por emisiones autorizadas en zonas de frontera en Colombia, permite conocer que tanto se ve afectado el uso del espectro tanto en Colombia como en los países vecinos. En este proyecto se trabaja una metodología PHVA (planear, hacer, verificar, actuar), donde primero se planearon las actividades a desarrollar, se efectuaron los objetivos planeados, se realizó el proceso de simulación como método de verificación de las interferencias y posteriormente se realizaron las respectivas recomendaciones.

### 4. Resultados

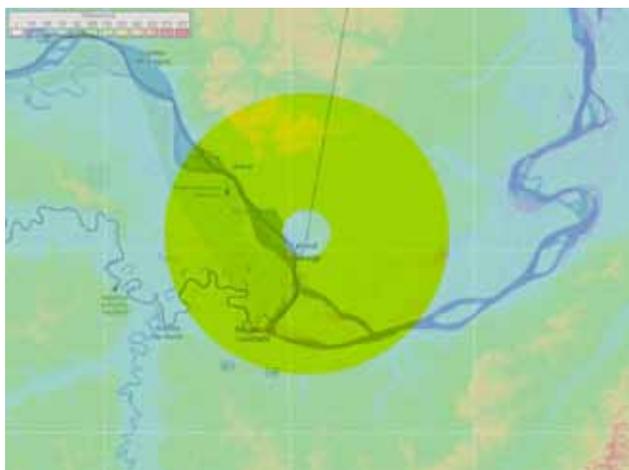
A continuación se presentan los resultados producto de la investigación

#### 4.1 Simulaciones Radio Mobile [26] Servicios de Radiodifusión AM:

En el departamento de Amazonas, el municipio de Leticia queda ubicado a más de 200 km del municipio de Iquitos, Perú y además los separa el río Amazonas, por tanto con Perú no habría interferencias radioeléctricas.

Por otra parte, la estación AM del municipio de Leticia sí estaría generando radiación hacia el municipio de Tabatinga de Brasil, como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Simulación estación de AM, departamento de Amazonas



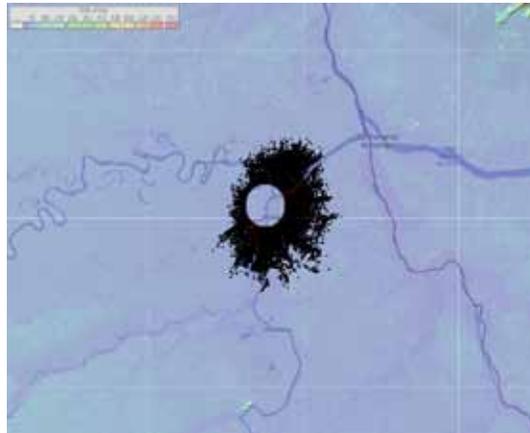
Fuente: Autores

En el departamento de Chocó no se pudieron definir los municipios de estudio debido a que las distancias en zonas de frontera con Panamá superan los 200 km.

En el departamento de Guainía, la estación de Inírida no presenta radiación eléctrica hacia el municipio de Sao Gabriel de Cachoeira de Brasil debido a que se encuentra ubicado a 180 km de distancia; por tanto, dicha estación no tendría interferencia radioeléctrica con Brasil.

Con respecto a la frontera con Venezuela y su municipio San Fernando de Atapabo, queda localizado a una distancia de aproximadamente 47 km y se muestra el patrón de radiación en la figura 2.

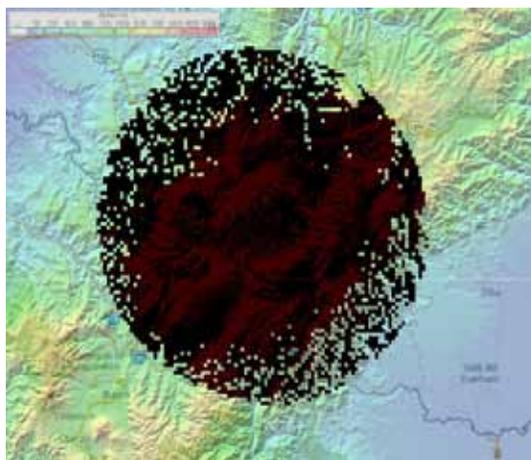
Figura 2. Simulación de la estación AM, departamento de Guainía



Fuente: Autores

El departamento de Nariño limita con Ecuador, las poblaciones más cercanas son Tulcán, Ecuador que limita con Ipiales, Nariño y por otra parte San Lorenzo y Esmeralda, Ecuador que limitan con San Andrés de Tumaco.

