



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN ALGORITMO
PREDICTIVO DE N-CANALES CONJUNTOS
DISPONIBLES EN EL RANGO 512-698 MHz BASADO
EN CADENAS DE MARKOV”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

VERÓNICA STEFANÍA BAZURTO SELLÁN

JORGE AUGUSTO ESPINOZA VINUEZA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios que me concede sabiduría, entendimiento y me ha guiado en este camino importante para concluir con mis metas propuestas. A mis padres Bolivia y Carlos por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi carrera universitaria brindándome el apoyo necesario e incentivándome cada día a conseguir mi logro, a mi enamorada Jennifer por apoyarme incondicionalmente desde que comencé este reto. Al tutor de mi proyecto Ingeniero Washington Medina por compartir sus conocimientos y por guiarnos en todo este proceso.

Jorge Augusto Espinoza Vinueza

Agradezco a Dios por permitirme concluir una de las metas más importantes de mi vida. A mis padres, mi hermana y mi abuela por ayudarme e incentivarme a llegar hasta aquí, por sus consejos y por todo su apoyo en los momentos difíciles. A mi esposo por ser esa fuerza final que necesitaba para concluir una meta importante en mi vida. Gracias a todos los que de una u otra manera formaron parte para poder realizar tan importante meta. Gracias a todos por su apoyo incondicional.

Verónica Stefanía Bazurto Sellán

DEDICATORIA

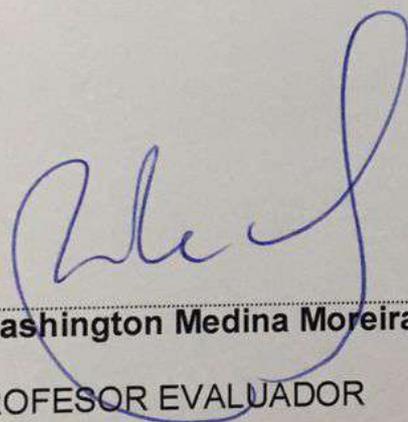
Dedico este presente proyecto principalmente a Dios que me ha permitido culminar con éxito esta etapa de mi vida y por permitirme llegar hasta este momento en nuestra formación profesional, a mis padres Carlos y Bolivia por todo su apoyo en el transcurso de este largo camino para mi formación profesional, a mi enamorada Jennifer por su incondicional apoyo, a mi hermano Carlos por su apoyo y al Ingeniero Washington Media por guiarnos en este proyecto.

Jorge Augusto Espinoza Vinueza

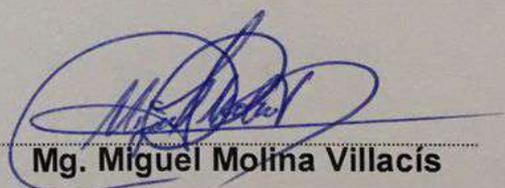
Se lo dedico a mi padre Calixto, mi madre Flora, mi hermana Denisse, mi abuela Delia, mi esposo Juan por sus consejos y por su paciencia durante este largo trayecto vivido. En especial se lo dedico a mi hijo Lucas, quien fue mi mayor inspiración para concluir esta meta, todos los esfuerzos son principalmente para él.

Verónica Stefanía Bazurto Sellán

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



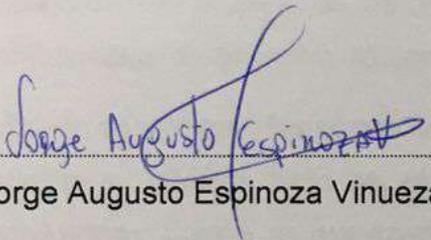
Mg. Washington Medina Moreira
PROFESOR EVALUADOR

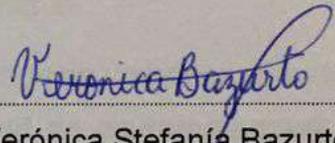


Mg. Miguel Molina Villacís
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"


Jorge Augusto Espinoza Vinueza


Verónica Stefanía Bazurto Sellán

RESUMEN

El presente proyecto realiza el diseño y análisis de un algoritmo predictivo para n canales conjuntos en el rango de (512-698) MHz de la banda UHF-TV. Los datos utilizados para realizar este estudio fueron tomados en las instalaciones de una edificación comercial del norte de la Ciudad de Guayaquil con una alta densidad de usuarios, en tres lugares estratégicos: Piso 1, Piso 9 y Piso 16.

Este estudio es un referente para la implementación de nuevas tecnologías que tengan capacidad OSA y que utilizan un ancho de banda mayor, debido a que se está realizando un análisis de disponibilidad de ocurrencia de n canales adyacentes, comprendido en el ancho de banda descrito anteriormente.

Primero se comparó las potencias recibidas con un rango de umbrales que van desde -80dBm a -60dBm, para así obtener la disponibilidad de ocurrencia para canales individuales. Luego se agruparon los datos para n canales conjunto, en donde los resultados muestran que para 2 canales conjuntos adyacentes la disponibilidad de ocurrencia llega al 100% y que mientras se agrupaban más canales la disponibilidad disminuida hasta llegar a los 9 canales conjuntos adyacentes en donde la disponibilidad de ocurrencia llega a 0%.

Finalmente se logró validar el algoritmo de predicción utilizando cadenas de Markov obteniendo porcentajes de aciertos del 75% en cada uno de los pisos estratégicos de la edificación ubicada en la ciudad de Guayaquil.

Esto permitirá aprovechar un mayor ancho de banda para el desarrollo y uso de nuevas tecnologías en un futuro.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
CAPÍTULO 1	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.1 Problema a resolver.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Justificación	3
1.4 Solución propuesta	5
1.5 Metodología.....	6
1.6 Alcance.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
2. ESTADO DEL ARTE.	8
2.1 Marco teórico.....	10
2.1.1 Espectro radioeléctrico	10
2.1.2 La radiación electromagnética.....	10
2.1.3 Frecuencias asignadas del Espectro Radioeléctrico.	10
2.2 Sistemas de Acceso Dinámico al Espectro.	11
2.2.1 Modelo dinámico de uso exclusivo	14
2.2.2 Modelo de comparación abierta	15
2.2.3 Modelo de Acceso Jerárquico.	16
2.3 Características de Radio cognitiva	18
2.3.1 Radio cognitiva	21
2.3.2 Arquitectura de radio cognitiva	23

2.3.3	Estandarización y regulación de la radio cognitiva	24
2.4	Distribución de bandas para la operación de la señal de televisión abierta.....	26
2.4.1	Atribución de espectro radioeléctrico en América Latina ..	27
2.4.2	Sistemas de Televisión usados en Ecuador	28
2.4.3	Estándar analógico de TV en Ecuador	29
2.5	Cadenas de Markov.....	33
CAPÍTULO 3.....		35
3.	DISEÑO DEL ALGORITMO DE DISPONIBILIDAD.....	35
3.1	Descripción General del escenario.....	35
3.2	Algoritmo predictivo de la disponibilidad de canales conjuntos adyacentes	37
3.3	Disponibilidad de n canales conjuntos.....	38
3.4	Modelo predictivo usando Cadenas de Markov.....	42
CAPÍTULO 4.....		45
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
4.1	Disponibilidad de n canales conjuntos adyacentes para cada uno de los pisos.....	45
4.2	Probabilidad de ocurrencia para el número de canales con más variabilidad	47
4.3	Predicción usando Cadenas de Markov.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		53
BIBLIOGRAFÍA.....		54
ANEXOS.....		59

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En el capítulo que se detalla a continuación se dará a conocer el problema de la escasez de espectro radioeléctrico por el aumento de tecnologías de acceso inalámbrico, así como los diferentes organismos que regulan el uso del espectro radioeléctrico, formulando de esta manera el proyecto y las limitaciones que este podría tener.

1.1 Problema a resolver.

En la actualidad con el aumento de tecnologías de acceso inalámbrico tales como celulares, laptops, radios, entre otros, que son una vía de comunicación y acceso a servicios de internet, prioritariamente en zonas urbanas donde existe un denso despliegue de estos dispositivos, el uso ineficiente del espectro electromagnético que es un recurso natural no renovable limitado, causa problemas de tráfico e interferencia en las bandas que están operando dichos sistemas y ocasionan un problema de deterioro en la calidad de su servicio [1], por tal motivo existe la necesidad de abarcar la demanda de espectro, para el uso de nuevos servicios inalámbricos móviles dado que no se satisface por completo la exigencia de los usuarios.

El uso ineficiente del espectro a un corto plazo, ocasionará problemas como velocidades de descarga limitadas por el pequeño ancho de banda que está asignado para el usuario final e inconvenientes con la interferencia, esto se debe al poco uso de bandas no licenciadas, provocando un difícil despliegue de nuevas tecnologías, retraso en infraestructuras y poca inversión en el desarrollo de las redes [2].

Hoy en día existen organismos nacionales e Internacionales que están promoviendo un uso adecuado del espectro radioeléctrico mediante conferencias o reuniones, debido a que es un recurso de gran prioridad y muy utilizado para el avance de tecnologías. Estos organismos rigen normas que permiten la

distribución del espectro, mediante la división de diferentes frecuencias para los diversos servicios que se brindan en la parte de radiocomunicación, ya sea de uso privado o público. A nivel internacional, se encuentra gobernada por las Conferencias Mundiales de Radiocomunicación (CMR) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es la encargada de atribuir las bandas de frecuencia de servicios de Radiocomunicación y permitir el acceso de sistemas de telecomunicaciones específicos. [3]

La Union Internacional de telecomunicaciones en el sector de Radiocuminicacion (UIT-R) toma en consideracion que el aumento de nuevas tecnologias permite el intercambio de informacion, pero aumenta el uso del espectro por tal motivo se requiere una apropiada planificacion y despliegue, para garantizar el debido funcionamiento de estos servicios, donde se utilizan normas acordadas internacionalmente [3].

En este aspecto, el Sistema de Radio Cognitiva(CRS) esta asociado a la manera de poder acceder al espectro de una manera dinámica, tomando en consideración entorno radioelectrico.

Lo que se trata es optimizar el uso del espectro radioeléctrico usando frecuencias desocupadas como por ejemplo el de la televisión analógica, que en un futuro estará totalmente desocupada debido a su migración a la Televisión Digital Terrestre (TDT) [4], en consecuencia, a esto, ha llevado a realizar estudios sobre la disponibilidad de canales conjuntos en el rango de (512-698 MHz) de la banda de UHF.

Se va a llevar el modelamiento de canales conjuntos usando Cadenas de Markov, que es aplicable a sistemas dinámicos, debido a que tienen comportamiento un aleatorio y nos permite realizar una predicción de su disponibilidad en un determinado tiempo.

En estudios anteriores, solo se ha analizado diseñado un algoritmo para la predicción de un solo canal disponible en el rango de frecuencia (512-698 MHz) de la banda UHF, y no de n canales adyacentes disponibles que podrían ser usados en nuevas tecnologías, y podría ayudar a usar de una manera mucho más eficiente el espectro radioeléctrico y de alguna manera poder ayudar a la

descongestión de canales en un determinado lugar y aprovechar de manera más eficiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Diseñar y analizar un algoritmo predictivo para n canales conjuntos adyacentes en el rango de frecuencia (512-698 MHz) de la banda UHF, mediante cadenas de Markov para el uso eficiente de sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA, por sus siglas en inglés) y el uso de nuevas tecnologías, en una edificación de una zona urbana.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar un algoritmo predictivo para conocer disponibilidad de n canales adyacentes mediante cadenas de Markov para el uso de tecnologías que requieran un mayor ancho de banda o para evitar congestión de la red.
- Determinar los n canales disponibles de la banda (512-698 MHz) de la banda UHF, en una edificación de zona Urbana, para detección de espacios en blancos.
- Validar el algoritmo predictivo para n canales adyacentes disponibles mediante la simulación usando la herramienta MATLAB.

1.3 Justificación

En la actualidad se ha tratado de incluir nuevas estructuras para el uso eficiente de espectro, mediante el uso de sistemas con Acceso Oportunista al Espectro, por lo cual los usuarios de bandas no licenciadas podrán tener acceso a segmentos de espectro de bandas licenciadas, sin que exista una afectación de los sistemas que funcionan en dichas bandas.

Para utilizar dispositivos con disponibilidad OSA, se requiere hacer un análisis estadístico previo del espectro radioeléctrico para detectar los canales libres en

el cual el dispositivo pueda transmitir información, estos canales libres también son conocidos como espacios en blanco “White Spaces”.

El espectro radioeléctrico es un recurso natural que con el transcurso del tiempo y avance de tecnologías va a ganando una mayor demanda, por tal motivo existen muchas bandas de frecuencias que tienen problemas de congestión, esto se debe a que existen cada día más dispositivos móviles y muchos más usuarios que lo usan, debido a lo cual se están llevando diversos enfoques para mejorar la eficiencia del espectro para su utilización, la banda de televisión es uno de las que más se toma en consideración debido a que esta tiene buenas propiedades de propagación, además es una de las bandas que ofrece una mayor disponibilidad canales desocupados, conocidos como espacios en blancos y estos puedan ser utilizados por dispositivos con capacidad OSA.

En Latinoamérica la asignación del ancho de banda llega a los 314.9 MHz para servicios de telecomunicaciones móviles esto da a entender que esta asignación de espectro no es eficiente debido al avance de nuevas tecnologías, el ancho de banda móvil requiere mucho más para ampliar sus servicios, inclusive la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones que cada país tenga una concesión de 1300 MHz para que exista una operación adecuada, expansión y mejora de sus servicios [5].

Actualmente para evaluar la disponibilidad de frecuencia de un canal en un momento dado se consideran 2 métodos: detección de canal y una base de datos de usuarios en un determinado lugar geográfico.

La detección de canal se basa en encontrar un canal disponible en un determinado tiempo y estos estarán conectados a las estaciones bases que nos ayudarán a determinar si ese canal se encuentra disponible, en caso de que no se encuentre disponible la estación base considerara otros canales para ver su disponibilidad y de esta forma el dispositivo se pueda conectar. Este sería un método suficiente para evitar la interferencia de espectro, pero entidades reguladoras han obligado a la implementación de un segundo método, que es obtener una base de datos en una zona específica en un lugar y tiempo determinado, de esta manera la estación podrá acceder a la base de datos y

mediante un modelo predictivo previamente elaborado que permita al usuario conectarse a dicho canal, aparte de las normativas como IEEE802.22 que permiten el acceso a bandas no licenciadas, siempre que haiga disponibilidad de dicho canal.

Con los diferentes estudios realizados, además la escasez de espectro que crece de una manera acelerada en varios países de Latinoamérica, Ecuador Estado Unidos y China, este trabajo propone realizar un estudio de disponibilidad de canales conjuntos en la banda de UHF-TV, para dispositivos de capacidad OSA en Ecuador. En particular el estudio a realizarse fue desarrollado en una edificación de una zona urbana.

1.4 Solución propuesta

Como se detalla en los apartados anteriores, el uso ineficiente del espectro además del crecimiento de dispositivos inalámbricos que ocasionan una gran demanda sobre el espectro radioeléctrico, ha llevado a realizar una búsqueda de estrategias para poder acceder de una manera eficiente a frecuencias disponibles y de esa manera mejorar la calidad de transmisión, proporcionar un ancho de banda aceptable para que sistemas de telecomunicaciones de última generación puedan funcionar sin ningún problema, tomando en cuenta los modelos de acceso al espectro: Libre y Jerárquico. El modelo de acceso libre permite en una banda de frecuencia determinada que todos los usuarios tengan acceso y estas no demandan un uso de una licencia siempre que se respeten las regulaciones establecidas como los límites espectrales, potencia de transmisión y las frecuencias portadoras, las aplicaciones más utilizadas en este sistema de bandas ISM son WIFI(802.11) y Bluetooth, en el modelo de acceso jerárquico se realizan distinción entre 2 tipos de usuarios: usuarios primarios (PU) y usuarios secundario (SU), en el cual existe 3 esquemas a considera: interweave, underlay, overlay [6].

En el esquema interweave, donde se puede identificar los muy comúnmente denominados: agujeros, donde se pueden hallar porciones disponibles del espectro, que son utilizados para realizar transmisiones privadas sin interferir con otros usuarios autorizados, el acceso concurrente al espectro underlay existen

muy estrictas restricciones en la potencia en la que se está transmitiendo, en el esquema overlay los SU utilizan recursos Compartidos por los PU, siempre y cuando los PU utilicen estándar de comunicaciones basados en códigos públicos [6].

Por tal razón, se propone el diseño y análisis de un algoritmo predictivo para n canales disponibles en el ancho (516-698 MHz) de la banda UHF-TV en las instalaciones de una edificación en una zona urbana densa, para en un futuro realizar un despliegue de nuevas tecnologías que puedas utilizar estos n canales disponibles de una manera oportunista y evitar congestión de la red, donde se utilizara el método de cadenas de Markov.

