

Medición, Caracterización y Modelamiento del Rango de Frecuencias Asignado a un Servicio Fijo- Móvil (2110-2500MHZ) de la Banda UHF del Espectro Electromagnetico en la FIEC, Campus Prosperina

Christian Alvarado ⁽¹⁾, Gabriel Zamora ⁽²⁾, Washington Medina ⁽³⁾
CIDIS-Electrical and Computer Engineering Department (FIEC)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral,
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

ccalvara@espol.edu.ec ⁽¹⁾

gzamora@espol.edu.ec ⁽²⁾

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Ingeniería en Electricidad, Profesor del Seminario de Graduación
wmedina@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

Este trabajo abarca una investigación sobre la ocupación del Espectro Electromagnético en el rango de frecuencias de 2110 - 2500MHz en el área de la FIEC, ubicada en el Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral en la ciudad de Guayaquil. El Espectro Electromagnético es un recurso natural limitado y considerado por parte del estado ecuatoriano como un sector estratégico, por lo cual una óptima utilización del espectro garantiza poder proveer un mayor número de servicios de telecomunicaciones, por lo que, el objetivo de este trabajo será realizar una medición, caracterización y modelamiento del rango de frecuencias asignados a un servicio fijo-móvil (2110-2500 MHz) de la banda UHF del Espectro Electromagnético. Los resultados obtenidos por medio de las mediciones, reflejaron que los canales del 1 al 4 (2110-2130MHz) presentan una ocupación semanal del 90%, el canal 5(2130-2135MHz) una ocupación semanal del 37% y los canales del 6 al 38 (2135-2500MHz) un ocupación semanal del 0%, por lo que, en base a lo anterior mencionado y teniendo como referencia el comportamiento del canal 5 por medio de las cadenas de Markov, se puede concluir que a partir del canal 5 se pueden implementar nuevos servicios o tecnologías que hagan un mejor uso del espectro no utilizado.

Palabras Claves: *Espectro Electromagnético, FIEC, Frecuencias de 2110-2500MHZ, Banda UHF, Radio Cognitiva;*

Abstract

This work includes an investigation on the use of the Electromagnetic Spectrum in the range of frequencies of 2110 - 2500MHz in the area of the FIEC. The Electromagnetic Spectrum is a natural limited resource considered on the part of the Ecuadorian condition as a strategic sector, for which an ideal utilization of the spectrum guarantees to be able to provide a major number of services of telecommunications, for what, the aim of this work will be a measurement, characterization realize and modeling of the range of frequencies assigned to a fixed - mobile service (2110-2500 MHz) of the band UHF of the Electromagnetic Spectrum, The results obtained by means of the measurements, reflected that channels of the 1 to 4 (2110-2130MHz) present a weekly occupation of 90 %, channel 5 (2130-2135MHz) a weekly occupation of 37 % and channels from 6 to 38 (2135-2500MHz) one weekly occupation of 0 %, for what, on the basis of the mentioned previous thing and taking the behavior of the channel as a reference 5 by means of Markov's chains, it is possible to conclude that from channel 5 can implement new services or technologies that do a better use of the unused spectrum.

Keywords: *Electromagnetic Spectrum, FIEC, Frequencies of 2110-2500MHZ, Band UHF, Cognitive Radio*

1. Introducción

1.1 Antecedentes

La demanda del espectro electromagnético es creciente debido a la implementación y desarrollo de nuevos servicios inalámbricos en las diversas aéreas de las telecomunicaciones, además de existir la problemática de que numerosas bandas de frecuencias permanecen muy congestionadas a determinadas horas y en ciertos lugares densamente poblados. [1]

Por lo que un buen modelo en la asignación del espectro electromagnético y la eficiencia en su uso, son condiciones vitales para un óptimo y sano desarrollo de las telecomunicaciones, sobre todo en un mundo globalizado como el actual, en donde la investigación no se detiene nunca y avanza cada minuto, donde realizar una distribución adecuada del espectro electromagnético y aprovechar al máximo el rango de frecuencias asignado, garantiza el poder proveer o no un mayor número de servicios de telecomunicaciones. [2]

De tal forma, las nuevas tecnologías de los distintos servicios inalámbricos innovadores se ve cada vez más afectado o truncado por la reserva de determinadas bandas del Espectro Electromagnético definidas para servicios de manera limitada o restrictiva (Bandas exclusivas para Empresas Publicas del estado, Fuerzas armadas o simplemente sin atribución alguna), unida a unas estrictas condiciones de uso que imponen limitaciones al uso del espectro. [2]