Figura 3. Simulación estación Ipiales hacia Tulcán Ecuador



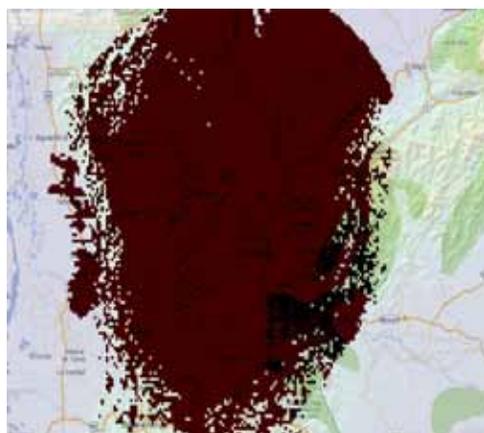
Fuente: Autores

Como se evidencia en la figura 3, en este municipio el campo de radiación sobrepasa la frontera y podría estar generando interferencias con las señales que se emiten en la

misma banda, no obstante se recomienda hacer mediciones sobre terreno para verificar lo aquí expuesto, debido a que el alcance del proyecto solo contemplaba la simulación.

El departamento de Norte de Santander, Colombia, limita con los municipios de San Antonio de Táchira, El Palotal y Ureña de Venezuela. Se tomaron en cuenta las estaciones de los municipios de Cúcuta, Tibú y Villa del Rosario. En esta región también se estaría generando interferencia radioeléctrica como se evidencia en la figura 4 y se hace el mismo comentario que en el departamento anterior.

Figura 4. Simulación desde la estación Cúcuta y Tibú hacia el estado de Táchira Venezuela



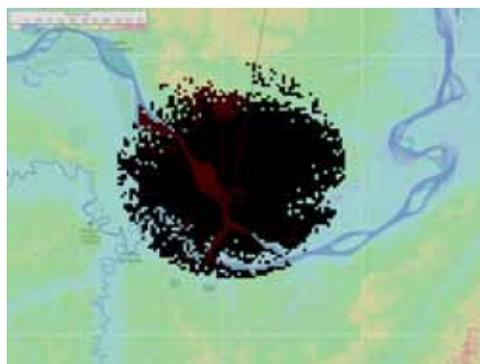
Fuente: Autores

#### 4.2 Simulaciones Radio Mobile [27] Servicios de Radiodifusión FM:

En el departamento de Amazonas, el municipio de Leticia queda ubicado a más de 200 km del municipio de Iquitos, Perú, por tanto sucede lo mismo que para la simulación AM.

Por otra parte, la estación FM del municipio de Leticia sí estaría generando radiación hacia el municipio de Tabatinga, Brasil, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Simulación estación de Leticia hacia Tabatinga Brasil



Fuente: Autores

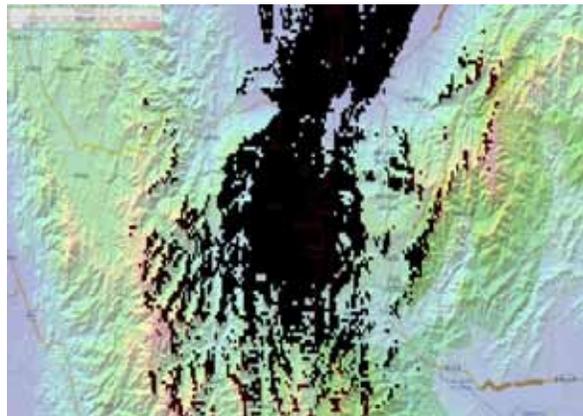
En el departamento de Chocó ocurre lo mismo que en la simulación AM.

En el departamento de Guainía, con respecto al campo de radiación eléctrico en la frontera con Brasil y el municipio de Sao Gabriel Cachoeira, por la distancia de ubicación no genera ninguna interferencia.

En el departamento de Nariño se tiene en cuenta la estación de Ipiales y la estación de Tumaco, donde las simulaciones tampoco evidencian interferencias radioeléctricas.