1.5 Metodología

La metodología que se utiliza para el desarrollo de este proyecto está basada en el diseño y análisis de un algoritmo predictivo para n canales adyacentes disponibles utilizando la base de datos de trabajos anteriores.

Los datos utilizados para realizar este estudio fueron tomados en las instalaciones de una edificación al norte de la ciudad de Guayaquil, se los clasificará por disponibilidad del n canales en un periodo de tiempo, además de realizar un estudio de las tecnologías a utilizarse al disponer de un mayor ancho de banda, de las cuales se tendrá que obtener normas respecto a las que rigen estos sistemas como frecuencias asignadas que poseen, potencia de transmisión en la que están funcionando y los niveles de señal permitidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones y las normativas jurídicas que existen en el Ecuador respecto a estas normas.

Se utilizará el modelo de Markov para el diseño del algoritmo predictivo primero para cada canal y luego se procederá a realizar un análisis para dos canales adyacentes, después se procederá a realizar el análisis para n canales adyacentes.

Se utilizará la metodología antes descrita y se analizará el porcentaje de disponibilidad de espectro para n canales adyacentes que nos ayudará a verificar que tan eficiente sería ocupar ese canal en un determinado tiempo, debido a que

puede existir una congestión de dichos canales adyacentes, de lo contrario puede ser subutilizado.

Mediante el uso de la Herramienta MATLAB se validará los algoritmos predictivos, se verificará que tan eficiente es dicho método predictivo y que tan confiable es para su uso.

1.6 Alcance

La realización de este proyecto será para utilizarse en las instalaciones de una edificación de una zona rural densa, para futuros estudios de disponibilidad de canales y el desarrollo de esta tecnología a un plazo corto.

Con esta investigación se podrán desarrollar nuevas estructuras sobre los sistemas de acceso oportunista al espectro, debido a que los pocos estudios que se han realizado en el país han sido respecto a la disponibilidad por cada canal y el estudio a realizarse se dará en n canales conjuntos

Las conclusiones y análisis obtenidos tendrán validez particularmente donde fue realizado el estudio: instalaciones de una edificación de una zona rural densa.

Este estudio es un referente para el implemento de nuevas tecnologías debido a que se podrá obtener un mayor ancho de banda, debido a que se está realizando un análisis de n canales adyacentes, comprendido en el ancho de banda donde se está realizando dicho proyecto.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

En la actualidad el campo de las telecomunicaciones ha tenido un gran avance de una manera muy rápida, debido a esto las tecnologías han sufrido muchos cambios para poder mejorar su eficiencia para satisfacer las necesidades de los usuarios y a su vez brindar un mejor servicio.

Existen factores de intereses políticos y económicos que son muy influyentes en la gestión de espectro radioeléctrico, debido a un gran aumento de su valor económico. Deben tomarse en consideración muchas estrategias para gestionar de una manera muy eficiente el espectro y a su vez estar a la par con los avances que existen hoy en día en las tecnologías de comunicaciones. [7]

Debido al desarrollo de técnicas de modulación y codificación, existen métodos más eficaces para transmitir información, mejorando su tiempo, frecuencia y espacio. Su finalidad es utilizar de una manera más eficiente el espectro que es la cantidad de (bits/s) que pueden transmitirse en cada Hertz (Hz). [7]

Los sistemas inalámbricos requieren de la utilización del espectro para su funcionamiento, por lo que es primordial mantener un uso eficiente del mismo. Este tipo de regulaciones suele recaer en organismo encargados como la UIT que aseguran su uso óptimo y gestión para un beneficio de la sociedad en general. Existe hoy en día una gran demanda de espectro para poder brindar servicios con tecnología inalámbrica, por esta razón, los reguladores encargados deben poder ayudar a satisfacer la demanda que existe, dando diferentes soluciones como un incremento del espectro disponibles (reasignando el uso del espectro) para que nuevas tecnologías puedan trabajar de una manera correcta y eficiente, o que exista nuevas formas de acceder al espectro, donde se pueda fomentar la compartición del mismo, pero esto requiere normativas que ayuden a trabajar en bandas no licenciadas para aprovechar al máximo el uso del espectro sin interferir en otros tipos de tecnología que estén ocupando dichas frecuencias , con la finalidad de que sea viable la compartición del espectro radioeléctrico. [8]

En estudios realizados en otros países, se ha observado que el patrón de disponibilidad del espectro no es homogéneo ni eficiente, ya que no se acoplan a nuevas tecnologías que surgen con el transcurso del tiempo. Por tal razón se pueden observar que, en algunas partes del espectro, como las bandas ISM, se encuentran congestionadas por una gran cantidad de usuarios, en su gran mayoría en zonas urbanas donde la concentración de gente es mayor [9]. Uno de los servicios que más congestión brinda es el de las redes celulares debido a que requiere un mayor ancho de banda para poder ofrecer un mejor servicio, y a su vez la cantidad de usuarios que aumentan cada día debido a que es una herramienta que permite la comunicación con otras personas, puede llegar a pensarse que en algún momento podría colapsar [10] [11].

Los factores determinantes para poder acceder a un espacio de espectro son definidos por aspectos como la frecuencia, cobertura, potencia de transmisión. Las bandas de frecuencias están concesionadas por una sola entidad y estas son las mismas que permiten el acceso a ellas por un tiempo determinado, además de tomar en cuenta las normativas impuestas por el ente regulador local, este tipo de concesiones no permite que exista un cambio de usuario, pero dada la asignación de espectro, se encontró que las bandas no son usadas en un 100%, lo que origina los espacios en blanco [2].

La asignación del espectro se debe dar de una manera dinámica, ya que el objetivo general de esto es que se mejore la eficiencia de los sistemas, con uno uso adecuado y eficaz del espectro radioeléctrico.

Se debe considerar dentro de las asignaciones dinámicas del espectro radioeléctrico, los dispositivos con Acceso Oportunista al Espectro, el cual está basado en técnicas de Radio Cognitiva que permite que usuarios secundarios, puedan utilizar ancho de bandas disponibles durante cierto periodo de tiempo, siempre y cuando respetando normativas impuesta por la ITU donde no cause interferencia a niveles superiores de los rangos permitidos por el sistema concesionado [12].

Esto ayudaría a mejorar el uso eficiente del espectro y que este pueda ser aprovechado de la mejor manera, lo que ayudaría a mejorar el problema de escasez espectral que existe en la actualidad.

2.1 Marco teórico

2.1.1 Espectro radioeléctrico

Es el medio intangible a través del cual se propagan las ondas electromagnéticas, su principal uso es transmitir información (voz, datos, imágenes), este es un recurso natural y limitado, que es considerado como un bien público donde el estado es reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. El espectro radioeléctrico convencionalmente está por debajo de los 3000 GHz [5] [13].

El espectro radioeléctrico Constituye una parte del espectro electromagnético (es aquel que está conformado por todas las ondas electromagnéticas que se diferencian por su frecuencia y su longitud de onda), aquí es donde operan emisoras de radio, televisión (satelital y analógica), microondas, sistemas de comunicación celular, comunicación satelital de aeronaves y todos los servicios de telecomunicaciones en general [5].

Este está dividido por bandas de frecuencias las cuales están en capacidad de brindar servicios de Telecomunicaciones a diferentes compañías de telecomunicaciones avaladas y protegidas por instituciones públicas que son las encargadas de regular y distribuir el espectro radioeléctrico [14].

2.1.2 La radiación electromagnética

Es el fenómeno que se produce por la presencia de campos eléctricos y magnéticos, esto ocasiona que formas de ondas electromagnéticas (aquellas que se propagan en el espacio vacío sin necesidad de una guía física) sean propagadas en diferentes direcciones, transportando energía en el espacio [5].

2.1.3 Frecuencias asignadas del Espectro Radioeléctrico.

Tiene una subdivisión de 9 bandas de frecuencias como se observa en la Tabla 1, que se asignan de manera descendente, la unidad de trabajo de la frecuencia es el Hz.

Número de Banda	Simbología (inglés)	Rango de Frecuencia	Subdivisión Métrica
4	VLF	3 hasta 30 KHz	Ondas Miriamétricas
5	LF	30 a 300 KHz	Ondas Kilométricas
6	MF	300 a 3000 KHz	Ondas Hectométricas
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas Decamétricas
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas Métricas
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas Decimétricas
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas Centimétricas
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas Milimétricas
12		300 a 3000 GHz	Ondas Decimilimétricas

Tabla 1: Distribución de Frecuencias Ecuador [15]

2.2 Sistemas de Acceso Dinámico al Espectro.

La forma de asignar el espectro en las tecnologías actuales se realiza de una manera fija para evitar problemas de interferencia masiva de redes y de las operadoras que manejan dichas redes, en el Ecuador el espectro radioeléctrico es un recurso natural pero limitado, la asignación de espectro se da por entes reguladores, mediante adaptaciones de normas internacionales o mediante las exigencias de los usuarios que requieren del servicio por el avance que tiene la tecnología, pero estas demandas no son atendidas debido a que existe un uso ineficiente del espectro [15] [16].

Tomando en cuenta lo anterior se han desarrollado métodos de asignación de espectro de una forma dinámica, que aprovechen en su totalidad la reconfigurabilidad y su manera de acceder a las nuevas tecnologías de radio. El objetivo es tener una mayor flexibilidad con las redes inalámbricas de un avance tecnológico mayor y a su vez una mayor adaptabilidad al medio de trabajo, a su vez que cumplan con todos los requerimientos exigido por los usuarios.

En la actualidad se nota un gran incremento en el uso de tecnologías inalámbricas en diferentes campos como: la medicina, aeronáutica, aviación, negocios. En zonas donde hay un crecimiento de redes inalámbricas se están encontrando problemas de congestión por tal motivo se presentan inconvenientes con la administración del espectro donde se vuelve un problema crítico y hace que exista una fuerte investigación en este campo para que puedan mitigarse estos

problemas. Según estudios de la Comisión Federal de comunicaciones (FCC) se puede resaltar los siguientes aspectos, que el porcentaje de espectro radioeléctrico utilizado es una porción pequeña que se utiliza en sistemas de radiocomunicación, la escasez del espectro no es debido a la falta del recurso, sino que se debe a una muy mala administración de políticas no reguladas, se debería diseñar e implementar normativas o tecnologías que ayuden a su eficiente utilización [17].

Se está trabajando en un estándar de comunicación que estará basado en una concepción técnica, tecnológica para garantizar el uso eficiente del espectro radioeléctrico en coexistencia con otras tecnologías, el sistema que se tomara como base es el Estándar 802.22 (WRAN – Red de Área Regional Inalámbrica) que pertenece a IEEE (El Instituto de Ingeniero Eléctricos y Electrónicos).

La parte de reconfigurabilidad y forma en que las tecnologías puedan acceder al espectro en capa física están siendo abarcadas por 2 tecnologías: SDR (Radio Definido por Software) y el CR (Radio Cognitiva), que permite a un radio cambiar sus parámetros de operación, según el entorno en donde se esté trabajando para de esta manera poder trabajar en desarrollo de nuevas tecnologías que soporten: el censado de espectro, análisis de espectro, y toma de decisiones referente al acceso al espectro, que definen el ciclo cognitivo , en ambientes de radio heterogéneos [2].

El censado de espectro es el que afronta una mayor numero de problemas técnicos, debido a que toma en cuenta parámetros muy importantes como la interferencia, atenuaciones, tasas de error y variabilidad en la disponibilidad del recurso espectral, la parte referente a las decisión sobre el espectro debe tomar en cuenta la utilización de una técnica o algoritmo para permitirle el uso a los usuarios que lo necesiten, tomando en cuenta ciertos parámetros para no afectar a usuarios que estén trabajando en esta banda, algunos de los parámetros a utilizarse son los siguientes: poca interferencia, alta tasa de transmisión, una amplia capacidad, potencias muy bajas, entre otros [18]. Podemos observar un resumen del ciclo cognitivo en la figura 2.1.

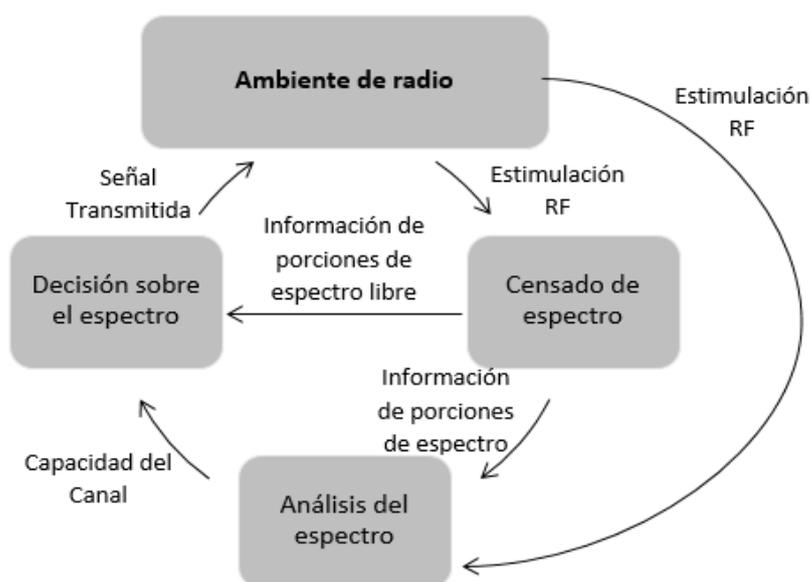


Figura 2.1: Ciclo Cognitivo [18]

Respecto a lo que comprende el análisis y decisión de espectro, su desarrollo se ha dado en técnicas denominadas DSA (Acceso Dinámico al Espectro), que son un grupo técnicas utilizadas para poder acceder al espectro radioeléctrico bajo ciertas condiciones específicas, que dependen de la topología de red, la frecuencia en la que se requiere acceder, potencia en la que se transmite, entre otros factores, como se puede observar en la figura 2.2.

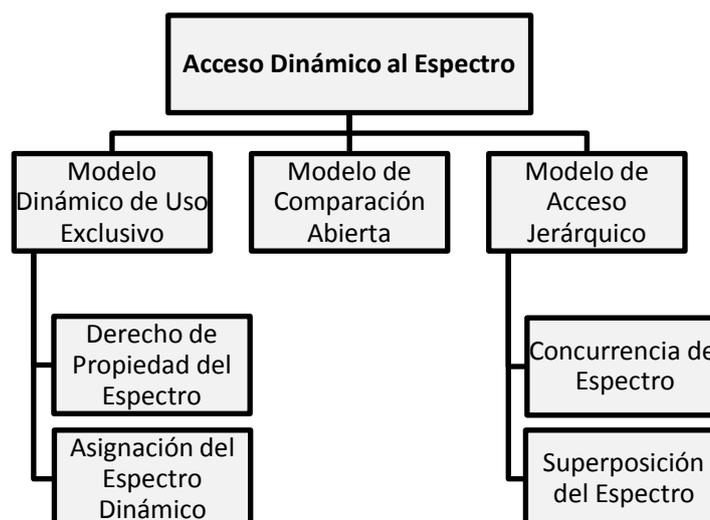


Figura 2.2: Técnicas de acceso dinámico al espectro [18]

2.2.1 Modelo dinámico de uso exclusivo

Mantiene la estructura actual política de cómo se regula el espectro y cuáles de estas bandas son de uso exclusivo. El principio de este modelo es que en un determinado momento de tiempo y espacio un solo cliente tiene la exclusividad de esa licencia, pero por un tiempo determinado debido a que existe una constante variabilidad del servicio. La principal función de este modelo es mejorar la flexibilidad y la eficiencia del espectro. Trabaja en el modelamiento de escalas más pequeñas de tiempo, espacio y frecuencia [19] [20]. En este modelo existen 2 enfoques los cuales son:

Derecho de propiedad del espectro, este enfoque trata de hacer mucho más rentable el recurso del espectro radioeléctrico debido a que toma en consideración temas económicos y políticos, se permite a los usuarios concesionados que tienen licencias primarias asumir el rol donde puedan administrar el espectro, donde la persona que se le transfiera el uso del espectro reporte al usuario concesionario todo lo referente a la licencia. La responsabilidad será exclusivamente del usuario concesionario o primario que deberá velar por los intereses de la persona arrendataria del espectro y de esta manera cumpla con todos los parámetros de la licencia primaria [19] [20].

Asignación de espectro Dinámico, toma en consideración la forma dinámica de asignar el espectro, debido a esto la eficiencia de espectro mejora, un factor determinante para la asignación dinámica del espectro es el tráfico que se produce en un determinado tiempo y la manera en acceder a los espacios en blancos que se producen cuando se encuentra una porción libre de espectro. En este enfoque se podrá compartir la banda en los distintos sistemas de acceso de radio que se encuentre dentro de los límites del sistema de radio primario.