Cisco en su Pronóstico VNI Global 2018 nos muestra el crecimiento del tráfico en los datos móviles de manera mundial y regional, dándonos a conocer una proyección a futuro sobre la demanda de servicios móviles que existirá, el cual es un aumento del 9.5% global [3]

Esta demanda futura para servicios móviles o cualquier otro servicio de telecomunicaciones podría no ser satisfecha, debido a una limitada asignación de espectro electromagnético o a un uso poco eficiente del mismo. Este problema en la administración del Espectro Electromagnético recae exclusivamente sobre la propia escasez que posee dicho espectro. Sin embargo, esta escasez puede ser parcialmente solucionada mediante nuevas tecnologías, equipos o asignaciones más eficientes, es decir tecnologías que aprovechen mejor el mismo espectro como por ejemplo el uso de la radio cognitiva (RC), que aprovecha de manera más eficiente el espectro disponible no utilizado, sin que unos usuarios interfieran con otros, lo que permite aprovechar una mayor cantidad de datos. [2]

Otro de los posibles problemas enfoca a las políticas actuales de asignación de frecuencias, demasiado estrictas y poco flexibles a pesar de que el espectro electromagnético es un bien limitado, se aprecia que existen ciertas bandas licenciadas que realizan un uso muy bajo de espectro asignado, en contraste a otras que suelen estar muy congestionadas, al menos en ciertos momentos del día y en ciertos lugares de la ciudad, mientras que otras bandas pueden estar siendo poco utilizadas [4]. Por lo que si un sistema en general pudiese detectar esta situación o comportamiento y al mismo tiempo pudiese tomar decisiones, optando por cambiar los parámetros de transmisión para así cambiar de banda (Tecnología Radio Cognitiva), los resultados serían muy beneficiosos.

Debido a que una asignación estática del Espectro Electromagnético, no permite que frecuencias con muy poco uso, adjudicadas a servicios fijos y específicos, puedan ser usadas por usuarios no concesionados [5]. Por lo que una asignación variable y flexible justificada por la ley permitiría que los usuarios sin concesión, puedan hacer uso de ellas y de igual manera para los concesionados si estos quisieran transmitir en otra banda, siempre que no provoquen ninguna interferencia de ningún tipo al servicio que proporciona el usuario concesionado en esa banda de frecuencia,

2. Estado del Arte

2.1 Regulación del Espectro Electromagnético

“La UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones es un organismo especializado de las Naciones Unidas a cargo de la reglamentación, la normalización y el desarrollo de las telecomunicaciones en todo el mundo” [6]

2.2 Administración del Espectro en el Ecuador

Los órganos principales designados para el control y administración del espectro electromagnético en el Ecuador según el registro oficial N° 439 del 18 de febrero del 2015 son:

- MINTEL
- ARCOTEL

2.3 Plan Nacional de Frecuencias

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) órgano encargado de la aprobación del Plan Nacional de Frecuencias hasta el 17 de febrero del 2015, estableció la atribución de las bandas de frecuencias a los diferentes servicios de Telecomunicaciones que se proveen en el país.

Para el rango de frecuencia a analizar (2110-2500 MHz), el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador del 2012 ha decretado la siguiente asignación detallada en la siguiente Tabla.

Tabla 1. Asignación de servicios

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)
Fijo Móvil	2110	2120
Fijo Móvil	2120	2160
Fijo Móvil	2160	2170
Fijo Móvil	2170	2200
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500

. Fuente: Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador 2012 [5]

2.4 Servicios Asignados entre 2110-2500 MHz

2.4.1. IMT

Los sistemas de IMT-Avanzadas admiten aplicaciones de baja y alta movilidad y una gran variedad de velocidades de datos, de conformidad con las demandas de los usuarios y de servicios en numerosos entornos de usuario. [7]

2.4.2. Radiolocalización

La Radiolocalización o también conocida como Radiometría RDF (Radio Direction Finding o búsqueda por radio dirección) es un sistema de

comunicación unidireccional personal y selectiva sin transmisión de voz ni mensajes que permite determinar la posición de un objeto mediante la utilización de ondas electromagnéticas [8]

2.4.3. Radio Determinación por Satélite

La radio determinación por satélite es un sistema de comunicación que permite determinar la velocidad y posición de un objeto mediante la utilización de uno o más satélites. [9]