En el departamento de Norte de Santander se tiene en cuenta la estación de Tasajero ubicada en el municipio de Cúcuta y se evidencia un poco de interferencia como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Simulación desde estación Cúcuta hacia Venezuela



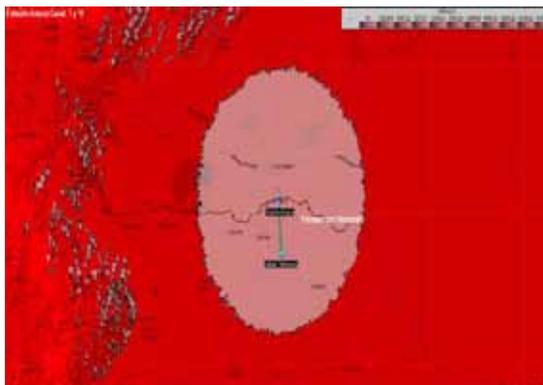
Fuente: Autores

#### **4.3 Simulaciones Radio Mobile [28] Servicios de Radiodifusión TV:**

En el departamento de Amazonas, Leticia, se tiene en cuenta la estación de Leticia con los canales de operación autorizados para el operador público Nacional RTVC 8, 13 y 11, y se evidencia que no hay interferencia radioeléctrica.

En el departamento de Arauca, Arauca, se tomó la estación con los canales 4, 7 y 11, y se evidencian los resultados en la figura 7.

Figura 7. Simulación estación Arauca – Arauca, canales 7 y 11

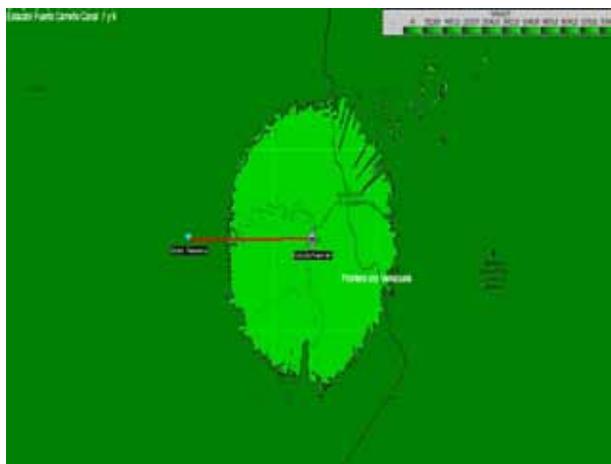


Fuente: Autores

En el departamento de Chocó se tomó la estación de Carmen de Atrato autorizada para el operador público nacional y que se encuentra en funcionamiento para los canales 7, 9 y 11, y la simulación arroja que no hay interferencias.

En el departamento del Guainía, se tomó en cuenta la estación de Puerto Inírida con los canales en operación 7, 9 y 11, como se evidencia en la figura 8 la posible interferencia.

Figura 8. Simulación estación Puerto Inírida – Guainía, canales 7, 9 y 11

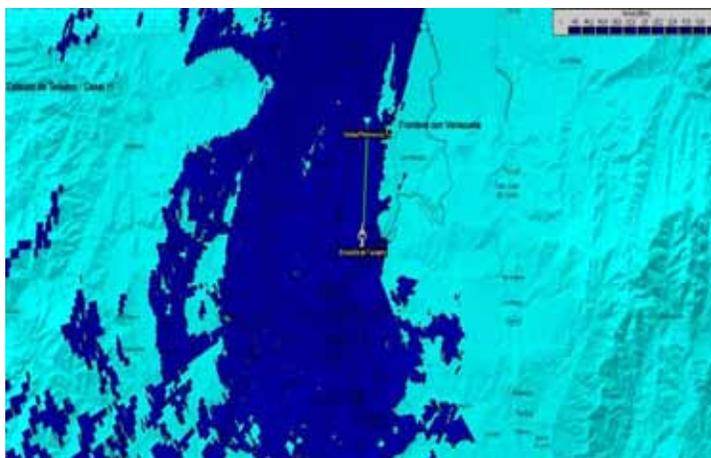


Fuente: Autores

En el departamento de Nariño, se tomó la estación de Galeras en el municipio de Pasto, con los canales de operación 7, 9 y 12; no obstante no se evidencian interferencias.

En el departamento de Norte de Santander, se tomó en cuenta la estación de Tasajero ubicada en el municipio de Cúcuta con los canales de operación 5, 11 y 22; en la figura 9 se evidencia la zona de posible interferencia.