Permite utilizar diferentes tecnologías debido a la asignación dinámica espacial – temporal, toma en consideración aspectos como el tráfico que se produce en un determinado tiempo, como diferentes dispositivos

podrían acceder a la utilización del espectro sin interferir con otras operadoras o sistemas que se encuentre trabajando en dicha banda, este tipo de sistemas son más eficientes y recomendado su uso en sistemas que brinden servicios de comunicación personal de celular, intervendrían muchos factores para que no existan posibles fallos en el uso de este método como la coordinación entre operadoras para que puedan funcionar de una manera eficiente [19] [20].

Uno de los mayores problemas a solucionar sería la calidad de servicio que presenta este tipo de enfoque y la dificultosa ingeniería que se encuentra detrás de estos servicios para que los dispositivos puedan acceder de manera dinámica al espectro radioeléctrico y no tengan inconvenientes al acceder y afectar otras operadoras o servicios que estén funcionando en ese instante de tiempo [19] [20].

Se toma en cuenta las políticas de asignación de espectro y como este tipo de asignación debería acoplarse a estas, debido a que la forma de acceder al espectro es de una forma dinámica [2].

2.2.2 Modelo de comparación abierta

Este modelo también es conocido como Modelo de Espectro Común, permite que los usuarios pares realicen una compartición abierta, para tomarlas como base y se pueda generar un espacio espectral [19].

Este es un recurso que está conformado por un conjunto de personas o entidades en las cuales no existe licencia, existe un uso libre de espectro y la libertad de acceder a él con cualquier tecnología, donde diferentes tipos de dispositivos pueden acceder. Existen 2 factores a considerar para la utilización de este modelo: un protocolo que se encargue de integrar las diferentes tecnologías que van a ser usadas en este sistema y que exista una detección eficaz de estas reglas mediante mecanismos confiables que controlen el cumplimiento y aplicación en caso de que exista alguna violación a estas reglas [2] [20].

Existen 3 tipos de enfoques de este modelo de compartición abierta: común no controlado en este enfoque ninguna banda tiene exclusividad sobre la licencia, bienes comunes administrados existe una forma limitada de acceder al espectro debido para evitar inconvenientes con bienes comunes de las entidades o personas que estén utilizando este enfoque, común privado que permite el uso de tecnologías avanzadas que permitan acceder de manera gradual al espectro sobre bandas existentes licenciadas, este enfoque es el más alternativo del mercado [19].

2.2.3 Modelo de Acceso Jerárquico.

Este tipo de modelo es aquel que puede ser compartido simultáneamente entre un usuario primario con licencia y un usuario secundario sin licencia, el usuario secundario puede acceder al espectro libremente si no se encuentra ocupado o está parcialmente ocupado por el usuario con licencia. Este tipo de modelo está limitado por el usuario primario debido a que es el que permite el acceso a su licencia. Para este tipo de modelo se toma en consideración 2 tipos de enfoques:

Concurrencia del espectro (Spectrum Underlay), este tipo de acceso restringe de manera severa la potencia de transmisión de usuarios secundarios, de esta forma al trabajar de manera concurrente con los usuarios primarios, la interferencia que existe en el receptor primario va a estar por debajo de un Umbral previamente establecido por el usuario con licencia. Debe existir una previa estimación de la interferencia que va a causarse por parte de un usuario secundario.

Es decir que permitirá que se puedan superponer las transmisiones de usuarios secundarios. Un factor muy determinante para el uso de estos sistemas es tener el control de los niveles de interferencia que pueden causar al momento de interactuar con los espacios en blancos que se forman.

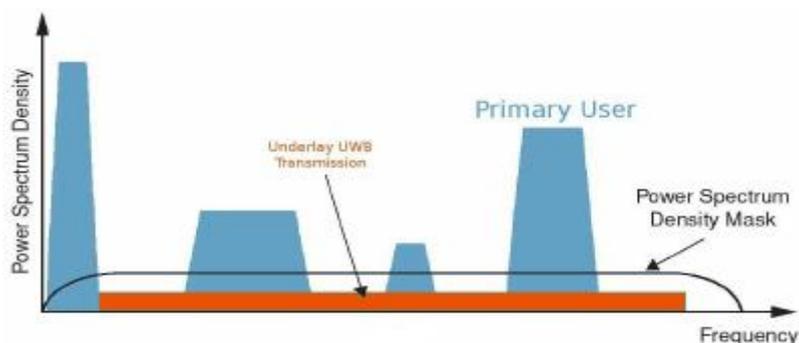


Figura 2.3: Concurrencia del espectro [21]

Como podemos observar en la figura 2.3, los usuarios sin licencia no necesitan identificar las oportunidades de acceder al espectro radioeléctrico, mediante espacios en blancos, sino que pueden transmitir simultáneamente con los usuarios con licencia, pero deben tomar en consideración que no podrán transmitir a niveles alto de potencia, incluso si la Banda RF donde se está transmitiendo se encuentre inactiva, en otras palabras, es que la banda RF no sea utilizada por los usuarios con licencia.

Con este tipo de sistemas se puede transmitir a altas tasas de datos, pero con un corto alcance y baja potencia de transmisión, debido a que podrían causar niveles de ruido alto en la señal si el usuario sin licencia transmitiera a la misma potencia de usuario primario. La limitación que presenta este tipo de sistemas es la poca cobertura que brindan a los usuarios.

Superposición del espectro (Spectrum Overlay), permite aprovechar los espacios en blancos que se forman en un dominio tiempo-espacio, para que usuarios secundarios, para que puedan acceder a brechas espectrales que se forman a partir de los usuarios primarios. Es decir, este tipo de enfoque no tiene muchas exigencias respecto a los niveles de potencia de transmisión, pero si toma en consideración que tanto puede transmitir en un determinado tiempo, por esta razón en un determinado tiempo y frecuencia el usuario secundario que no posee licencia podrá

acceder de una forma dinámica al espectro siempre que el usuario primario no esté usando dicha frecuencia.

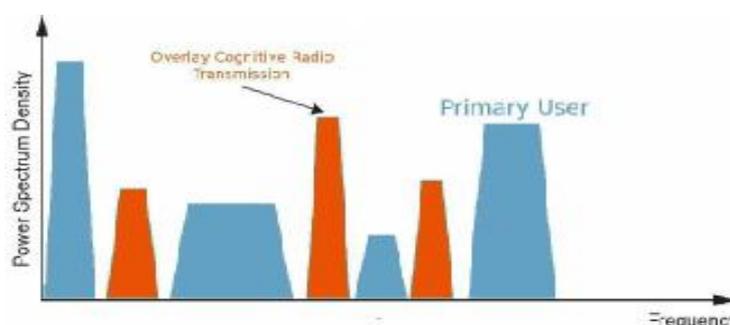


Figura 2.4: Superposición de espectro [21]

El enfoque de superposición de espectro también es conocido como OSA (Acceso Oportunista al espectro) como podemos observar figura 2.4, los usuarios secundarios buscan brechas espectrales o conocidos como espacios en blancos(White Spaces), donde previamente se ha realizado un sensado del espectro para poder monitorear las actividades de los usuarios primarios en la banda, mediante el uso de detección de espectro y asignación adaptiva los usuarios secundarios aprovechan dichas brechas, en un determinado espacio, tiempo y frecuencia, el uso de estos espacios en blanco dependerá exclusivamente de las condiciones que brinde el usuario primario como la existencia de que ambos transmitan al mismo tiempo y exista una probabilidad de choque o colisión entre ambos usuarios [2] [21].

2.3 Características de Radio cognitiva

El uso que se le da actualmente al espectro radioeléctrico que se da a usuarios con licencia se realiza de una manera ineficiente debido a políticas de asignación fija de frecuencia. Las políticas de regulación del espectro son las que contribuyen a las limitantes de espectro que existen hoy en día. Esto ocasiona que ciertas bandas de frecuencia estén totalmente congestionadas, mientras que en otras de frecuencia el espectro radioeléctrico se encuentre parcialmente usado o sin

utilización, la demanda que existe del espectro hoy en día es prioritaria debido al crecimiento de nuevas tecnologías y servicio de comunicación inalámbrica.

El crecimiento de bandas libres de hoy en día, ha permitido el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan a usuarios no licenciados, a utilizar el espectro de manera más eficiente, coordinada y oportuna, sin que exista una afectación de los servicios ya existente [6].

La Radio cognitiva es una tecnología que nos permite usar de una manera más eficiente el espectro radioeléctrico, a su vez ayudar a la implementación de nuevos servicios inalámbricos y cubrir las necesidades actuales de los usuarios.

Las Organizaciones Internacionales que se encargan de establecer normativas para la utilización del espectro son constantemente presionadas para un uso eficiente de las mismas, pero debido a que deben mantener cierta flexibilidad para de esta forma permitir desarrollo e innovación tecnológica no pueden cumplir con todas las exigencias de parte de las operadoras y exista una aplicación a nivel global que permita ofrecer un servicio que pueda utilizarse en cualquier parte del mundo. Es necesario que para que exista una agrupación de diferentes tecnologías no solo deber tomarse en consideración la parte de hardware de los sistemas sino también el software que es aquel que nos permite que pueda existir la comunicación [22].

Por otro lado, los protocolos en las capas de niveles superiores del modelo OSI (Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos) son los que permiten la comunicación de datos, dado que la comunicación de capa física (hardware), está vinculada con la capa de aplicación (software), pero deben requerir de servicios y funciones de las capas intermedias para poder pasar de un nivel a otro.

Cuando empezó la evolución de tecnología de redes celulares 2.5G, 3G, 4G, se presentó un gran inconveniente con respecto a la compatibilidad de muchos servicios inalámbricos a nivel mundial. Lo que permitió el desarrollo de tecnologías como el SDR, que permite el desarrollo e integración de diferentes arquitecturas de comunicación.

En los años 90 el desarrollo del de SDR, ha ayudado a que la tecnología de radio cognitiva pueda introducirse en el mercado y empiece a tomarse en consideración en varios sistemas de comunicación.

Radio Definida por Software (SDR) que fue presentado por Joe Mitola en 1991, donde su investigación nos muestra la gran apertura que existe para poder adaptarse a los diferentes sistemas de comunicación inalámbricas mediante software, es decir que permite adaptarse a las diferentes variaciones de radiofrecuencia que existen en su entorno en tiempo real, variando ciertos parámetros con lo que opera como potencia de transmisión, modulación de trabajo, ancho de banda, etc. Con la finalidad de usar de manera eficiente el espectro y que exista una comunicación confiable.

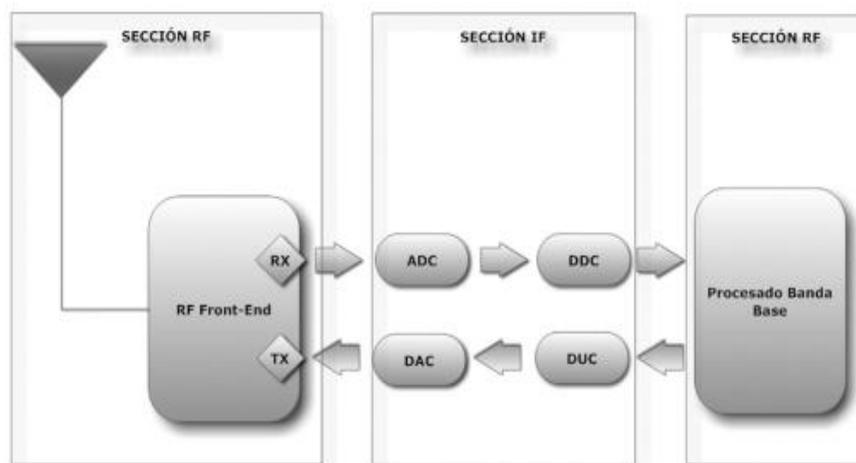


Figura 2.5: Estructura de un SDR [23]

La estructura básica de un SDR como podemos observar en la figura 2.5, está compuesta por 3 bloques. La etapa de RF es la que permite transmitir/recibir las señales de radiofrecuencia, en el caso de transmitir, amplifica y modula la señal IF para que puedan ser transmitidas vía radio, en el caso de recepción convierte las señales de radiofrecuencia en frecuencias intermedias [23].

El SDR tuvo su primera implementación mediante un proyecto militar estadounidense conocido como SpeakEasy, que tenía como objetivo implementar más de diez tecnologías inalámbricas con un solo equipo

programable, donde el código podía ser mejorado para el uso de futuras tecnologías, otra de las implementaciones fue un programa del departamento estadounidense el Joint Tactical Radio Systems(JTRS), que permite el desarrollo de sistema de radiocomunicaciones reconfigurable vía software que son capaces de soportar diferentes tipos de modulaciones y sistemas múltiples de banda, modo y canal.

La plataforma más popular desarrollada con la tecnología SDR es conocida como GNU Radio, que es un conjunto de herramientas que permiten el procesamiento de señal y el control de hardware.

2.3.1 Radio cognitiva

La radio cognitiva es una tecnología usada para la administración de redes y de servicios inalámbricos, que gestiona de una manera eficiente el uso del espectro radioeléctrico. Es decir, permite la interacción con el entorno permitiendo a la radio cambiar sus parámetros, y aprovechar de una manera oportunista al espectro.

Esta tecnología es una forma de comunicación inalámbrica en donde el transmisor-receptor, detecta los canales de comunicación y se adapta a ellos de una forma oportunista, es decir usa canales que no están siendo empleados, de esta manera evita causar interferencia con canales que se encuentran ocupados. Esto ayuda a la optimización del espectro de radio frecuencia, permitiendo baja interferencia entre los usuarios licenciado y no licenciados. Estos cambios de parámetros se dan en base al comportamiento de los usuarios que poseen la banda licenciada, potencia de transmisión, y de la disponibilidad del espectro en un determinado tiempo.

Hay varios tipos de radio cognitiva, los cuales toman en consideración los parámetros a la hora de transmitir o recibir información, además de los espacios de espectro disponible en un tiempo determinado, estos son:

Radio cognitiva completa se toma en consideración los diferentes parámetros observados en el entorno a la hora de transmitir o recibir información.

Radio cognitiva detectora del espectro únicamente toma como enfoque al espectro radioeléctrico.

Radio cognitiva de banda bajo licencia es donde la radio cognitiva usa bandas asignadas a usuarios bajo licencia, incluyendo las bandas de acceso libre como la banda UNI y la ISM, uno de sus estándares más utilizados es el IEEE 802.15.

Radio cognitiva de banda de acceso libre es donde la radio cognitiva solo puede utilizar las bandas de acceso libre de frecuencia, podemos considerar el estándar IEEE 802.19 como bandas de libre utilización.

Algunas de las aplicaciones que se le pueden dar a la radio cognitiva es la creación de redes emergentes, la alta capacidad de aumento de redes WLAN. Como objetivo principal tiene el propósito de poder integrar una cobertura global que esté libre de interferencias. Para lograr esto debe tomar en consideración las siguientes características como conocer el entorno en el que está operando mediante técnicas de Spectrum Sensing, variar sus parámetros de transmisión y recepción dependiendo de los requerimientos de ancho de banda en un espacio-tiempo determinado, operar con distintos sistemas de comunicación, adaptarse a los diferentes tipos de modulación dependiendo de características de canal y los requerimientos del usuario, potencia de transmisión manteniendo los niveles de transmisión adecuados sin causar algún tipo de interferencia con otros usuarios, tomar en cuenta protocolos de comunicación y el uso de un modelo estadístico para la predicción de canales disponibles en un determinado tiempo-espacio.

Con el despliegue del CR, estos pueden ser capaces de descargar actualizaciones de software, de esta manera pueden colaborar entre si y compartir recursos de hardware y software [22].

2.3.2 Arquitectura de radio cognitiva

La arquitectura de radio cognitiva es una plataforma independiente, que está conformada por un paquete de algoritmos, como se puede observar en la figura 2.6, conocido como motor cognitivo, donde este posee una interfaz general de Radio. El motor cognitivo toma en consideración, la creación de soluciones optimas de adaptación al ambiente, conciencia y razonamiento.

El SDR es un elemento fundamental como plataforma para la CR porque proporciona una funcionabilidad de radio muy flexible, que evita el uso de circuitos analógicos y componentes fijos. Por este motivo la radio cognitiva debe de ser desarrollada alrededor del SDR que es el núcleo que permite el funcionamiento de esta.

El motor cognitivo es el encargado de la optimización del SDR, tomando en consideración algunos parámetros de entrada como los que detectan el entorno de trabajo del radio, condiciones en la que se encuentra la red y los usuarios que están trabajando en dicha red.

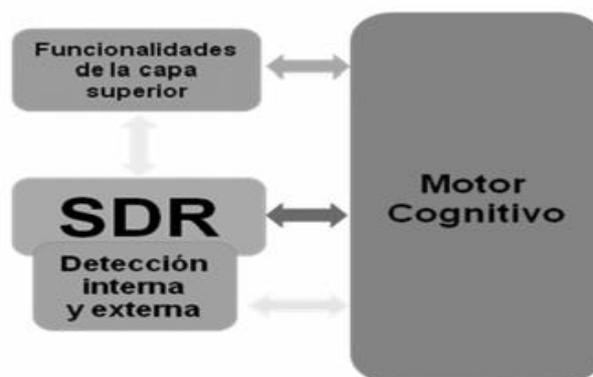


Figura 2.6: Modelo Conceptual del SDR [23]

El paquete de software llamado motor cognitivo, es utilizado para la radio cognitiva que permite la adaptabilidad de plataformas de radios para que estas puedan ser reconfigurables.