2.4.4. Móvil por Satélite

Móvil por Satélite es un sistema de comunicación entre dos o más estaciones móviles por medio del satélite, en donde si las estaciones están situadas sobre un barco se las denomina servicio móvil marítimo, si estas están en un avión se denomina servicio móvil aeronáutico y si estas estuviesen en un vehículo se denominarían servicio móvil terrestre. Además este servicio también tiene como objetivos detectar y localizar señales de SOS [9]

3. Sistema de Medición

El laboratorio de telecomunicaciones de la ESPOL se encuentra en un área semi rural de la ciudad de Guayaquil. El sistema de medición utilizado para este proyecto se muestra en la figura 4

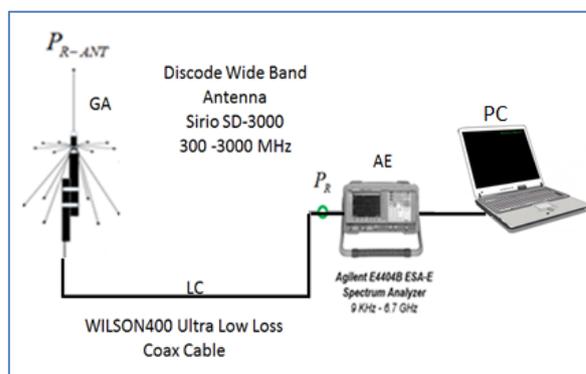


Figura 4. Esquema Sistema de Medición

Sus componentes principales son una antena de tipo Disco (SIRIO SD-3000) con recepción patrón omnidireccional en el plano horizontal, la cual se conecta a una cable de bajas pérdidas de la marca Wilson electronic de 50 pies, lo que permite una conexión directa al analizador de espectro evitando utilizar filtros, amplificadores y conectores adicionales que causarían pérdidas. A continuación el analizador de espectro (SA) (Agilent E4404B ESA-E) recibe la señal durante todo el proceso de medición para luego almacenar todas estas mediciones en un ordenador portátil, para que posteriormente puedan ser analizadas y procesadas por el software matemático MATLAB.

El resultado obtenido de potencia en el analizador de acuerdo a la figura 4 es el siguiente

$$P_{R-ANT} = PR + Lc - GA \quad (1)$$

Donde P_{R-ANT} es la potencia recibida en la antena Sirio SD 3000, PR es la potencia en el analizador de señales, Lc es la pérdida en el cable coaxial y GA es la atenuación que genera el equipo.

4. Métricas

4.1 Algoritmo de Medición

El algoritmo implementado en el SA para obtener en el PC el nivel de potencia recibido en cada canal de la banda de 2110 A 2500 MHz se describe por el pseudo código se muestra en la Figura 5

```

Input: FINICIO, FFINAL, TINICIO, NMUESTRASXCANAL, NCANALES
Results: File with: Date, Time, Frequency and Power
1. Communication between SA and Laptop is established.
2. i=1; j=1;
   ;measurement counters are initialized
3. while TPRESENTE < TINICIO
4. it is on hold while the current time (TPRESENTE) reaches the start time (TINICIO)
5. End
6. while j ≤ NMUESTRASXCANAL
7. while i ≤ NCANALES
8. Start the channel scan i;
9. MATRIZRESULTADO(j,i,4) = (Datei,j, Timei,j, fi,j, PRf,i,j);
   ;measurement information corresponding to the i channel and j sample is saved in result matrix
10. i=i+1;
11. End
12. j=j+1; i=1;
13. End
14. save MATRIZRESULTADO in FILE;
15. communication between SA and laptop is closed

```

Figura 5. Algoritmo de Medición

Se puede apreciar que se requieren ciertos parámetros de entrada para poder inicializar el algoritmo, los cuales son la frecuencia de inicio (FINICIO) y la frecuencia final (FFINAL) que corresponden justamente al rango de frecuencias al cual se desea realizar el análisis que para este proyecto es 2110MHz a 2500MHz. TINICIO es la hora fijada para que la SA comience a tomar mediciones. NCANALES es el número de canales a los cuales se realizó la medición Y NMUESTRASXCANAL es el número total de muestras tomadas por canal.

Una vez finalizado el algoritmo, se generará un archivo que contendrá una matriz de resultados (MATRIZRESULTADO), la cual tendrá como información la fecha, hora, frecuencia, la potencia y el número de muestras en ese canal

4.2 Procesamiento de Datos

Para el ancho de banda de 390 MHz correspondientes al rango de frecuencias de 2110-2500Mhz, se lo

dividirá para 5 MHz lo cual proporcionará 78 espacios de 5Mhz cada uno, esto se realiza debido a los servicios que se brindan en la banda anteriormente mencionada, en donde el canal con menor ancho de banda es de 5 MHz, por lo cual es importante dividir el ancho de banda total para el ancho de banda más pequeño y abarcar así todos los canales disponibles.