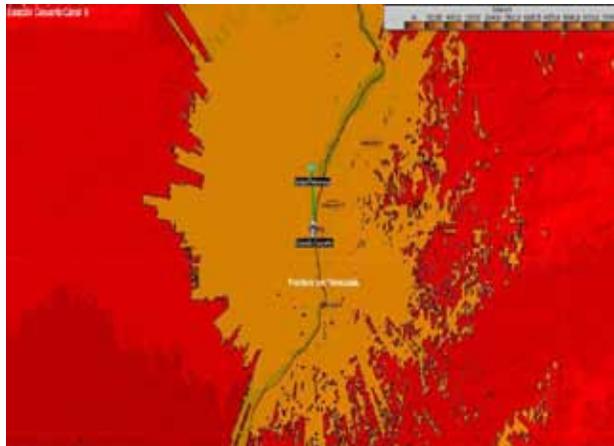
Figura 9. Simulación estación Tasajero, Cúcuta - Norte de Santander



Fuente: Autores

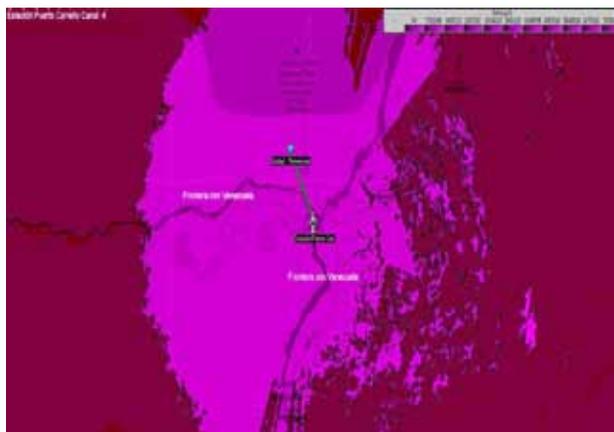
En el departamento de Putumayo, se tomó en cuenta la estación de Mocoa (Mirador) con los canales de operación 3, 5 y 13 y la estación de Sibundoy con los canales de operación 8, 10 y 12; no obstante no se evidenciaron posibles interferencias. Adicionalmente, en el departamento de Vichada se tomaron en cuenta las estaciones de Casuarito con canales de operación 2, 4 y 6 y Puerto Carreño con los canales de operación 4, 7 y 9, donde sí se evidencian interferencias en las figuras 10 y 11 respectivamente.

Figura 10. Simulación estación Casuarito - Vichada



Fuente: Autores

Figura 11. Simulación estación Puerto Carreño – Vichada, canal 4



Fuente: Autores

## 5. Análisis de resultados

Es importante tener en cuenta modelos de propagación actualizados de las aplicaciones tanto en servicios móviles y fijos que se prestan en países fronterizos; se plantea que en los acuerdos bilaterales o multilaterales, Colombia debería pedir aspectos técnicos a los países de frontera con el fin de la creación de una base de datos que permita monitorear las emisiones del espectro radioeléctrico en zonas de frontera.

Se deben revisar en un próximo estudio las emisiones generadas desde los países fronterizos hacia Colombia, debido a que es una información técnica que la posee cada país y el presente proyecto no tuvo en cuenta dicho alcance, así como también se debe revisar la afectación de los servicios móviles y fijos sobre los servicios de radiodifusión que tampoco se tuvieron en cuenta en el presente estudio.

Se recomienda que el Ministerio de Tecnologías de Información y Comunicación en Colombia deberá pedir a las estaciones de radiodifusión tanto en el ámbito nacional como con los países de frontera cálculos de pérdidas de transmisión que incluyan factores como pérdidas por absorción, pérdidas por difracción, pérdidas por dispersión, pérdidas por acoplamiento de polarización, pérdidas por acoplamiento entre la abertura y el medio de transmisión, pérdidas por propagación de trayectorias múltiples, con el ánimo de considerar los niveles de interferencia global e interferencia procedente de una sola fuente.

Se recomienda que de acuerdo a las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, Colombia en cabeza del MINTIC genere una regulación para mitigar las interferencias radioeléctricas en zona de frontera ya que a la fecha no se cuenta con dicha regulación.

Se deben generar más acuerdos bilaterales donde se contemple el monitoreo y control de las emisiones radioeléctricas en zonas de frontera ya que actualmente solo se cuenta con acuerdo bilateral con Ecuador.

El proyecto [4] que tiene como referencia este artículo realiza una caracterización de las interferencias en el espectro radioeléctrico para servicios de radiodifusión, lo cual primero predice en qué zonas de frontera probablemente podría haber interferencia y teniendo en cuenta esto último genera recomendaciones a los entes administrativos.