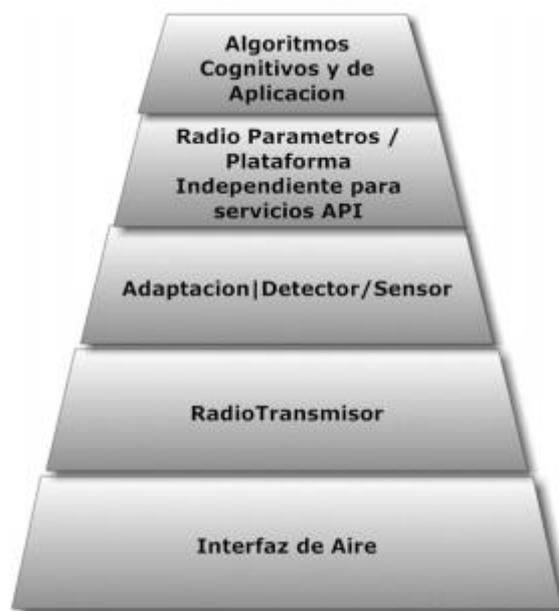


Figura 2.7: Modelo de un Sistema de Radio Cognitiva [23]

Como podemos observar en la figura 2.7, el motor cognitivo le da a la radio funcionalidades cognitivas que permite los procesos de hardware con la radio operación. Es decir, se encarga de manejar los recursos y adapta la operación de radio para que optimicen las funciones.

2.3.3 Estandarización y regulación de la radio cognitiva

En la actualidad se está tratando de acelerar procesos que ayuden a regular el uso del espectro, para que este sea utilizado de una manera eficiente, dentro de esto tenemos muchas instituciones involucradas en la regulación del mismo como: Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), Instituto de Ingeniero Eléctrico y Electrónicos (IEEE) [6].

En la banda de acceso libre, diferentes dispositivos deben de tener la capacidad de coexistir dentro del mismo canal, tomando en consideración

que estos trabajan en protocolos de comunicación diferentes. Existen estándares como el WiFi (IEEE 802.11), ZigBee (IEEE 802.15.4), WiMAX (IEEE 802.16), que comparten similitudes con técnicas de acceso dinámico al espectro, que ayudan a la coexistencia de diferentes dispositivos.

La tecnología de radio cognitiva que permite la detección de espectro desocupado, ayudo al desarrollo del primer estándar (IEEE 802.22), como se observa en la figura 2.8, donde se da utilización a las bandas de TV analógicas que no están siendo aprovechadas en su totalidad, debido a la migración que existe de TV analógica a TV digital. Es un estándar que será utilizado para redes inalámbricas de área regional, donde se basaran en construcción de redes WRAN punto-multipunto, usando las bandas de televisión analógica UHF – VHF (54MHz-862MHz).

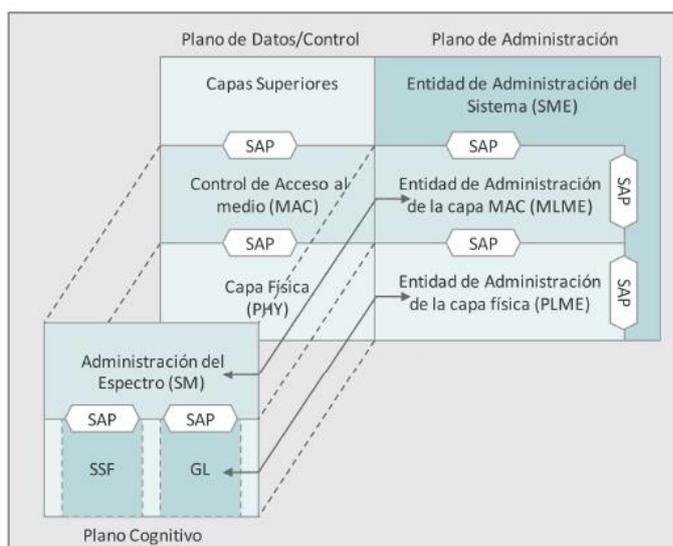


Figura 2.8: Arquitectura del protocolo IEEE 802.22 [6]

En el caso de estandarización por parte de la IEEE estas son llevadas a cabo por el Comité de Coordinación de Estándares (SCC). La IEEE 822.22 propone el uso de bandas de TV, donde se utiliza una interfaz fija punto-multipunto, donde la estación base estará encargada del control de la celda y de los usuarios a los que se denomina CPE (Consumer Premise Equipements). La estación base será la encargada de realizar el Spectrum

Sensing, permitiendo al usuario tomar las medidas necesarias para permanecer en la celda de dicha radio base.

La estandarización IEEE 802.22 inicio a partir del 2002, teniendo en consideración la capacidad de una mayor cobertura de las estaciones base. Actualmente se realizan trabajos en el proceso de estandarización, que permitan operar en bandas asignadas a sistemas de televisión, donde se especifican estándares para desocupar un canal ante la presencia de las siguientes señales:

TV digital: -116 dBm sobre un canal de 6MHz.

TV analógica (NTSC): -94dBm en el pico de portadora.

Micrófonos inalámbricos: -107dBm con un ancho de banda de 200KHz.

Para que se pueda operar en las bandas asignadas a los sistemas de televisión se requiere una probabilidad de detección mayor al 90% y probabilidad de falsa alarma menor al 10%. Los usuarios secundarios deben detectar señales entre los umbrales de -116dBm y -94dBm para los sistemas de TV tanto analógicos como digitales, en el caso de dispositivos inalámbricos como cámaras y teléfonos inalámbricos, se requiere un umbral de detección de -107dBm. Las estaciones base serán las encargadas de indicar la presencia de estos dispositivos transmitiendo periódicamente señales, para de esta forma detectarlos.

Para disminuir la interferencia en el canal, el protocolo IEEE 802.22 se maneja mediante tablas de ocupación de espectro las mismas que serán actualizadas a través de un software, debe tomarse en consideración la potencia de transmisión e interferencias que puedan causar a bandas adyacentes.

2.4 Distribución de bandas para la operación de la señal de televisión abierta

El Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá (IDRC) por sus siglas en inglés, es el encargado de financiar el proyecto de investigación sobre el uso del espectro, que pertenece a la Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (APC). Este proyecto ayuda a comprender de una mejor forma

las normativas de regulación del espectro radioeléctrico en África, Asia y América Latina. Tiene como objetivo dar a conocer el verdadero alcance de la escasez de espectro tomando en cuenta el avance de nuevas tecnologías y protocolos con los que se transmiten.

Estos estudios han sido realizados en países como Argentina, Ecuador, Perú, Venezuela, Colombia. Con el fin de determinar qué factores influyen. Tenemos que tomar en consideración la infraestructura que es un factor determinante para universalización del ancho de banda, la participación de la sociedad con respecto a la distribución del espectro radioeléctrico y finalmente el avance de nuevas tecnologías que ayuden a aprovechar de una manera adecuada el espectro, ya sea por un uso secundario del mismo o una subutilización [22].

El servicio de internet fijo y móvil en el año 2011 alcanzaba casi el 30% de la población, dado que el 2006 ocupaba un 6% se puede observar un incremento de 5 veces su valor porcentual, la telefonía móvil actualmente en el área urbana posee una gran cobertura.

El espectro radioeléctrico en el Ecuador es regulado por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) y su ente de fiscalización y monitoreo es la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL).

2.4.1 Atribución de espectro radioeléctrico en América Latina

La Unión Internacional de Telecomunicaciones es la encargada de la atribución del espectro en un país determinado. La atribución del espectro va entre los 50 MHz y 6GHz, este ancho de banda distribución es utilizado para las aplicaciones de radio FM, Televisión y la transmisión de datos.

La distribución de TV en Latinoamérica está dada de la siguiente manera 54MHz - 216 MHz para los canales del 2 al 13 (VHF) y de 470MHz a los 890MHz para los canales del 14 al 83 (UHF), los canales 52 al 83 están atribuidos para servicios móviles terrestres y para tecnología LTE.

Los anchos de banda de TV analógica que en un futuro no serán utilizados por la migración que existirá a TV digital van desde los 47MHz - 68MHz, de los 174MHz – 230MHz (VHF) y de los 470MHz – 862MHz (UHF).

Respecto a los espacios en blancos para TV que son los canales de separación que existe en cada región para eliminar interferencia entre los canales activos, aun no se conoce que criterio se dará para la asignación de espectro. Cabe destacar que estos espacios formados en TV analógica en la TV digital ya no existen [24].

Debido a la implementación de TV digital y la tecnología de Radio Cognitiva puede llegar a realizarse un uso eficiente del espectro radioeléctrico por parte de usuarios secundarios que quieran acceder a este ancho de banda que está parcialmente utilizado o a la utilización de espacios en bancos o conocidas como frecuencias libres para un uso automático de ellas.

Los canales de TV analógica ocupan un ancho de banda de 6MHz, en nuestra región. Haciendo uso de tecnologías avanzadas para transmisión digital se pueden alcanzar densidades de datos aproximadamente de 15 bits por Hz. En teoría, podría enviarse 90 Mbps en los 6 MHz que nos proporciona un canal analógico, que podría a dar paso al uso de nuevas tecnologías.

Las frecuencias utilizadas por WiFi (2.4GHz) son 4 veces menor a las utilizadas por la frecuencia de TV analógica (700 MHz), lo que permite que exista una mayor cobertura de área, lo que sería primordial para el uso en zonas rurales, debido a que la afluencia de gente es menor y su costo/beneficio sería crucial, ya que necesitaría un menor número de radio bases para obtener una mayor cobertura [25].

2.4.2 Sistemas de Televisión usados en Ecuador

El sistema de telecomunicaciones que ha sufrido un mayor impacto en la sociedad es la televisión. Los cambios que podemos notar en este sistema es la migración de la TV analógica a la TV digital donde hemos podido notar desde las pantallas a blanco y negro hasta los sistemas de alta definición que tenemos hoy en día.

En la actualidad la televisión se encuentra en un proceso de migración, dando paso a nuevas tecnologías que darán muchos más beneficios para los usuarios. Siguiendo esta tendencia Ecuador ha decidido modificar su sistema de transmisión de televisión abierta analógica a digital. Esto se ha dado de una manera moderada para que no exista una afectación total al usuario. Ecuador se encuentra actualmente en un periodo simulcast, que permite enviar tanto la señal analógica como digital durante un determinado espacio-tiempo. Se tiene previsto que para el 2018 se complete el periodo de transición de televisión analógico-digital. Podemos observar los canales de radiodifusión de TV Abierta en la Tabla 2 y Tabla 3.

2.4.3 Estándar analógico de TV en Ecuador

Es propuesto por el Comité Nacional de Servicios de Televisión (NTSC, por sus siglas en inglés), usado para la transmisión de televisión a color en señal abierta a través de modulaciones analógicas. Ocupa aproximadamente un total de 6 MHz de ancho de banda.

El sistema NTSC consta de 2 componentes como se observa en la figura 2.9:

Video la cual está conformada por señales portadoras de Luminancia, color. Donde la primera indica la intensidad de luz, mientras que la segunda fija el color de las mismas. El conjunto de señales que conforman la señal de video ocupa un ancho de 4.2 GHz.

Audio el sonido usa un tipo de señal FM, que solo ocupa aproximadamente 0.25MHz.

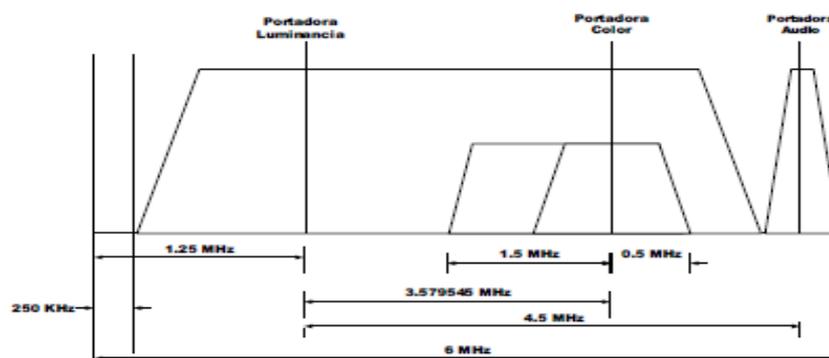


Figura 2.9: Espectro de señal de televisión NTSC [2]

2.4.4 Estándar digital de TV en Ecuador

El estándar utilizado para televisión digital en el Ecuador es ISDB-Tb (Integrated Services Digital Broadcasting), mediante esta tecnología puede incursionarse en el desarrollo de nuevos servicios, en comparación a la televisión analógica destacamos:

Ancho de Banda Optimizado nos permite transmitir varias señales simultáneas con el mismo ancho de banda que poseemos con el de la televisión digital (6MHz), la Televisión Digital Terrestre, permite transmitir en canales adyacentes.

Calidad de imágenes son mucho mejor respecto a las que se tenían en la televisión analógica, pero varían respecto a los requerimientos de la red.

Optimización de potencia y supresión de interferencia el consumo de potencia es mucho más bajo. Sus modulaciones, codificaciones y sistemas de reducción de interferencia permiten la disminución de interferencias.

BANDA DE FRECUENCIA	CANAL	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)	PORTADORA DE VIDEO (MHz)	PORTADORA DE AUDIO (MHz)
UHF IV (470-482) MHz	14	470-476	471,25	475,25
	15	476-482	477,25	481,25
UHF IV (512-608) MHz	21	512-518	513,25	517,25
	22	518-524	519,25	523,25
	23	524-530	525,25	529,25
	24	530-536	531,25	535,25
	25	536-542	537,25	541,25
	26	542-548	543,25	547,25
	27	548-554	549,25	553,25
	28	554-560	555,25	559,25
	29	560-566	561,25	565,25
	30	566-572	567,25	571,25
	31	572-578	573,25	577,25
	32	578-584	579,25	583,25
	33	584-590	585,25	589,25
	34	590-596	591,25	595,25
35	596-602	597,25	601,25	
36	602-608	603,25	607,25	
UHF IV (614-644) MHz	38	614-620	615,25	619,25
	39	620-626	621,25	625,25
	40	626-632	627,25	631,25
	41	632-638	633,25	637,25
	42	638-644	639,25	643,25
UHF V (644-698) MHz	43	644-650	645,25	649,25
	44	650-656	651,25	655,25
	45	656-662	657,25	661,25
	46	662-668	663,25	667,25
	47	668-674	669,25	673,25
	48	674-680	675,25	679,25
	49	680-686	681,25	685,25
	50	686-692	687,25	691,25
	51	692-698	693,25	697,25

Tabla 2: Canales de Radiodifusión de TV Abierta - UHF [26].

BANDA DE FRECUENCIA	CANAL	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)	PORTADORA DE VIDEO (MHz)	PORTADORA DE AUDIO (MHz)
VHF I (52-72) MHz	2	54-60	55,25	59,25
	3	60-66	61,25	65,25
	4	66-72	67,25	71,25
VHF I (76-88) MHz	5	76-82	77,25	81,25
	6	82-88	83,25	87,25
VHF III (174-216) MHz	7	174-180	175,25	179,25
	8	180-186	181,25	185,25
	9	186-192	187,25	191,25
	10	192-198	193,25	197,25
	11	198-204	199,25	203,25
	12	204-210	205,25	209,25
	13	210-216	211,25	215,25

Tabla 3: Canales de Radiodifusión de TV Abierta - VHF [26].

2.4.5 Situación actual de espacios en blancos de televisión en el Ecuador.

El uso que se le da a las bandas concesionadas por usuarios con licencia no es usado eficientemente. Por tal motivo la banda que no es utilizada por un tiempo determinado y esta para libre acceso se la denomina espacios en blancos [27].

Existen estudios realizados que permiten determinar la disponibilidad de espectro. Esos estudios indican que hay porciones de espectro de TV que no son utilizados y ha captado la atención de parte de la comunidad científica debido a sus excelentes características de propagación y además el uso de Radio Cognitiva permitirá la utilización de ese espectro, que permitirán que los entes reguladores puedan darle el mejor uso y de esta manera disminuir la escasez de espectro que existe en la actualidad como se puede observar en la figura 2.10.

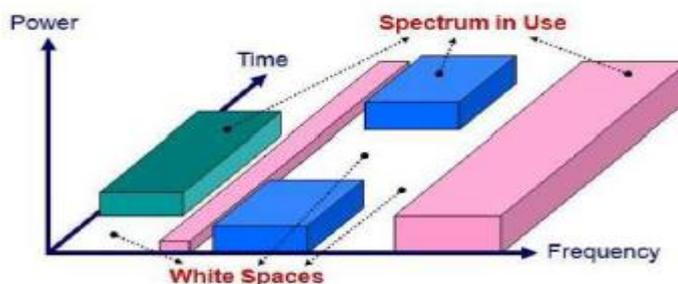


Figura 2.10: Espacios en blanco en señales de TV [22].