En vista de que los servicios en el ancho asignado son orientados a LTE celular y son datos que en determinadas horas del día son masivos y en otros no tanto, el tiempo promedio que se usará es de 43 segundos para cada muestra, debido a que los datos se guardarán en análisis de 500 muestras en 500 muestras, dividiendo así las 24 horas del día en 4 sesiones para optimizar los recursos de la máquina evitando el colapso de la misma con tanta información, utilizando 1560 puntos por muestra, para que nuestro análisis sea lo más fino posible utilizando 20 puntos por canal.

$$\text{número de puntos} = 20 \text{ puntos} * 78 \text{ espacios}$$

$$\text{número de puntos} = 1560 \text{ por muestra}$$

Con estos cálculos obtendremos 2000 muestras diariamente de 1560 puntos cada una, por lo que se obtendrá 3`120.000 puntos diariamente, suficientes para obtener un modelamiento de la señal más precisa.

El piso de ruido Pn teórico se determina de la siguiente manera:

$$Pn = -174 \text{ dBw} + 10 \log(Bw) + NF \quad (2)$$

Siendo NF la figura de ruido y Bw el ancho de banda a utilizar. La figura de ruido según el equipo y el rango de operación será de 11.56 dB valor obtenido de la tabla del fabricante del analizador de espectro para rango de frecuencia a analizar, por lo tanto se tendrá:

$$Pn = -174 \text{ dBw} + 10 \log(390 \text{ Mhz}) + 11.56 \text{ dB}$$

$$Pn = -76.53 \text{ dB}$$

Esto quiere decir de a partir de esta potencia hacia abajo se considera ruido.

Para calcular el umbral de operación utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Pt = Pn + M \quad (3)$$

Dónde Pt es la potencia de umbral, Pn es el piso de ruido, M es el margen de seguridad dado por la UIT de 10 dB. [10]

Dándonos lo siguiente:

$$P_t = -76.53dB + 10dB$$

$$P_t = -66.53dB$$

4.3 Parámetros Considerados para el Proyecto

Para el desarrollo y análisis del proyecto se establecieron una serie de parámetros.

Los niveles de potencia medidos por el analizador de espectro definidos en la sección 4.2, se aprecia que PR no proporciona suficiente información para poder realizar un análisis completo sobre el comportamiento de un determinado canal con una frecuencia concreta (fi), por lo que el canal se analiza utilizando la potencia media de un determinado número de muestras (número de muestras que fue calculado anteriormente dando como resultado 2000 muestras diarias de 1560 puntos cada una.) Esto se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\overline{P_{R,f_i}} = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} P_{R,f_i,j}}{N_s} \quad (4)$$

Donde $P_{R,f_{ij}}$

Es el nivel de potencia medido por el analizador de espectro en el canal de frecuencia específico fi para una muestra j, y N_s corresponde al número total de muestras por canal.

Para determinar si se está haciendo uso o no de un determinado canal se utiliza una potencia de umbral (Pt) establecida por la ecuación 10, de esta forma todo canal cuya potencia supere la referencia dada por la potencia de umbral estará siendo utilizado.

Lo descrito anteriormente se puede plasmar en la ecuación 5

$$U_{CH_{i,j}} = \begin{cases} 1 ; P_{R,f_i} \geq P_{TH} \\ 0 ; Otherwise \end{cases} \quad (5)$$

Una vez definido que canal está siendo utilizado o no, se puede determinar el ciclo de trabajo o también conocido como duty cycle en un determinado canal.

El ciclo de trabajo indica el porcentaje de ocupación de un canal para un conjunto de muestras.

Viene definido por la siguiente expresión:

$$DC_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} U_{CH_{i,j}}}{N_s} * 100 \quad (6)$$

5. Análisis de Resultados

La figura 6 detalla el comportamiento general de toda la semana de medición (lunas a domingo) considerando las 14000 muestras (2000 muestras por días) con sus respectivos 1560 puntos

Cada color representa un índice de disponibilidad, tal y como lo indica la barra de colores ubicada al lado derecho del gráfico. Por lo que apreciar un color azul oscuro más definido representara una mayor disponibilidad en contraste al color magenta oscuro que representara una menor disponibilidad de una determinada frecuencia, en una hora específica del día.