## 6. Referencias

- [1] Farr Tom G., Rosen Paul A., Caro Edward, Crippen Robert, Duren Riley, Hensley Scott, Kobrick Michael, Paller Mimi, Rodríguez Ernesto, Roth Ladislav, Seal David, Shaffer Scott, Shimada Joanne, Umland Jeffrey. The Shuttle Radar Topography Mission. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. NASA.
- [2] Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction Channel for Satellite Distribution Systems. ETSI EN 301 790 V1. 3.1 (2003-03).
- [3] UIT. Recomendación UIT-R BO.1724-1. Draft Revision of Recommendation ITU-R BO.1724 - Interactive Satellite Broadcasting Systems (Television, Sound and Data). Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [4] Rico Martínez Mónica Andrea, Contreras Jáuregui Diana Carolina. Caracterización de las condiciones de interferencia en el espectro radioeléctrico para servicios de radiodifusión en zonas fronterizas de Colombia. Universidad de San Buenaventura, 2012.
- [5] UIT. Recomendación UIT-R P341: Noción de pérdidas de transmisión en los enlaces radioeléctricos. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [6] K. Siwiak, Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications, Artech House, 1995.
- [7] UIT. Recomendación UIT-R P834: Efectos de la refracción troposférica sobre la radio propagación. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [8] UIT. Recomendación UIT-R P370: Curvas de propagación en ondas métricas y decimétricas para la gama de frecuencias comprendidas entre 30 y 1000 MHz. (Curvas estadística de propagación de servicio fijo terrestre). Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [9] UIT. Recomendación UIT-R V.573 "Designa la utilización del mismo radiocanal por dos o más emisiones". Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [10] UIT. Recomendación UIT-R P833: Atenuación de la vegetación. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [11] Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones - Colombia [www.mintic.gov.co/](http://www.mintic.gov.co/)

- [12] C. A. Balanis, Antenna Theory: A Review, Proc of the IEEE, vol. 80, 1, 7-18, 1992.
- [13] UIT. Recomendación UIT-R SM.669 interferencia cocanal. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [14] UIT. Recomendación UIT-R V.573-4. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [15] UIT. Recomendación UIT-R SM.332-4. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [16] UIT. Recomendación UIT-R P525: Cálculo de la atenuación en el espacio libre. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [17] UIT. Recomendación UIT-R BO.1130-4. Sistemas de radiodifusión digital por satélite para receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en las bandas atribuidas al servicio de radiodifusión (sonora) por satélite en la gama de frecuencias 1 400-2 700 MHz. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [18.] National Radio Spectrum Management Handbook, Title II - Radio Spectrum Engineering. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones Republic of Colombia. May 2010.
- [19] UIT. Recomendación UIT-R P.1058-2 Bases de datos topográficos digitales para estudios de propagación. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [20] José Luis Fernández Carnero y Antonio Suárez Perdígón. Televisión y radio analógica y digital- Sistemas para la recepción y distribución de las comunicaciones y los servicios en edificios y viviendas. Editorial Televis. 1 edición octubre de 2004. España.
- [21] Plan técnico nacional de radiodifusión sonora en amplitud modulada. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Marzo de 2011.
- [22] Plan técnico nacional de radiodifusión sonora en frecuencia modulada. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Marzo de 2011.
- [23] Plan de utilización de frecuencias -Acuerdo 003 de 2009, Comisión Nacional de Televisión (Liquidada) – Registro de Frecuencias para el Servicio de Televisión en Colombia. 2009.
- [24] Jaime Ramírez Artunduaga. Medios y métodos de propagación de las ondas de radio. Universidad de San Buenaventura, Bogotá D. C. Colección Facultad de Ingeniería núm. 7 - 2008.
- [25] UIT. Recomendación UIT-R V.573-5. Vocabulario de radiocomunicaciones. Disponible en [www.itu.int/](http://www.itu.int/)
- [26] Varios. Guía de configuración y uso radio mobile. Anexo F. Documento PDF disponible en línea.
- [27] Página oficial de radio mobile. [www.cplus.org/rmw/english1.html](http://www.cplus.org/rmw/english1.html).
- [28] Grupo de radiocomunicacion departamento SSR ETSIT – UPM. Febrero del 2007 - Tutorial Radio Mobile Coverage.
- [29] Hernando Rabanos, Transmisión por radio, Editorial Ramón Areces, 2006.