El concepto de espacios en blancos puede ser utilizado en 3 diferentes formas:

El espectro que es asignado a la emisión de televisión que actualmente no se utiliza porque se está migrando de Televisión análoga-digital.

El espectro libre que existe entre canales adyacentes para evitar interferencia, actualmente no se le da ningún tipo de uso.

El espectro recuperado al hacerse efectivo por completo el cambio a Televisión Digital Terrestre. Esto actualmente está vigente en países desarrollados, pero se está ejecutando un plan para países en vía de desarrollo.

2.5 Cadenas de Markov

Una cadena de Markov pertenece a un tipo específico de Proceso estocástico en el ámbito de procesos probabilísticos. Son comúnmente usados en el ámbito de la investigación u operación que ayudaran a describir y predecir el comportamiento de diferentes sistemas, que se rigen bajo ciertas condiciones a través del tiempo.

Este tipo de proceso resulta muy adecuado para modelar dinámica de poblaciones, sistemas de control de inventario, entre otros.

Es muy usado en la parte de medicina e Ingeniería especialmente en la rama de telecomunicaciones donde actualmente se realizan estudios para poder solucionar el problema de tráfico espectral y de esta manera tratar de

descongestionar las redes o ampliar el ancho de banda de estas para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Existen estudios realizados anteriormente, donde se lo utiliza para medir el tráfico de redes ATM dentro de un ancho de banda en específico, pero para esto es necesario saber el comportamiento estadístico de la fuente que se va a medir sea esta voz, audio, datos [28]. Otra de las aplicaciones de procesos de cadenas de Markov es en el campo de la medicina, podemos citar el ejemplo trabajos realizados por Aikawa que mide el efecto que provoca una determinada droga en la permanencia dentro de su sistema.

Los estados de cadena de Markov están definidos por estados transitorios y recurrentes. Los estados transitorios suceden cuando durante un proceso se entra a un estado, pero dicho proceso nunca regresa al estado anterior, en cambio los estados recurrentes si dentro de un proceso se entra a un estado, pero dicho proceso siempre regresa a su estado anterior, se puede concluir entonces que un estado solo puede ser concurrente o transitorio en un determinado tiempo [29].

En este trabajo en particular utilizaremos y formularemos las cadenas de Markov para poder encontrar la disponibilidad de n canales conjuntos en un determinado tiempo-espacio, para que mediante dispositivos OSA estos puedan acceder a espacios espectrales y poder mitigar de cierta forma la escasez de espectro que existe en la actualidad, además del uso de nuevas tecnologías que podrían darse al tener un uso más eficiente del mismo. La utilización de este modelo es debido a que permite modelar y predecir espacios en blancos. En un estudio realizado anteriormente se realizó un modelamiento markoviano donde se predecía las brechas espectrales de sistemas DCS, ISM e TETRA, ya que permite predecir el comportamiento estadístico donde la banda se encuentra libre u ocupada y de esta manera saber la disponibilidad del espectro en un determinado tiempo-espacio.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DEL ALGORITMO DE DISPONIBILIDAD.

En los primeros capítulos se detalló los antecedentes, el estado del arte, la propuesta de mejora de los problemas que actualmente se tienen con el uso del espectro y los vacíos mal utilizados del mismo, se procederá a la descripción detallada del escenario donde se realizará el estudio.

Dentro de este capítulo se describirá el escenario, las variables determinadas, el tratamiento de los datos los cuales se han dividido en tres partes:

- Con la matriz de Potencias se determinará la disponibilidad de cada canal según un umbral determinado (threshold) en cada uno de los pisos en donde se realizaron las medidas.
- Con la matriz binaria de disponibilidad se agruparán los n canales conjuntos adyacentes disponibles.
- Se calculará el porcentaje de acierto de predicción de disponibilidad usando cadenas de Markov para cada piso en donde se realizaron las medidas.

3.1 Descripción General del escenario

Los datos utilizados para realizar este estudio fueron tomados en las instalaciones de una edificación comercial del norte de la Ciudad de Guayaquil con una alta densidad de usuarios. En la figura 3.1 se refleja que los datos fueron tomados en tres lugares estratégicos: Piso 1, Piso 9 y Piso 16.

Una de las principales características de la propagación de señales en espacios interiores es el desvanecimiento de la señal, esto debido a la presencia de paredes, ventanas, muros, puertas, equipos de oficinas, etc. que obstaculizan la línea de vista entre el transmisor y el receptor.



Figura 3.1: Lugares estratégicos de la toma de datos.

Las frecuencias tomadas van desde el canal 19 hasta el canal 49 (Banda UHF-TV), obteniendo en promedio 62000 datos.

Número de muestras aproximadamente	62000
Número de pisos analizados	3
Canal mínimo	19
Canal máximo	49
Umbral mínimo de análisis	-85 dBm
Umbral máximo de análisis	-60 dBm
Canales conjuntos mínimos	2
Canales conjuntos máximos	10

Tabla 4: Variables Generales del escenario.

En la Tabla 4 se muestran las variables generales del escenario, se puede notar que tenemos un total de 620000 muestras, el rango de los canales analizados va desde el 19 hasta el 49 de la banda de televisión UHF-TV, el umbral con el que se va a comparar la potencia de los canales va desde -85 dBm hasta -60 dBm, se analizará el comportamiento de la disponibilidad de canales conjuntos adyacentes que van desde los 2 hasta 10 canales conjuntos adyacentes.

3.2 Algoritmo predictivo de la disponibilidad de canales conjuntos adyacentes

Ya conocida las variables generales del estudio, se determinará el modelo matemático para comparar la potencia de cada canal con el umbral determinado.

$$\varphi_i = \begin{cases} 1; & Y_i \leq \lambda \\ 0; & Y_i > \lambda \end{cases} \quad (3.1)$$

En la ecuación 3.1 la variable φ_i representa la disponibilidad del canal, Y_i representa la potencia del canal en el instante i , λ representa el umbral (Threshold) con el que se va a comparar la potencia de cada canal, esto nos permite determinar si el canal está disponible para ser usado $\varphi_i = 1$ o se encuentra ocupado $\varphi_i = 0$.

En la figura 3.2 se muestra el diagrama de flujo del código utilizado para determinar la disponibilidad de canales de acuerdo a un umbral determinado.

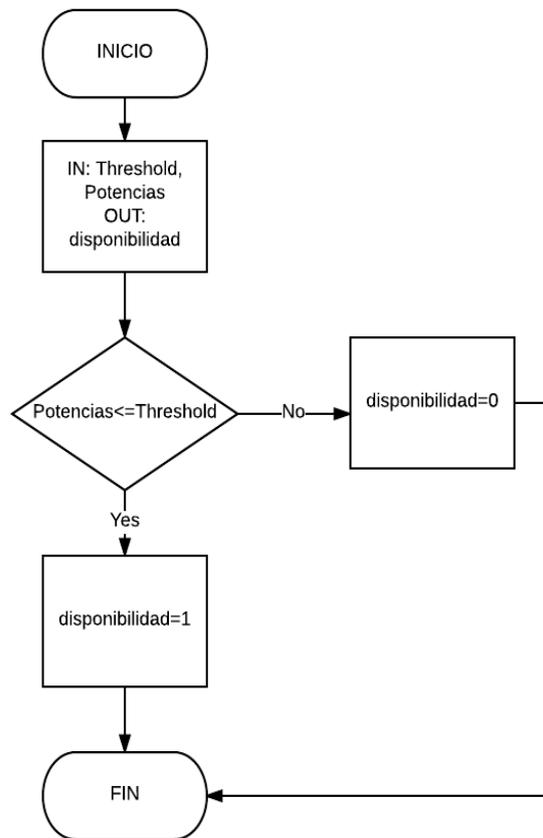


Figura 3.2: Diagrama de flujo de disponibilidad de canales según un umbral determinado.

3.3 Disponibilidad de n canales conjuntos

Una vez determinada la disponibilidad para cada canal, se agruparán de acuerdo al número de canales conjuntos deseados, el mismo que es determinado por la tecnología que se desea transmitir por ejemplo 2 canales para tecnología LTE o 5 canales para tecnología WIFI.

En la ecuación 3.2 y la Tabla 5 se muestra la manera de calculará un vector binario al cual llamaremos disponibilidad de n canales conjuntos adyacentes X_i determinado de la siguiente manera:

$$X_i = \begin{cases} 1; & \text{hay al menos un } n \text{ canales conjuntos adyacentes} \\ 0; & \text{si no hay } n \text{ canales conjuntos adyacentes} \end{cases} \quad (3.2)$$

En donde la disponibilidad de n canales conjuntos adyacentes será 1 si en la matriz binaria disponibilidad existe al menos n canales conjuntos adyacentes caso contrario será 0.

	Disponibilidad de canales conjuntos	canal n	canal n+1	canal n+2	canal n+3	canal n+4	canal n+5	canal n+6
2 canales	1	1	1	0	1	1	1	0
3 canales	1	1	1	1	1	0	0	0
4 canales	0	0	0	1	1	1	0	0

Tabla 5: Ejemplo de cálculo de la disponibilidad para 2, 3 y 4 canales conjuntos.

Debido a la regresión lineal de la cual proviene la variable X_i , esta sigue una distribución tipo Bernoulli con probabilidad de éxito p igual a:

$$p = P(X_i \leq \lambda) \quad (3.3)$$

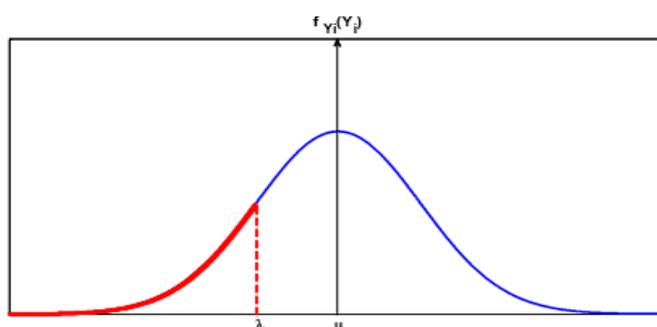


Figura 3.3: Función de densidad de probabilidad de la potencia recibida

Se puede ver en la figura 3.3, que el área bajo la curva representa que la probabilidad de n canales conjuntos X_i sea menor que el umbral Y . Esta probabilidad se puede obtener a través de la función acumulada de la PDF Gaussiana

$$P(X_i \leq \lambda) = P(Z_i \leq \frac{\lambda - \mu}{\sigma}) \quad (3.4)$$

La ecuación 3.4 determina la función probabilística referente al estado del canal, es posible obtener el modelo estocástico que permita representar la disponibilidad de n canales conjuntos en un lapso de tiempo, en la ecuación 3.5 se muestra la manera de realizarlo.

$$\Omega_j = \frac{\sum_{n=1}^{N_s} \varphi^i}{N_s} \quad (3.5)$$

La variable Ω_j representa la disponibilidad de n canales conjuntos en un lapso de tiempo. A través de este cálculo nos permite conocer la probabilidad de que n canales conjuntos adyacentes estén disponibles en un intervalo de tiempo determinado.

La figura 3.4 muestra el diagrama de flujo del código con el que se calcula el vector binario M que es la disponibilidad de los n canales conjuntos adyacentes, el cual servirá para calcular el porcentaje de acierto de predicción usando cadenas de Markov.

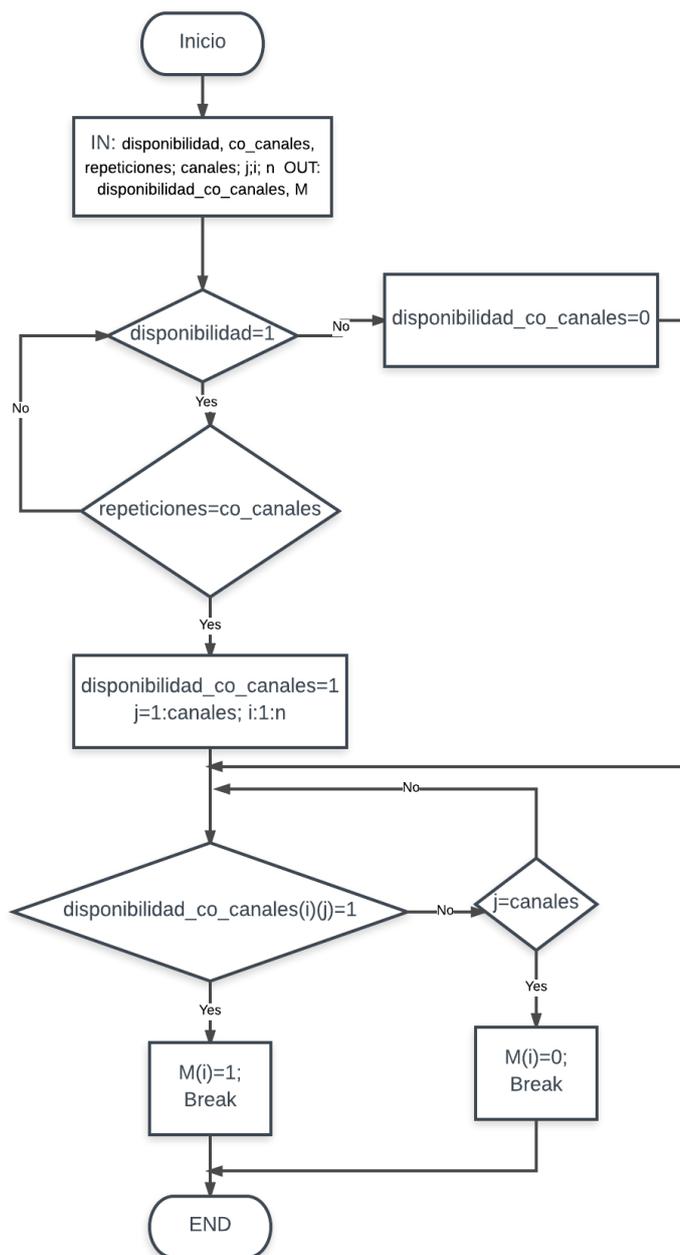


Figura 3.4: Diagrama de flujo de disponibilidad de n canales conjuntos adyacentes.

3.4 Modelo predictivo usando Cadenas de Markov.

Dado el modelamiento estocástico de los datos, se puede crear el modelo predictivo utilizando Cadenas de Markov.

Este modelo se realizará a base de cadenas de Markov de primer orden debido a las características que posee. Se asume que la variable a utilizar tiene la siguiente característica:

$$P[X_{j+1} = W | X_0 = S_0, X_1 = S_1 \dots X_j = S_j] = P[X_{j+1} = W | X_j = S_j] \quad (3.6)$$

La ecuación 3.6 muestra la propiedad de Markov, la cual indica que la probabilidad que la variable X valga W depende de su estado anterior únicamente.

Particularmente para este caso se utilizará dos estados P_0 y P_1 ; donde P_1 representa el estado disponible y P_0 el estado ocupado.

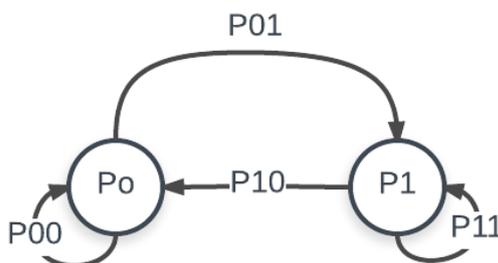


Figura 3.5: Diagrama de transición de una cadena de Markov

La figura 3.5 muestra el diagrama de transiciones de la cadena markoviana, en donde se muestran los parámetros de Markov en la matriz de transición dada en la ecuación 3.7.

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

En las ecuaciones 3.8 y 3.9 se observan los valores de transición de pasar de un estado a otro o de quedarse en el mismo estado en el siguiente instante de tiempo. De forma general se obtiene la probabilidad de transición de la siguiente manera:

$$P(X = P_0) = \frac{P_{10}}{P_{01} + P_{10}} = \Omega \quad (3.8)$$

$$P(X = P_1) = \frac{P_{01}}{P_{01} + P_{10}} = 1 - \Omega \quad (3.9)$$

Como se puede notar la probabilidad se reduce a estar en el estado P_0 en un instante de tiempo y su complemento sería la probabilidad de estar en el estado P_1 , de esta manera la matriz de transición se reduce a la ecuación 3.10:

$$P = \begin{bmatrix} \Omega & 1 - \Omega \\ \Omega & 1 - \Omega \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

De esta forma queda demostrado que la matriz de transición está relacionada con la disponibilidad de los n canales conjuntos y basta con encontrar Ω para poder determinar la misma utilizando la ecuación 3.11:

$$\Omega_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} \phi_i}{N_s} \quad (3.11)$$

Finalmente se calcula el porcentaje de acierto de predicción de las cadenas de Markov, se analizará para muestras $n=100$ y con un tiempo de Actualización $N_s=2000$, en la figura 3.6 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo utilizado para el cálculo del mismo.