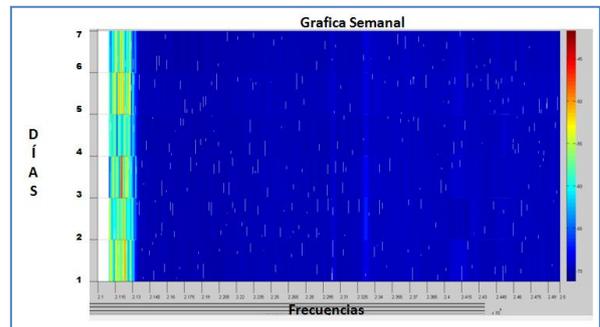


Figura 6. Disponibilidad Semanal

En los cuales se puede apreciar el comportamiento por día a lo largo de toda la frecuencia de estudio y se puede tener una visión clara de la ocupación o disponibilidad a lo largo de toda la semana.

La figura 7 muestra el comportamiento semanal por separación de canales, en donde se aprecia que el canal 1 y el canal 4 poseen una disponibilidad del 10%, mientras que la de los canales 2 y 3 ronda el 5%

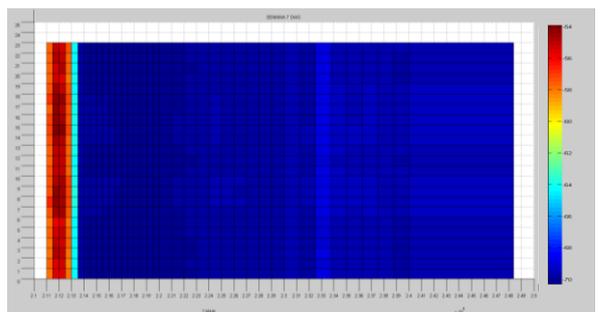


Figura 7. Disponibilidad Semanal Por Canal

El canal 5 está en un 47%, mientras que los demás que se encuentran en una zona de color azul rondan el 80% de disponibilidad

La figura 8 detalla el comportamiento semanal del rango de frecuencia de estudio visto en 3D

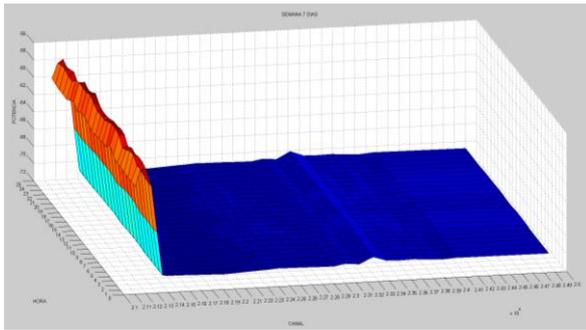


Figura 8. Disponibilidad Semanal vista 3D

En la figura 9 se observa los canales que entraron o no en actividad comparándolos si atravesaron o no una potencia de umbral determinada.

Teniendo ese grafico presente se puede decir que durante toda la semana solo 5 canales estuvieron activos y los 5 pertenecen a servicios de IMT, los restantes no lograron superar la potencia de umbral de referencia por lo que se los considera inactivos.

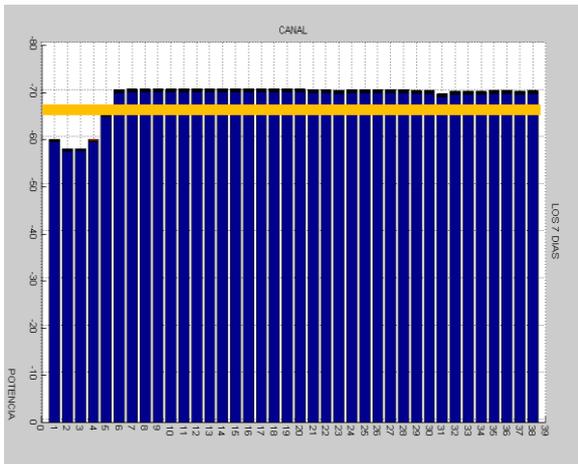


Figura 9. Potencia de Umbral

En la figura 10 se muestra el ciclo de trabajo semanal, en donde los 5 primeros canales presentan barras definidas que representan el ciclo de trabajo realizado y los canales 31 y 37 presentan barras que leve mente se puede apreciar que representan un mínimo trabajo realizado durante el transcurso de la semana.



Figura 10. Ciclo de Trabajo

Lo anteriormente expresado se parecía mejor en la tabla 2.

Tabla 2. Ciclo de Trabajo Detallado

Servicio	Frecuencia (MHz)	DUTY CYCLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110-2120	91,85
Fijo Móvil (IMT)	2120-2160	91,99
Fijo Móvil (IMT)	2160-2170	36,47
Fijo Móvil (IMT)	2170-2200	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200-2290	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290-2300	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300-2450	0,003625
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450-2483.5	0,014
Radio determinación por satélite (espacio-Tierra)	2483,5-2500	0

Donde la banda de 2300 a 2450MHz y la banda de 2450 a 2483MHz presentan un ciclo de trabajo tan bajo que se lo puede considerar 0%

5.1 Modelamiento del Canal

Los canales del 1 al 4 han presentado un promedio de ocupación diaria y general del 90% y los canales del 6 al 38 una ocupación del 0% que corresponde a una disponibilidad del 100%.

El único canal cuyo comportamiento no tuvo una tendencia definida a lo largo de la semana fue el canal 5, por lo cual se realizara un modelamiento del comportamiento de ese canal.

5.1.1. Cadenas de Markov

Para realizar el modelamiento del canal 5 cuyo comportamiento es estocástico (sucesión de observaciones que no se pueden predecir

exactamente) [11] utilizaremos las cadenas de Markov.

Las cadenas de Markov es un proceso estocástico que conoce la historia del sistema por lo cual teniendo toda esa información desde su estado actual puede predecir en probabilidad su estado futuro [12]

Es decir si el estado actual X_n y los estados previos x_1, \dots, X_{n-1} son conocidos, puede predecir la probabilidad del estado futuro X_{n+1}

Donde no se depende de los estados anteriores x_1, \dots, X_{n-1} y solamente se depende del estado actual X_n

5.1.2. Matriz Estocástica

Es una matriz cuadrada cuyos elementos nunca son negativos, además de poseer la cualidad de que la suma de cada una de las filas da como resultado 1. [11]

Para una cadena de Markov definida con K estados posibles S_1, \dots, S_k y probabilidades de transición estacionaria.

La matriz de transición P se define como:

$$si p_{ij} = P(X_{n+1} = S_j | X_n = S_i) \rightarrow P = \begin{pmatrix} P_{11} & \dots & P_{1k} \\ \cdot & \dots & \cdot \\ P_{k1} & \dots & P_{kk} \end{pmatrix} \quad (7)$$

“Donde la matriz de transición P de cualquier cadena de Markov finita con Probabilidades de transición estacionarias es una matriz estocástica” [11]

5.1.3. Modelamiento Canal 5

El punto de partida para modelar el comportamiento del canal 5 es encontrar la matriz de transición P, la cual se obtuvo de la matriz realizada para obtener los ciclos de trabajos que consistía de información de ceros y unos dependiendo de si la potencia recibida había superado o no la potencia de umbral establecida.

Se procede a obtener las probabilidades $P_1, P_0, P_{11}, P_{00}, P_{10}, P_{01}$

Dónde:

P_1 es la cantidad de unos que existe en la matriz dividida para el número total de datos contenidos en la matriz

P_0 es la cantidad de ceros que existe en la matriz dividida para el número total de datos contenidos en la matriz

P_{11} es la cantidad de transiciones de uno a uno que existe en la matriz dividida para el número total de unos en la matriz

P_{00} es la cantidad de transiciones de cero a cero que existe en la matriz dividida para el número total de ceros en la matriz

P_{10} es la cantidad de transiciones de uno a cero que existe en la matriz dividida para el número total de unos en la matriz

P_{01} es la cantidad de transiciones de cero a uno que existe en la matriz dividida para el número total de ceros en la matriz

La figura 11 y la tabla 3 nos muestra la probabilidad de $P_1, P_0, P_{11}, P_{00}, P_{10}, P_{01}$ a lo largo de la semana.