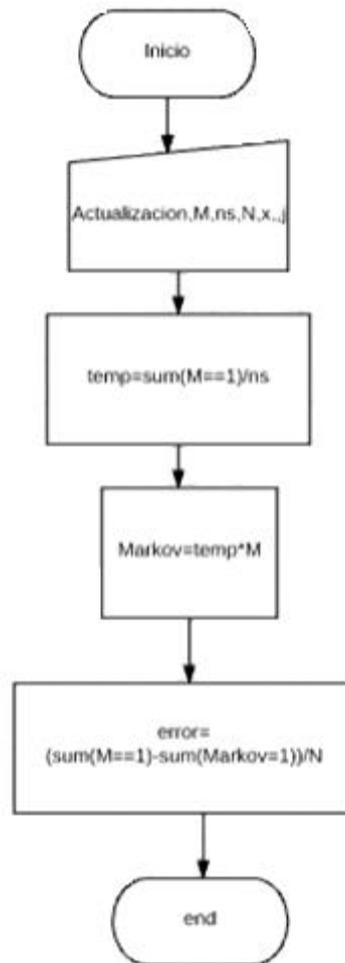


Figura 3.5: Acierto de predicción de las cadenas de Markov

CAPÍTULO 4

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Disponibilidad de n canales conjuntos adyacentes para cada uno de los pisos

Una vez ejecutado el algoritmo desarrollado en el capítulo 3 para la predicción de la disponibilidad de n canales conjuntos adyacentes se procede a realizar un análisis del comportamiento para los diferentes canales conjuntos en el rango de umbrales (-85 dBm a -60 dBm) en el piso 1, piso 9 y piso 16.

En la figura 4.1 se muestra la CDF de la disponibilidad para cada uno de los umbrales analizados en la planta baja del edificio de la zona densa de la ciudad de Guayaquil Piso 1.

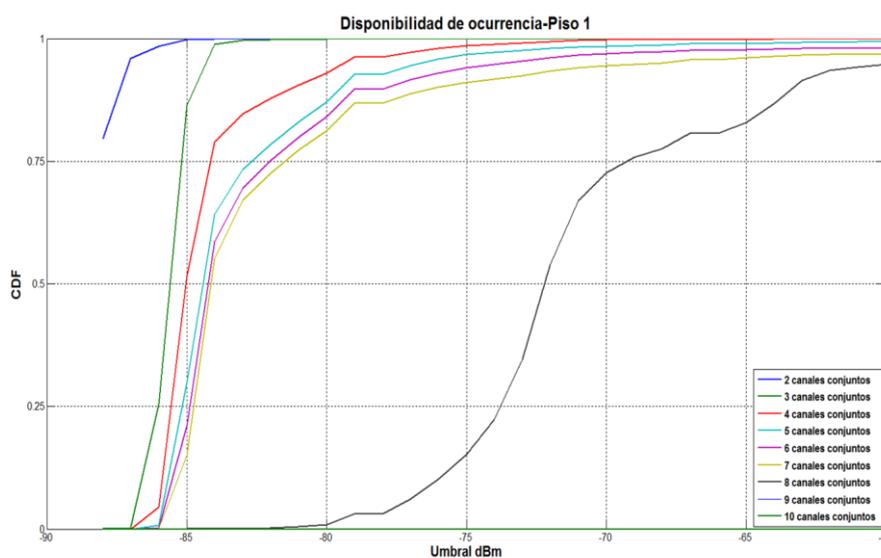


Figura 4.1: Disponibilidad de ocurrencia-Piso 1

La figura 4.1 muestra la disponibilidad de ocurrencia para 2 y 3 canales conjuntos adyacentes, independientemente del umbral de comparación tienen una probabilidad de ocurrencia (Matriz de Transición) mayor al 90%.

Sin embargo, la disponibilidad de ocurrencia entre 4 y 8 canales conjuntos disponibles va a depender principalmente del umbral con el que se comparó inicialmente la potencia recibida en el piso 1, por ejemplo, vemos que para umbrales superiores a -75dBm , la disponibilidad es muy elevada, sin embargo, para umbrales inferiores a -75dBm la disponibilidad es mínima.

Además, se puede notar que la disponibilidad de ocurrencia es casi 0% para 9 y 10 canales conjuntos adyacentes.

En las figuras 4.2 y 4.3 que muestran las CDF de las disponibilidades para el piso 9 y 16 respectivamente, los mismos que mantienen el mismo comportamiento de la disponibilidad que el piso 1. Para 2 y 3 canales conjuntos se tiene un alto nivel de disponibilidad de ocurrencia.

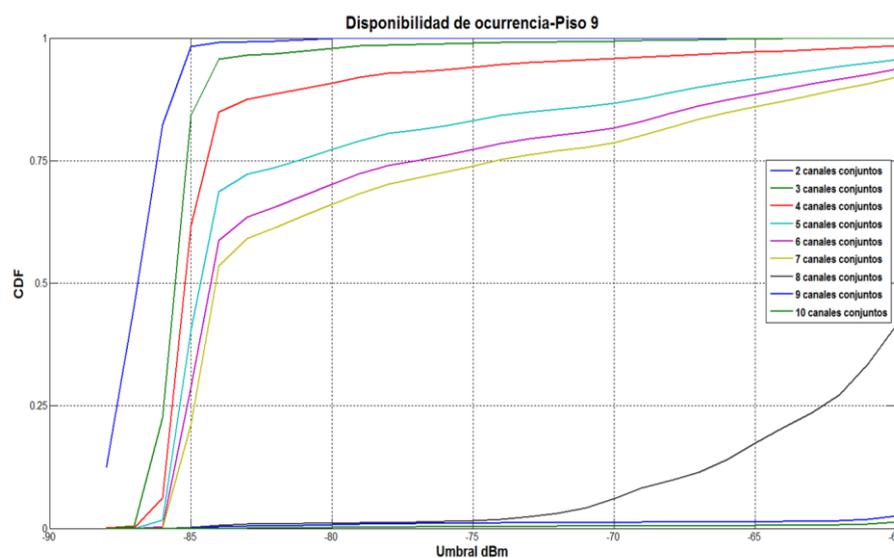


Figura 4.2: Disponibilidad de ocurrencia-Piso 9

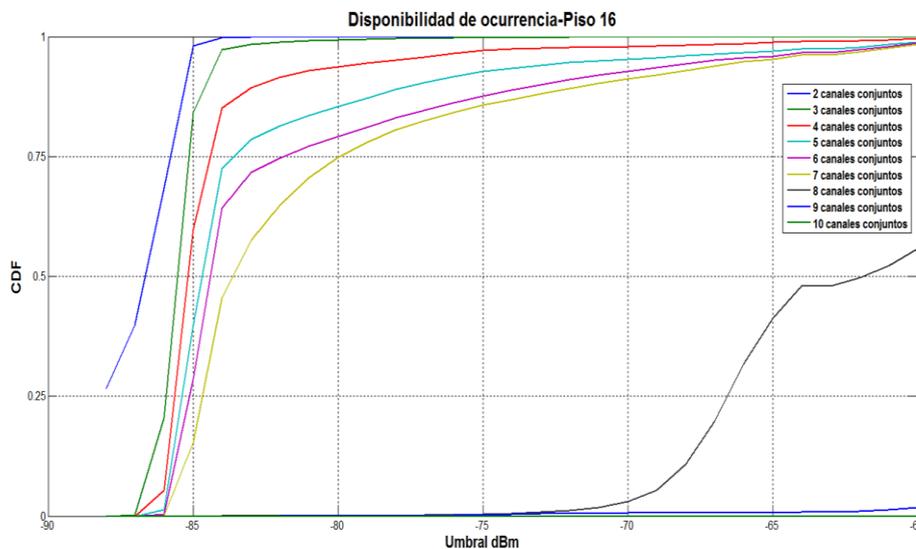


Figura 4.3: Disponibilidad de ocurrencia-Piso 16

Sin embargo, entre 4 y 7 canales conjuntos disponibles va a depender del tipo de tecnología que se vaya a querer introducir y cuantos canales conjuntos se requiera. Finalmente se puede notar que la disponibilidad es casi 0 entre 8 y 10 canales conjuntos adyacentes.

4.2 Probabilidad de ocurrencia para el número de canales con más variabilidad

En las figuras 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7, se observa las CDF de disponibilidad de ocurrencia de cada uno de los pisos analizados para 4, 5, 6, 7 canales conjuntos adyacentes, en donde se puede evidenciar que cada vez que los pisos van a aumentando la disponibilidad de ocurrencia va disminuyendo esto se debe a que el piso 1 tiene un mayor número de bloqueos y obstrucciones que el piso 9 y 16.

Finalmente se observa en la figura 4.8 que la probabilidad de ocurrencia para 8 canales conjuntos varía mucho entre piso y piso, esto se debe a que la probabilidad de encontrar 8 canales conjuntos a un umbral determinado es muy baja.

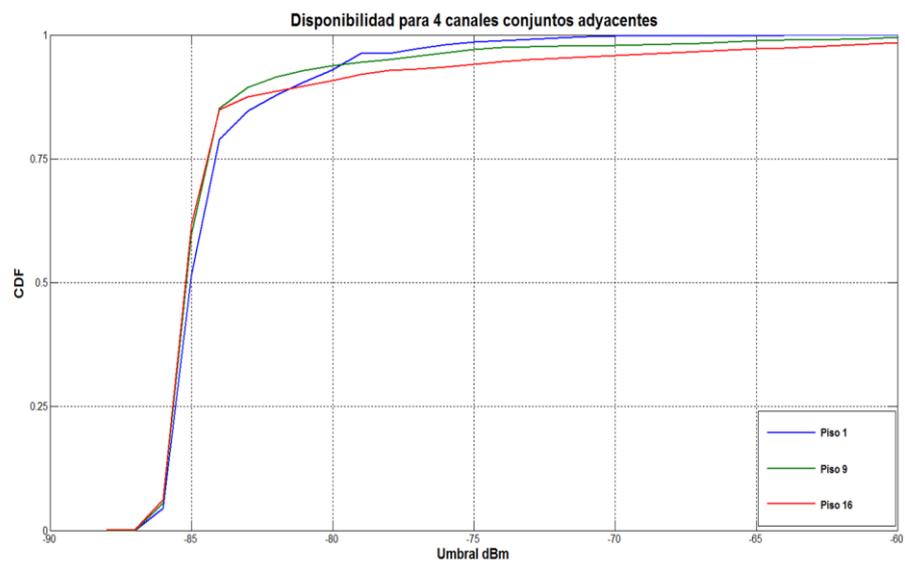


Figura 4.4: Disponibilidade de ocorrência de 4 canais conjuntos

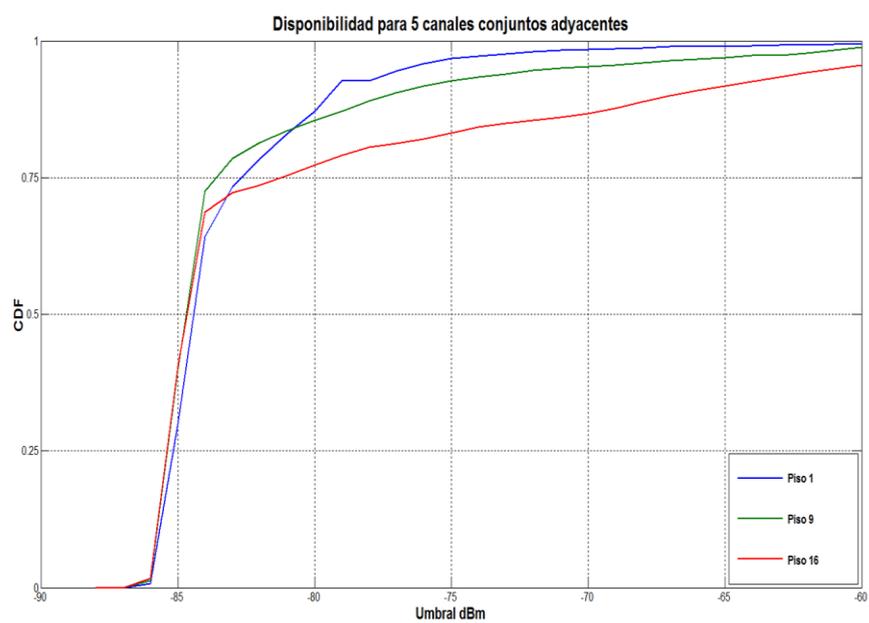


Figura 4.5: Disponibilidade de ocorrência de 5 canais conjuntos

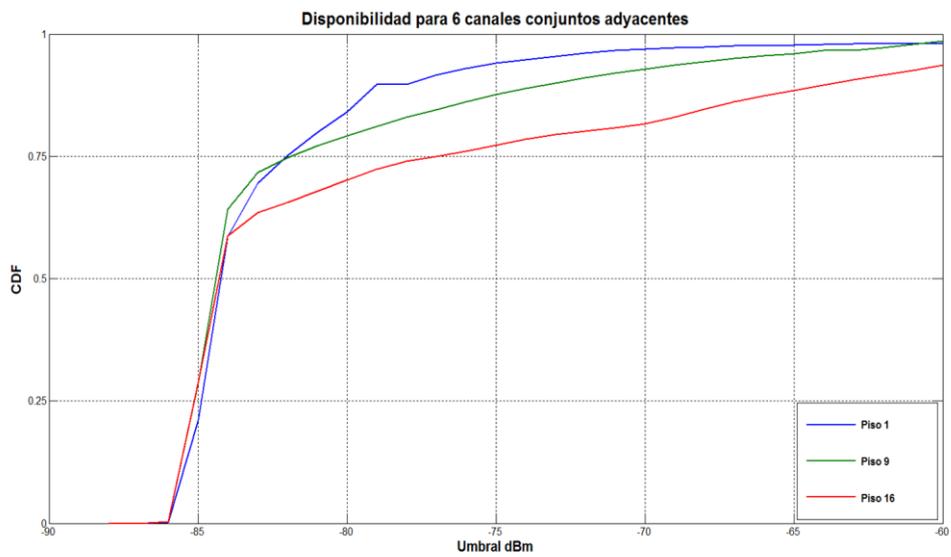


Figura 4.6: Disponibilidad de ocurrencia de 6 canales conjuntos

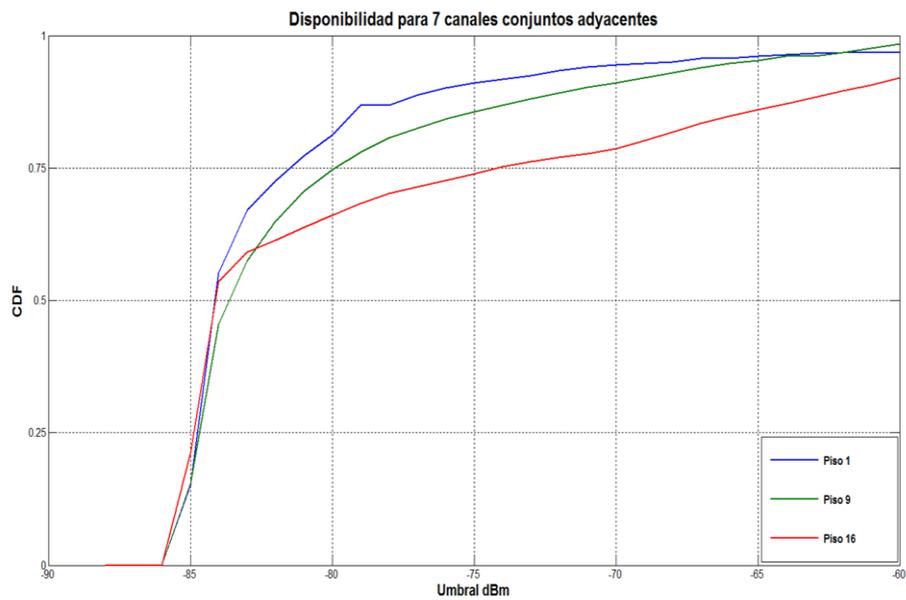


Figura 4.7: Disponibilidad de ocurrencia de 7 canales conjuntos

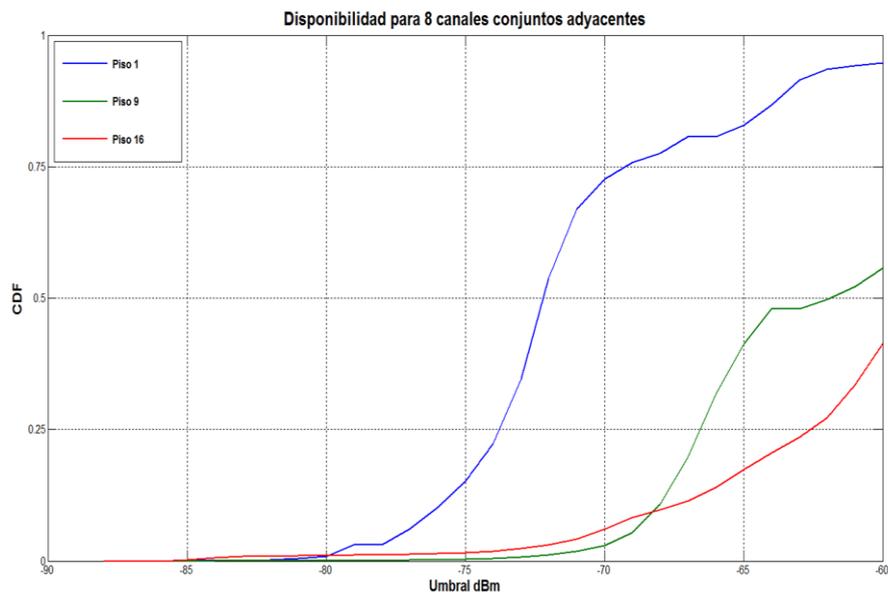


Figura 4.8: Disponibilidad de ocurrencia de 8 canales conjuntos

4.3 Predicción usando Cadenas de Markov.

La predicción usando cadenas de Markov se realizará para cada uno de los pisos estudiados, con un número de muestras específico $n=100$, una frecuencia de actualización de la matriz de transición $N= 2000$ y para todos los canales conjuntos adyacentes tanto en el piso 1 como el piso 9 y piso 16.