Tabla 3. Probabilidades canal 5

P1	P0	P11	P00	P10	P01
0,315	0,684	0,318	0,685	0,680	0,313

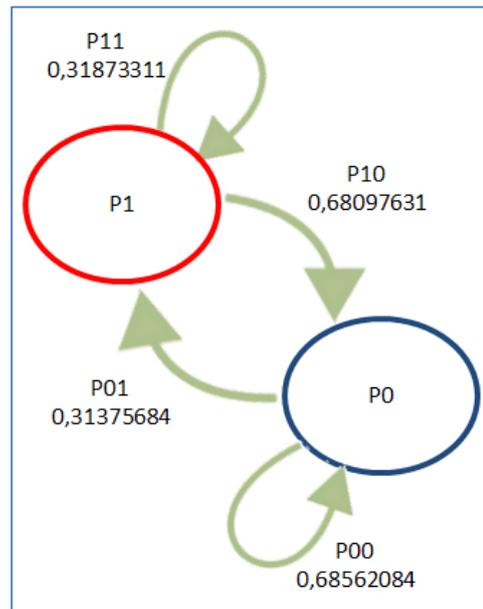


Figura 11. Cadena de Markov canal 5

5.1.4. Validación de la cadena de Markov

Para realizar la validación de la cadena de Markov se usaran las funciones `hmmgenerate` y `hmmestimate` de MATLAB.

La función `hmmestimate` calcula la estimación de máxima verosimilitud de la transición (TRANS) y la emisión (EMIS), las probabilidades de un modelo oculto de Markov para la secuencia (seq), con los estados conocidos (states)

La función `hmmgenerate` tiene un modelo de Markov conocido, especificado por la matriz de probabilidades de transición (TRANS) y matriz de probabilidad de emisión de (EMIS)

Usando las funciones antes mencionada en MATLAB se realiza la comparación del modelo de Markov tal como se muestra en la figura 12

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
>> trans = [0.68,0.32; 0.31,0.69];
emis = [31/100;69/100];
[seq,states] = hmmgenerate(1000,trans,emis);
[estimateTR,estimateE] = hmestimate(seq,states)