La figura 4.9 muestra el porcentaje de acierto de predicción en el piso 1 en donde se nota que en los canales 6, 7 y 8 es donde se encuentra la mayor variabilidad de acierto el mismo que siempre es mayor al 80%.

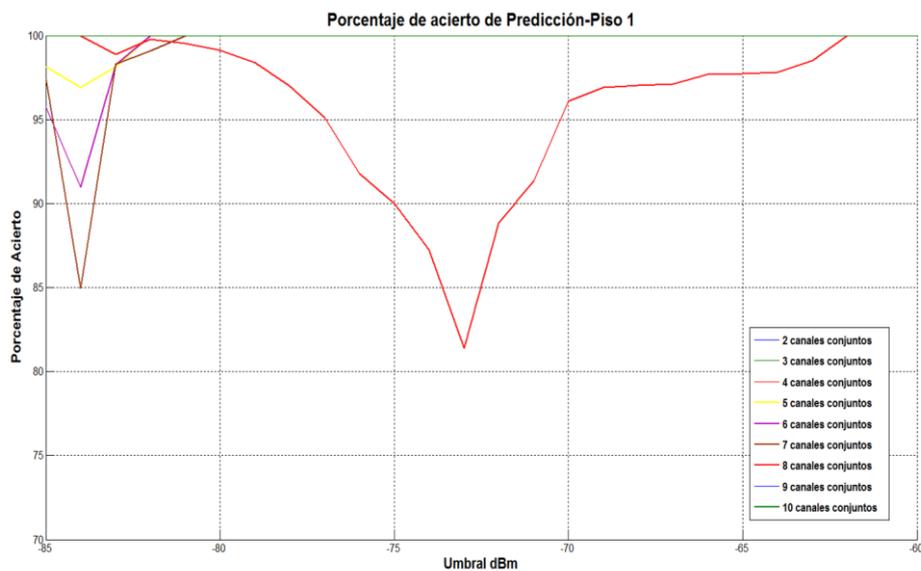


Figura 4.9: Porcentaje de acierto-Piso 1

En la figura 4.10 muestra el porcentaje de acierto de predicción en el piso 9 en donde notamos que en los canales 8 y 9 es donde se encuentra la mayor variabilidad de acierto el mismo que siempre es mayor al 75%

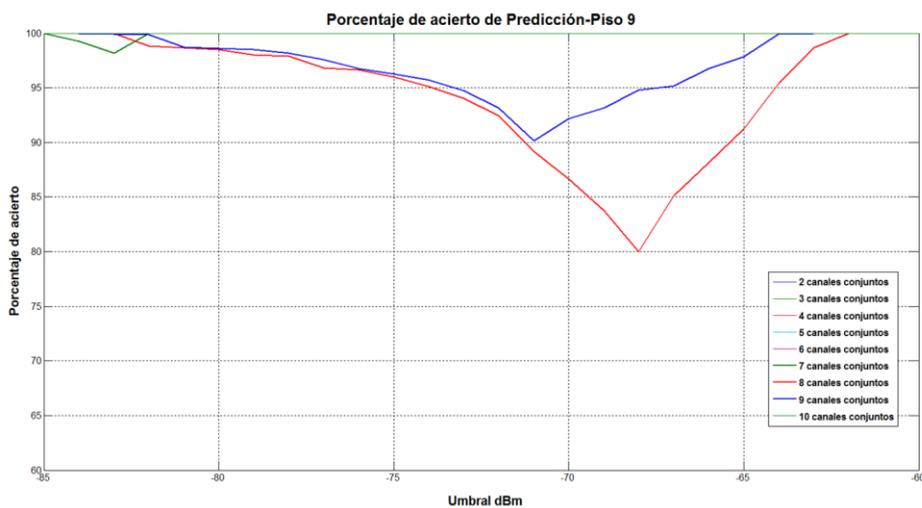


Figura 4.10: Porcentaje de acierto-Piso 9

En la figura 4.11 muestra el porcentaje de acierto de predicción en el piso 16 en donde notamos que en los canales 8 y 9 es donde se encuentra la mayor variabilidad de acierto el mismo que siempre es mayor al 90%.

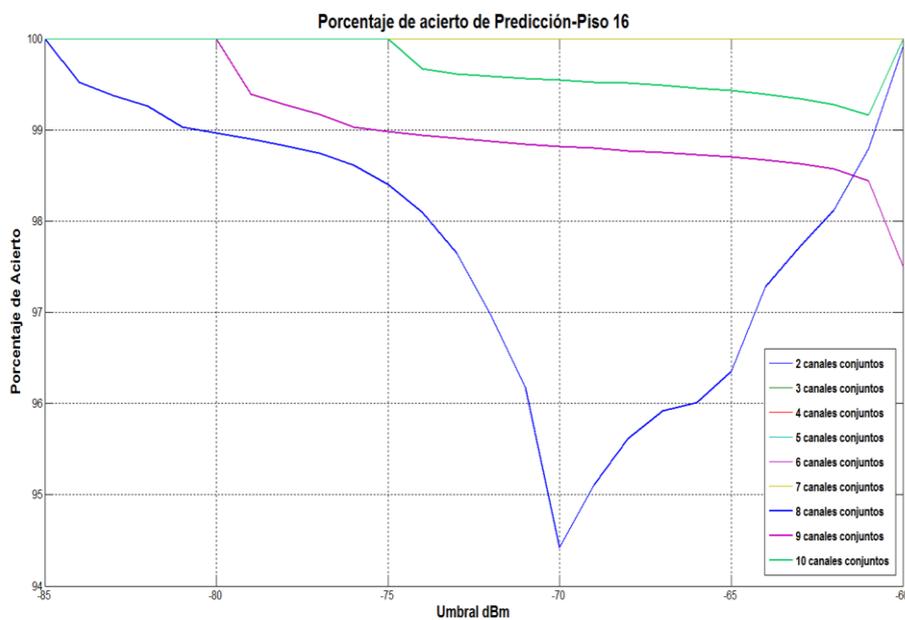


Figura 4.11: Porcentaje de acierto-Piso 16

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En este trabajo se ha determinado la disponibilidad para cada conjunto de n canales en cada uno de los pisos del edificio ubicado en la zona densa de Guayaquil, y se determinó que mientras más cercano se encuentre el receptor de la cima del edificio menor será su disponibilidad; así también disminuirá la disponibilidad a medida que los canales conjuntos aumenten.
- Se ha diseñado un algoritmo en el cual se pudo determinar la disponibilidad de ocurrencia para n canales conjuntos adyacentes, en donde se ha determinado que a mayor número de canales conjuntos adyacentes menor es la disponibilidad de ocurrencia
- Se ha logrado diseñar un algoritmo que permite realizar la predicción de la disponibilidad de ocurrencia de n canales conjuntos adyacentes, para una frecuencia de actualización $N=2000$ que equivale a generar la matriz de transición aproximadamente cada 6 horas.
- Se validó el algoritmo predictivo para cada uno de los pisos de la edificación obteniendo porcentajes de aciertos superiores a los 80%.

Recomendaciones

- Se debe tomar en cuenta la exigencia de la tecnología que se desea incorporar en los espacios de disponibilidad
- Por su característica genérica el algoritmo realizado puede ser usados como base para nuevos estudios en diferentes zonas y con diferentes parámetros de análisis.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CISCO, «Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020,» 3 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>. [Último acceso: 12 Noviembre 2016].
- [2] J. L. G. PONCE, «MODELADO DE LA DISPONIBILIDAD DE CANALES DE LA BANDA UHF-TV PARA EL USO POTENCIAL DE SISTEMAS CON ACCESO OPORTUNISTA AL ESPECTRO (OSA) EN UNA ZONA URBANA,» Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/88631/D-84692.pdf>. [Último acceso: 2016 Diciembre 24].
- [3] Union Internacional de Telecomunicaciones(UIT), 16 Enero 2011. [En línea]. Available: http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-23-2011-PDF-S.pdf.
- [4] O. Larrea, F. Hidalgo y W. Medina, «Medición, Caracterización y Modelamiento del Rango de Frecuencias Asignado a un Servicio Fijo- Móvil (698 - 960MHZ) de la Banda UHF del Espectro Electromagnético en la FIEC, Campus Prosperina,» Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31159>. [Último acceso: 3 Diciembre 2016].
- [5] ENACOM (Ente Nacional de Comunicaciones), «enacom.gob,» Espectro Radioelectrico, 22 Abril 2016. [En línea]. Available: https://www.enacom.gob.ar/-que-es-el-espectro-radioelectrico-_p117. [Último acceso: 15 Enero 2017].
- [6] RIELAC, «La Radio Cognitiva y su Impacto en el Uso Eficiente del Espectro de Radio,» 30 Abril 2015. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282015000100004. [Último acceso: 21 Diciembre 2016].

- [7] La Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (APC), «Eficiencia de Espectro,» 17 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.apc.org/es/node/14261>. [Último acceso: 2016 Diciembre 23].
- [8] Instituto Federal de Telecomunicaciones(IFT), «Estudio de Metricas de eficiencia Espectral,» 1 Noviembre 2005. [En línea]. Available: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/estudio_de_metricas_de_eficiencia_espectral.pdf. [Último acceso: 2016 Diciembre 23].
- [9] L. S. A. A. M. P. a. P. M. J. Pierre De Vries, «The Emperor has No Problem: Is Wi-Fi Spectrum Really Congested?,» 17 Octubre 2013. [En línea]. Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2241609. [Último acceso: 23 Diciembre 2016].
- [10] T. O. S. Tsuyoshi Shimomura, «Analysis of TV White Space Availability in Japan,» 31 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6399270/>. [Último acceso: 24 Diciembre 2016].
- [11] Ericsson, «Ericsson Mobility Report,» Junio 2015. [En línea]. Available: <https://www.ericsson.com/res/docs/2015/ericsson-mobility-report-june-2015.pdf>. [Último acceso: 24 Diciembre 2016].
- [12] D. N. Z. H. Ekram Hossain, de *Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks*, Cambridge , Cambridge University Press, 2009, p. 484.
- [13] ObservaTel A.C, «observatel.org,» Medios de Transmision: Espectro Radioelectrico, 13 Junio 2014. [En línea]. Available: http://www.observatel.org/telecomunicaciones/Qu_es_el_espectro_radioelctrico.php. [Último acceso: 15 Enero 2017].
- [14] SGE(Gestion Nacional de Espectro), «mintic.gob.co,» Agencia Nacional del Espectro, 30 Marzo 2016. [En línea]. Available:

- <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-2350.html>. [Último acceso: 15 Enero 2016].
- [15] CONATEL(Consejo Nacional de Telecomunicaciones), «Arcotel.gob.ec,» Mayo 2012. [En línea]. Available: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/PNF_plan_nacional_frecuencias.pdf. [Último acceso: 15 Enero 2015].
- [16] E. Hossain, D. Niyato y Z. han, «Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks,» 2009. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=DSuD9_skTcsC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Dynamic+Spectrum+Access+and+Management+in+Cognitive+Radio+Networks+Cambridge+University+Press&ots=C7954Xt_dY&sig=zXx9cuv7PJREbAYgWt1ZPWDdqIU#v=onepage&q=Dynamic%20Spectrum%20Acce. [Último acceso: 15 Enero 2017].
- [17] Federal Communications Commission, «Report of the Spectrum,» 15 Noviembre 2002. [En línea]. Available: https://transition.fcc.gov/sptf/files/SEWGFfinalReport_1.pdf. [Último acceso: 15 Enero 2017].
- [18] A. G. Quintero, «Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática (GIDATI),» 24 Noviembre 2008. [En línea]. Available: Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática (GIDATI). [Último acceso: 15 Enero 2017].
- [19] P. Yadav, S. Chatterjee y P. Bhattacharya, «A SURVEY ON DYNAMIC SPECTRUM ACCESS TECHNIQUES IN COGNITIVE RADIO,» Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://airccse.org/journal/ijngn/papers/4412ijngn03.pdf>. [Último acceso: 16 Enero 2016].
- [20] E. C. Muñoz, H. J. E. Blanco y J. A. F. Calderón, «Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia,» Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas, 5 Diciembre 2014. [En línea]. Available:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/9023/11101>.
[Último acceso: 16 Enero 2016].

- [21] M. Al-Husseini, K. Y. Kabalan, A. El-Hajj y C. G. Christodoulou, «Reconfigurable Microstrip Antennas for Cognitive Radio,» de *Advancement in Microstrip Antennas with Recent Applications - Capitulo 14*, Ahmed Kishk, 2013, p. 27.
- [22] G. V. P. Cáseres, «Factibilidad técnica de implementación de Smart Metering en el area urbana residencial con tecnologías de comunicación inalámbrica 4G,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8019/1/UPS-KT00996.pdf>. [Último acceso: 2017 Enero 17].
- [23] J. H. A. Rentería y P. Andrés Navarro Cadavid, «Radio cognitiva – Estado del arte,» 18 Marzo 2011. [En línea]. Available: https://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_telematica/article/viewFile/1028/1053. [Último acceso: 19 Enero 2017].
- [24] L. A. L. Arroyo, «Televisión Digital Al Alcance de Todos - Una introducción simple al estándar japonés ISDB-T y a las telecomunicaciones modernas,» 2011. [En línea]. Available: http://www.bubok.es/downloads/download_libro_gratis?book=MjAzMDg4LTlwMTcwMTI5LQ==&tipo_portada=6&clave=am9yZ2VfMDIzMUBob3RtYWIsLmVz&verificado=be329a86066c9d720c103972cdb80697b93774c2a543d102c1f11a4d7d8d3d73. [Último acceso: 25 Enero 2017].
- [25] C. A. Afonso, «Uso del espectro en América Latina,» Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (APC), Noviembre 2011. [En línea]. Available: http://www.apc.org/es/system/files/ca_sintesis_final-AF.pdf. [Último acceso: 25 Enero 2017].
- [26] A. N. d. R. y C. d. Telecomunicaciones, «Operación de las estaciones de Televisión abierta analógica en canales adyacentes de la banda VHF y UHF,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp->

content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf. [Último acceso: 26 Enero 2017].

- [27] A. K. J. D. L. Mishra, D. White Space Communication: Advances, Developments and Engineering Challenges Springer International Publishing, 2014, India: Springer Internacional Publishing Switzerland, 2015.
- [28] D. R. Rivera, «INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS DE TRÁFICO,» 11 Mayo 1998. [En línea]. Available: www.raco.cat/index.php/Buran/article/download/178762/240257. [Último acceso: 2017 Febrero 4].
- [29] C. A. A. Beltran, «Aplicacion de Cadenas de Markov para el análisis y Pronostico de series de Tiempo,» 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5413/2/141227.pdf>. [Último acceso: 2017 Febrero 04].