estimateTR =

    0.6921    0.3079
    0.2893    0.7107

estimateE =

     1
     1

fx >> |
    
```

Figura 12. Matlab funciones Markovianas

De los datos obtenidos por medio de MATLAB se pueden realizar el histograma con datos simulados y relacionar su comportamiento con el histograma del método propuesto y así validar la propiedad de Markov

La figura 13 muestra el histograma con los datos simulados y la figura 14 el histograma con los datos obtenidos de las mediciones.

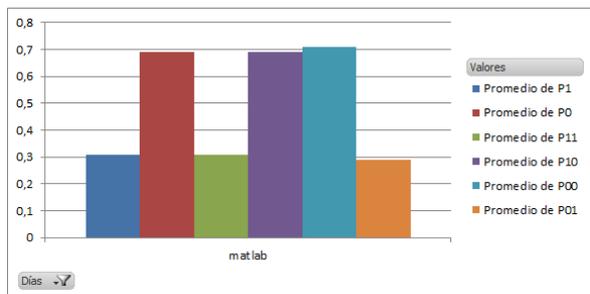


Figura 13. Histograma Datos Simulados

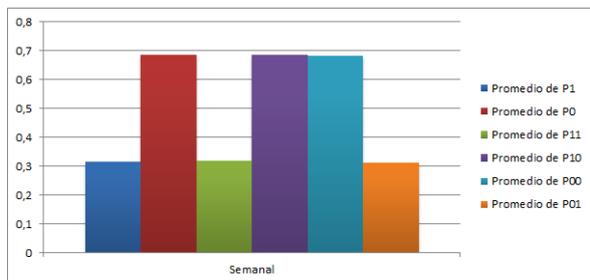


Figura 14. Histograma Datos Mediciones

6. Propuestas

Los datos obtenidos durante el proyecto reflejan que sólo hay actividad dentro de los 5 primeros canales del rango de frecuencia asignado, por lo cual implementar plataformas de radio definida por software, como lo puede ser la radio cognitiva permitiría que usuarios no concesionados pudiesen trabajar sobre esas frecuencias infrautilizadas brindando servicios parecidos o diferentes o que usuarios concesionados pudiesen cambiar a frecuencias de poco uso cuando sus respectivas frecuencias se encuentren congestionadas.

La propuesta anterior también conlleva a una reforma sobre la ley actual de telecomunicaciones ya que como está estipulada actualmente, no permite el uso de tecnologías RC y solo el usuario concesionario está autorizado para realizar actividades sobre su banda de frecuencia.

Por lo que realizar una nueva ley más flexible, que permita el uso esta nueva tecnología de vanguardia ayudaría a solventar en gran medida el problema de los escasos del espectro electromagnético.

7. Conclusiones

Podemos concluir respecto a las herramientas utilizadas como el complemento Intuilink en Microsoft Excel para la captura de datos, que es la herramienta principal después del analizador de espectro para programar una estricta secuencia en la continuidad de los datos y así poder obtenerlos, guardarlos y administrarlos para su análisis que en este caso se lo hizo utilizando el programa de Matlab.

El comportamiento de la banda de frecuencia comprendida en el rango de 2110 MHz a 2500 MHz fue la esperada según lo apreciado en el Plan Nacional de Frecuencia, en donde los primeros canales obtenidos con la ayuda del analizador de espectro son los más utilizados, debido al servicio que ofrecen y que cada vez aumenta su demanda reflejada en los gráficos y datos obtenidos. A diferencia de los canales posteriores en donde los gráficos y datos obtenidos reflejaron que el comportamiento de esas bandas actualmente están siendo infrautilizadas

En base a lo anterior mencionado y teniendo como referencia el comportamiento del canal 5 por medio de las cadenas de Markov, se concluye que es factible la utilización de estas bandas de frecuencias para nuevas tecnologías a partir del canal 5 (2135MHz a 2500MHz), debido a su comportamiento mostrado a lo largo de la semana de medición.

8. Recomendaciones

Se recomienda para tener una mayor precisión en los datos y el análisis obtenido, contar con un dispositivo capaz de subdividir los canales al mismo tiempo para tener una mayor granularidad en el estudio propuesto de cada canal.

Para evitar una elevada pérdida es recomendable tener una antena con una alta ganancia y un cable de ultra baja pérdida como el utilizado en este estudio, el cual nos ayudó a no necesitar de un amplificador y evitar introducirle a nuestros datos un mayor ruido en la potencia.

Es recomendable en esta banda de frecuencia reformar parte de las leyes de utilización de los canales ya asignados, para que la nueva tecnología pueda seguir en crecimiento y no tener el problema de la escasez de espectro.

8. Referencias

- [1] Foster McIan & Co. En colaboración con Cave Martin y Jones W. Robert “Gestión del Espectro radioeléctrico” Disponible en: <http://www.icregulationtoolkit.org/en/Section.1247.html>(Modulo 5 Consultado el 30 de Enero del 2015).
- [2] Comunicación de la comisión al consejo, al parlamento europeo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones sobre un acceso rápido al espectro para los servicios de comunicaciones electrónicas inalámbricas a través de una mayor flexibilidad. Disponible en: [http://www.europarl.europa.eu/registre/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2007/0050/COM_COM\(2007\)0050_ES.pdf](http://www.europarl.europa.eu/registre/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2007/0050/COM_COM(2007)0050_ES.pdf)(Consultado el 11 de Noviembre del 2015).
- [3] VNI Mobile forecast highlights 2013-2018 Disponible en: http://www.cisco.com/assets/sol/sp/vni/forecast_highlights_mobile/index.html(Consulta do el 15 de Enero del 2015).
- [4] [5] Fernández, Díaz Matías, Gerente Regulatorio, GSMA Latinoamérica “Políticas de asignación del Espectro en A. latina “Disponible en: <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2013/11/2.7.-Mat%C3%ADas-Fernandez-GSMA-Pol%C3%ADticas-de-Asignaci%C3%B3n-de-Espectro.pdf>(Consultado el 15 de Enero del 2015).
- [5] Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2012 Disponible en: http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf(Consultado el 5 de Noviembre del 2014).
- [6] Que es la UIT Disponible en: <http://www.itu.int/itudoc/gspromo/gsmember/81286-es.pdf>(Consultado el 2 de Diciembre del 2014).
- [7] International Mobile Telecommunication Disponible en: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1224-1-201203-I!!PDF-S.pdf(consultado el 04 de Noviembre del 2014)
- [8] Sistemas de Radio búsqueda Disponible en: http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.499-5-1990-PDF-S.pdf(consultado el 11 de Noviembre del 2014)
- [9] Sistemas de Transmisión Satelital Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1102/4/04%20ISC%20071%20CAPITULO%20DOS.pdf>(Consultado el 11 de Noviembre del 2014)
- [10] Behaviour Study of TV Bands in Ecuador for a Potential use of Opportunistic Spectrum Access Technologies (Consultado el 25 de Enero del 2015).
- [11] D.R. Cox, H.D. Miller (1970). “The Theory Stochastic Processes”. Methuen (Consultado el 5 de Febrero del 2015).
- [12] A.T. Bharucha-Reid (1960). “Elements Of The Theory of Markov Processes And Their Applications”. McGraw Hill Series in Probability and Statistics.(Consultado el 5 de Febrero del 2015).