ANEXOS

ABREVIATURAS:

APC	ASOCIACIÓN PARA EL PROGRESO DE LAS COMUNICACIONES
ARCOTEL	AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES
ATM	MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONA
CMR	CONFERENCIAS MUNDIALES DE TELECOMUNICACIONES
CONATEL	CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
CPE	EQUIPOS DE PREMISAS DEL CONSUMIDOR
CR	RADIO COGNITIVA
CRS	SISTEMA DE RADIO COGNITIVA
DSA	ACCESO DINÁMICO AL ESPECTRO
ISM	COMISIÓN FEDERAL DE COMUNICACIONES
IEEE	EL INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
IDRC	EL CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO DE CANADÁ
IF	FRECUENCIA INTERMEDIA
ISDB	SERVICIOS INTEGRADOS DE RADIODIFUSIÓN DIGITAL
ISM	INDUSTRIAL, CIENTÍFICA Y MÉDICA
JTRS	SISTEMA DE RADIO TÁCTICO CONJUNTO
NTSC	COMITÉ NACIONAL DE SERVICIOS DE TELEVISIÓN
OSA	ACCESO OPORTUNISTA AL ESPECTRO
OSI	MODELO DE INTERCONEXIÓN DE SISTEMAS ABIERTOS
PI	USUARIOS PRIMARIOS
RF	RADIOFRECUENCIA
SCC	COMITÉ DE COORDINACIÓN DE ESTÁNDARES
SDR	RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE
SU	USUARIOS SECUNDARIOS
TDT	TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE
UHF	FRECUENCIA MUY ALTA

UIT	UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
UIT-R	UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES EN EL SECTOR DE RADIOCOMUNICACIÓN
VHF	FRECUENCIA MUY BAJA
WIMAX	INTEROPERABILIDAD MUNDIAL PARA ACCESO POR MICROONDAS
WIFI	FIDELIDAD INALÁMBRICA
WLAN	RED INALÁMBRICA LOCAL
WRAN	RED DE ÁREA REGIONAL INALÁMBRICA

CODIGO EN MATLAB:**Cálculo de la matriz binaria Disponibilidad**

```

threshold=-60; %Umbral
disponibilidad=zeros(62988,16);
for i=1:62988
    for j=1:16

        if PotenciaP16(i,j)<= threshold
            disponibilidad(i,j)=1;
        else disponibilidad(i,j)=0;
        end
    end
end;

```

Cálculo del vector binario M para n canales conjuntos adyacentes

```

co_canales=9;% canales conjuntos adyacentes
n=62988;
m=16;
a1=co_canales-1;
a2=m-a1;
disp_co_canales=zeros(n,a2);
for i=1:n
    for j=1:a2
        if disponibilidad (i,j)==1

            for k=1:a1
                a3=j+k;
                if disponibilidad (i,a3)==1
                    disp_co_canales(i,j)=1;
                else
                    disp_co_canales(i,j)=0;
                end
            end
        end
    end
end;

```

```

                break;
            end
        end
    end
end
end;
M = max(dispatch_co_canales,[],2);

```

Cálculo del porcentaje de acierto de disponibilidad para n canales conjuntos adyacentes

```

n=100; %Número de muestras
b=0;
N=2000; %Frecuencia de Actualización de la matriz de Transición
tempMarcov=zeros(n,1);
T=ceil(62988/N);
omega=zeros(T,1);
for t=1:T
    for j=1:n
        temp1=j+b;
        tempMarcov(j)=M(temp1);
    end;
    b=t*N;
    omega(t)=sum(tempMarcov==1)/n;
end;

c=0;
T=ceil(92988/N);
Matrizprediccion=zeros(62988,1);%Matriz de predicción
for i=1:T
    for j=1:N
        k=c+j;
        Matrizprediccion(k)=round(M(k)*omega(i));
    end;
end;

```

```
end;  
c=i*N;  
end;  
prediccion=(1-((sum(M==1)-sum(Matrizprediccion==1))/62988))*100 %Prediccion
```

TABLAS

Disponibilidad de ocurrencia -Piso 1									
Threshold (dBm)	Canales conjuntos adyacentes								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-60	1,0000	1,0000	0,9994	0,9941	0,9815	0,9692	0,9477	0,0000	0,0000
-61	1,0000	0,9999	0,9993	0,9935	0,9807	0,9682	0,9422	0,0000	0,0000
-62	1,0000	0,9999	0,9992	0,9931	0,9803	0,9675	0,9357	0,0000	0,0000
-63	1,0000	0,9999	0,9990	0,9924	0,9797	0,9663	0,9149	0,0000	0,0000
-64	1,0000	0,9999	0,9987	0,9914	0,9787	0,9642	0,8672	0,0000	0,0000
-65	1,0000	0,9999	0,9985	0,9905	0,9776	0,9612	0,8281	0,0000	0,0000
-66	1,0000	0,9999	0,9984	0,9894	0,9763	0,9573	0,8065	0,0000	0,0000
-67	1,0000	0,9999	0,9984	0,9894	0,9763	0,9573	0,8065	0,0000	0,0000
-68	1,0000	0,9999	0,9981	0,9869	0,9736	0,9507	0,7762	0,0000	0,0000
-69	1,0000	0,9999	0,9978	0,9853	0,9717	0,9476	0,7575	0,0000	0,0000
-70	1,0000	0,9999	0,9973	0,9840	0,9695	0,9447	0,7271	0,0000	0,0000
-71	1,0000	0,9999	0,9962	0,9825	0,9669	0,9406	0,6691	0,0000	0,0000
-72	1,0000	0,9999	0,9941	0,9798	0,9617	0,9340	0,5385	0,0000	0,0000
-73	1,0000	0,9999	0,9911	0,9765	0,9540	0,9249	0,3460	0,0000	0,0000
-74	1,0000	0,9999	0,9885	0,9725	0,9475	0,9179	0,2226	0,0000	0,0000
-75	1,0000	0,9999	0,9853	0,9673	0,9406	0,9109	0,1521	0,0000	0,0000
-76	1,0000	0,9998	0,9797	0,9583	0,9303	0,9009	0,1010	0,0000	0,0000
-77	1,0000	0,9997	0,9721	0,9450	0,9162	0,8868	0,0605	0,0000	0,0000
-78	1,0000	0,9996	0,9618	0,9272	0,8975	0,8686	0,0300	0,0000	0,0000
-79	1,0000	0,9996	0,9618	0,9272	0,8975	0,8686	0,0300	0,0000	0,0000
-80	0,9999	0,9989	0,9298	0,8710	0,8404	0,8131	0,0087	0,0000	0,0000
-81	0,9999	0,9986	0,9053	0,8301	0,7987	0,7724	0,0046	0,0000	0,0000
-82	0,9999	0,9979	0,8778	0,7841	0,7507	0,7253	0,0023	0,0000	0,0000
-83	0,9999	0,9962	0,8462	0,7336	0,6954	0,6701	0,0011	0,0000	0,0000
-84	0,9997	0,9888	0,7896	0,6417	0,5857	0,5513	0,0004	0,0000	0,0000
-85	0,9974	0,8645	0,5157	0,2991	0,2101	0,1513	0,0001	0,0000	0,0000
-86	0,9850	0,2548	0,0438	0,0069	0,0014	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000
-87	0,9602	0,0027	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
-88	0,7961	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla A1: Disponibilidad de ocurrencia-Piso 1

Disponibilidad de ocurrencia -Piso 9									
Threshold (dBm)	Canales conjuntos adyacentes								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-60	0,9995	0,9994	0,9954	0,9886	0,9861	0,9840	0,5571	0,0177	0,0000
-61	0,9995	0,9994	0,9929	0,9829	0,9792	0,9758	0,5223	0,0131	0,0000
-62	0,9995	0,9994	0,9910	0,9776	0,9721	0,9676	0,4972	0,0105	0,0000
-63	0,9995	0,9994	0,9901	0,9740	0,9665	0,9613	0,4796	0,0087	0,0000
-64	0,9995	0,9994	0,9901	0,9740	0,9665	0,9613	0,4796	0,0087	0,0000
-65	0,9995	0,9994	0,9883	0,9698	0,9593	0,9527	0,4130	0,0076	0,0000
-66	0,9995	0,9994	0,9859	0,9672	0,9559	0,9472	0,3170	0,0074	0,0000
-67	0,9995	0,9994	0,9835	0,9635	0,9507	0,9387	0,1970	0,0073	0,0000
-68	0,9995	0,9993	0,9814	0,9597	0,9438	0,9296	0,1085	0,0071	0,0000
-69	0,9995	0,9991	0,9798	0,9562	0,9359	0,9203	0,0544	0,0070	0,0000
-70	0,9995	0,9990	0,9787	0,9529	0,9281	0,9111	0,0299	0,0066	0,0000
-71	0,9995	0,9989	0,9779	0,9497	0,9197	0,9019	0,0185	0,0062	0,0000
-72	0,9995	0,9987	0,9771	0,9455	0,9104	0,8919	0,0117	0,0057	0,0000
-73	0,9995	0,9984	0,9760	0,9399	0,9000	0,8809	0,0081	0,0048	0,0000
-74	0,9994	0,9982	0,9742	0,9338	0,8884	0,8689	0,0053	0,0038	0,0000
-75	0,9994	0,9977	0,9704	0,9271	0,8761	0,8566	0,0034	0,0027	0,0000
-76	0,9994	0,9972	0,9645	0,9173	0,8618	0,8419	0,0024	0,0019	0,0000
-77	0,9994	0,9964	0,9572	0,9046	0,8458	0,8249	0,0017	0,0014	0,0000
-78	0,9993	0,9957	0,9506	0,8901	0,8302	0,8063	0,0012	0,0008	0,0000
-79	0,9993	0,9944	0,9444	0,8713	0,8105	0,7798	0,0008	0,0005	0,0000
-80	0,9992	0,9929	0,9375	0,8544	0,7921	0,7476	0,0005	0,0003	0,0000
-81	0,9991	0,9909	0,9284	0,8359	0,7714	0,7055	0,0003	0,0002	0,0000
-82	0,9990	0,9883	0,9144	0,8132	0,7468	0,6489	0,0002	0,0001	0,0000
-83	0,9988	0,9840	0,8936	0,7856	0,7170	0,5755	0,0001	0,0000	0,0000
-84	0,9978	0,9722	0,8515	0,7249	0,6419	0,4545	0,0001	0,0000	0,0000
-85	0,9802	0,8414	0,5979	0,3985	0,2865	0,1544	0,0000	0,0000	0,0000
-86	0,6848	0,2052	0,0546	0,0134	0,0034	0,0006	0,0000	0,0000	0,0000
-87	0,3990	0,0019	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
-88	0,2663	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla A2: Disponibilidad de ocurrencia-Piso 9

Disponibilidad de ocurrencia -Piso 9									
Threshold (dBm)	Canales conjuntos adyacentes								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-60	0,9997	0,9997	0,9843	0,9558	0,9368	0,9204	0,4142	0,0250	0,0123
-61	0,9997	0,9996	0,9814	0,9490	0,9263	0,9072	0,3343	0,0180	0,0084
-62	0,9997	0,9995	0,9787	0,9425	0,9165	0,8950	0,2724	0,0156	0,0072
-63	0,9997	0,9992	0,9764	0,9341	0,9063	0,8830	0,2351	0,0143	0,0066
-64	0,9997	0,9987	0,9740	0,9261	0,8963	0,8716	0,2058	0,0137	0,0061
-65	0,9997	0,9982	0,9715	0,9179	0,8853	0,8598	0,1740	0,0133	0,0057
-66	0,9997	0,9976	0,9691	0,9093	0,8733	0,8473	0,1398	0,0130	0,0054
-67	0,9997	0,9967	0,9666	0,9000	0,8612	0,8341	0,1145	0,0127	0,0051
-68	0,9997	0,9959	0,9642	0,8885	0,8463	0,8182	0,0978	0,0125	0,0049
-69	0,9997	0,9946	0,9611	0,8767	0,8304	0,8012	0,0824	0,0123	0,0048
-70	0,9997	0,9934	0,9581	0,8666	0,8169	0,7868	0,0610	0,0120	0,0045
-71	0,9997	0,9926	0,9556	0,8599	0,8082	0,7770	0,0420	0,0118	0,0044
-72	0,9997	0,9919	0,9530	0,8551	0,8014	0,7696	0,0303	0,0116	0,0041
-73	0,9997	0,9913	0,9501	0,8496	0,7940	0,7618	0,0236	0,0112	0,0039
-74	0,9997	0,9905	0,9462	0,8422	0,7846	0,7519	0,0190	0,0110	0,0036
-75	0,9996	0,9895	0,9408	0,8319	0,7726	0,7393	0,0160	0,0106	0,0033
-76	0,9995	0,9885	0,9352	0,8207	0,7601	0,7258	0,0138	0,0102	0,0030
-77	0,9995	0,9875	0,9315	0,8129	0,7500	0,7139	0,0126	0,0097	0,0028
-78	0,9994	0,9862	0,9277	0,8051	0,7397	0,7019	0,0118	0,0092	0,0025
-79	0,9993	0,9840	0,9200	0,7911	0,7232	0,6831	0,0110	0,0083	0,0020
-80	0,9990	0,9794	0,9085	0,7734	0,7022	0,6615	0,0104	0,0072	0,0015
-81	0,9968	0,9728	0,8965	0,7535	0,6786	0,6376	0,0096	0,0061	0,0008
-82	0,9938	0,9681	0,8856	0,7363	0,6557	0,6139	0,0089	0,0053	0,0004
-83	0,9921	0,9646	0,8750	0,7223	0,6346	0,5914	0,0083	0,0046	0,0001
-84	0,9912	0,9565	0,8493	0,6873	0,5872	0,5354	0,0068	0,0033	0,0000
-85	0,9997	0,9997	0,9843	0,9558	0,9368	0,9204	0,4142	0,0250	0,0123
-86	0,9827	0,8424	0,6167	0,4049	0,2889	0,2128	0,0020	0,0009	0,0000
-87	0,8235	0,2263	0,0627	0,0177	0,0039	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000
-88	0,4540	0,0045	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabla A3: Disponibilidad de ocurrencia- Piso 16

Porcentaje acierto de Predicción-Piso 1									
Threshold (dBm)	Canales conjuntos adyacentes								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-61	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-62	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-63	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,50	100,00	100,00
-64	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,79	100,00	100,00
-65	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,71	100,00	100,00
-66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,69	100,00	100,00
-67	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,12	100,00	100,00
-68	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,05	100,00	100,00
-69	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,93	100,00	100,00
-70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,09	100,00	100,00
-71	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,33	100,00	100,00
-72	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	88,84	100,00	100,00
-73	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	81,39	100,00	100,00
-74	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	87,24	100,00	100,00
-75	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	90,00	100,00	100,00
-76	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,81	100,00	100,00
-77	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,13	100,00	100,00
-78	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,00	100,00	100,00
-79	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40	100,00	100,00
-80	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,13	100,00	100,00
-81	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,54	100,00	100,00
-82	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,08	99,77	100,00	100,00
-83	100,00	100,00	100,00	98,13	98,24	98,31	99,89	100,00	100,00
-84	100,00	100,00	100,00	96,91	90,99	84,94	99,96	100,00	100,00
-85	100,00	100,00	100,00	98,15	95,74	97,41	100,00	100,00	100,00
-86	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-87	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-88	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla A4: Porcentaje de acierto de Predicción- Piso 1

Porcentaje acierto de Predicción-Piso 9									
Threshold (dBm)	Canales conjuntos adyacentes								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-61	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-62	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-63	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-64	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,69	100,00	100,00
-65	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,37	99,92	100,00
-66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,25	97,82	100,00
-67	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	88,15	96,74	100,00
-68	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	85,15	95,15	100,00
-69	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	80,01	94,78	100,00
-70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	83,74	93,15	100,00
-71	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	86,66	92,15	100,00
-72	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	89,15	90,15	100,00
-73	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	92,46	93,15	100,00
-74	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,01	95,74	100,00
-75	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,14	96,26	100,00
-76	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,00	96,78	100,00
-77	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,83	97,59	100,00
-78	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,88	98,15	100,00
-79	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,02	98,52	100,00
-80	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,51	98,61	100,00
-81	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,68	98,74	100,00
-82	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,84	99,87	100,00
-83	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,15	99,99	99,94	100,00
-84	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,25	99,99	99,99	100,00
-85	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-86	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-87	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-88	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla A5: Porcentaje de acierto de Predicción- Piso 9

Porcentaje acierto de Predicción-Piso 16									
Threshold (dBm)	Canales conjuntos adyacentes								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-60	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,91	97,50	100,00
-61	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,79	98,20	99,16
-62	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,12	98,44	99,28
-63	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,72	97,72	99,34
-64	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,28	98,63	99,39
-65	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,35	98,67	99,43
-66	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,01	98,70	99,46
-67	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,92	98,73	99,49
-68	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,62	98,75	99,51
-69	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	95,11	98,77	99,52
-70	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,42	98,80	99,55
-71	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,17	98,82	99,56
-72	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	96,97	98,84	99,59
-73	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,64	98,88	99,61
-74	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,10	98,90	99,67
-75	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,40	98,94	100,00
-76	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,62	98,98	100,00
-77	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,74	99,03	100,00
-78	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,82	99,08	100,00
-79	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,90	99,17	100,00
-80	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,96	99,28	100,00
-81	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,03	99,39	100,00
-82	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,26	100,00	100,00
-83	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,38	100,00	100,00
-84	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,52	100,00	100,00
-85	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-86	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-87	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-88	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabla A6: Porcentaje de acierto de Predicción- Piso 16