



**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 806 -  
890 MHZ BASADO EN EL MÉTODO DE BAUM - WELCH”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

GABRIEL EFRAÍN PONCE YOSA

FERNANDO LUIS ÁLVAREZ ÁLVAREZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar le agradezco a Dios por permitirme cumplir una de mis metas con mucho esfuerzo y dedicación, agradezco también a mi familia y a mis amigos, en especial a mi madre Lusitania Álvarez Mendoza, a mi padre Fernando Álvarez Goyón, a mi esposa Keshya Becerra Bosquez y a mi hija Luciana Álvarez Becerra que siempre me han dado su apoyo incondicional inculcándome valores y principios para poder alcanzar este logro y poderles demostrar que con constancia y responsabilidad se puede llegar al éxito.

### **Fernando Luis Álvarez Álvarez**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza y brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y felicidad.

A mis padres Flavio Ponce y Olivia Yosa, por darme la oportunidad de tener una excelente educación y lecciones de la vida, a mis profesores y compañeros de clases que me brindaron su conocimiento y ayuda en los momentos difíciles, para poder lograr este gran éxito en mi vida

Muchas gracias a aquellos seres queridos que siempre aguardo en mi alma.

### **Gabriel Efraín Ponce Yosa**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico en especial a Dios que es base y sustento en mi vida, a mis padres, porque ellos han estado a mi lado dándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí un profesional, a mi esposa, mi hija, y a mis hermanos, por su amor incondicional y sus palabras de superación, que han hecho que yo pueda culminar mi carrera.

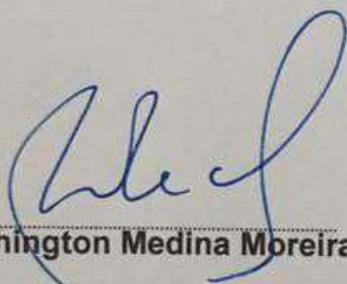
### **Fernando Luis Álvarez Álvarez**

A la memoria de mi abuelita Isabel Reyes y tío Bolívar Ponce, que desde el cielo fueron guiando cada paso y decisión que tome en la vida universitaria y profesional. A mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron en cada momento siendo un pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos Juan Fernando y Christian por ser un ejemplo de vida, de igual manera a Verónica por siempre confiar en mí.

### **Gabriel Efraín Ponce Yosa**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



MSc. Washington Medina Moreira

PROFESOR EVALUADOR

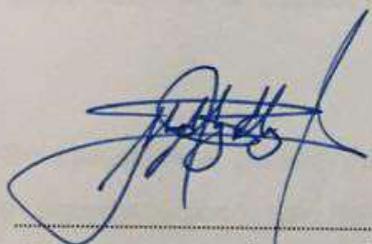


MSc. Carlos Valdivieso

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"



Fernando Luis Álvarez Álvarez



Gabriel Efraín Ponce Yosa

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el análisis de predicción que se va a obtener con el algoritmo para n-canales conjuntos disponibles en el rango del espectro de 806 – 890 MHz, cuyo estudio está enfocado en datos reales que fueron tomados dentro de un edificio ubicado en el sector norte de la ciudad de Guayaquil, las muestras obtenidas fueron en tres escenarios distintos: planta baja, planta media y planta alta, piso 01, piso 09, y piso 16, respectivamente, en un periodo 120 horas. Mediante esta información se puede determinar la predicción para n-canales conjuntos disponibles en el espectro establecido en el rango de 806 – 890 MHz.

Se investiga el diseño de un algoritmo predictivo, el cual se lo modela mediante la implementación y uso del Modelo oculto de Markov, por medio del método de Baum Welch, el cual presenta un conjunto finito de estados, los cuales están asociados a una distribución de probabilidad en la que maximiza la posibilidad de obtener un resultado estimado, para ello utilizamos la herramienta de simulación MATLAB.

Los resultados de este trabajo serán obtenidos mediante el análisis y simulaciones de los diferentes escenarios, que permitirá graficar el comportamiento de la predicción de los n-canales conjuntos disponibles, con base al método de Baum - Welch observaremos el comportamiento de la predicción que se obtiene entre cada piso para concluir en cuál de ellos existe la mejor condición de acceso al espectro de estudio.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
CAPÍTULO 1 .....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Problemas a resolver.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivos generales.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5. Metodología.....	5
1.6. Alcance.....	7
CAPÍTULO 2.....	7
2. ESTADO DEL ARTE .....	8
2.1 Sistema Troncalizado .....	9
2.2 Sistemas de Acceso Dinámico al Espectro (DSA).....	9
2.3 Estudios De Disponibilidad.....	11
2.4 Modelos de Markov .....	12

2.5	Espectro Radioeléctrico Asignado Al Servicio .....	15
2.6	Acceso Oportunista al Espectro (OSA) .....	17
2.7	Radio Cognitiva .....	18
2.7.1	Las funciones principales .....	18
2.7.2	Administración del espectro.....	19
2.7.3	Movilidad espectral.....	19
2.7.4	Compartir el espectro .....	19
2.8	Condiciones Para El Uso Del Espectro .....	20
CAPÍTULO 3.....		20
3.	MODELAMIENTO DEL ALGORITMO.....	21
3.1	Modelamiento.....	22
3.2	Predicción.....	25
3.3	Desarrollo del Algoritmo predictivo .....	26
3.4	Diagrama de Flujo del algoritmo.....	28
CAPÍTULO 4.....		29
4.	RESULTADOS.....	29
4.1	Predicción de n-canales conjuntos por piso. ....	30
4.2	Predicción de canales conjuntos vs Potencia de uso. ....	34
4.3	Predicción de disponibilidad instantánea de canales conjuntos por día. ....	39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		43
BIBLIOGRAFÍA.....		44
ANEXOS.....		48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Clasificación del Acceso Dinámico al Espectro [6]. .....	11
Figura 2. 2 White Space [7].....	12
Figura 2. 3 Esquema de Estados del Modelo de Markov.....	13
Figura 2. 4 Matriz de transición de 2x2 .....	13
Figura 3. 1 Arquitectura probabilística Bayesiana utilizada el entendimiento del MOM [25].....	21
Figura 3. 2 Estructura de cálculo de la probabilidad. ....	24
Figura 3. 3 Proceso de predicción basado en los N estados y las O observaciones a lo largo del tiempo T. ....	25
Figura 3. 4 Modelo estimado para la predicción. ....	26
Figura 3. 5 Diagrama de flujo del algoritmo predictivo.....	28
Figura 4. 1 Comportamiento de predicción de canales conjuntos disponibles en el piso 1.....	30
Figura 4. 2 Comportamiento de predicción de canales conjuntos disponibles en el piso 9.....	31
Figura 4. 3 Comportamiento de predicción de canales conjuntos disponibles en el piso 16.....	32
Figura 4. 4 Probabilidad acumulada (CDF) de ofrecer n-canales conjuntos por piso. ....	33
Figura 4. 5 Predicción de canales conjuntos vs Potencia de uso. ....	35

Figura 4. 6 Comportamiento de canales conjuntos con umbral de -106 dBm. .....	36
Figura 4. 7 Comportamiento de canales conjuntos con umbral de -100 dBm. .....	37
Figura 4. 8 Comportamiento de canales conjuntos con umbral de -94 dBm.	38
Figura 4. 9 Predicción de disponibilidad instantánea del algoritmo para los n- canales conjuntos vs umbral de potencia de uso por canal.....	39
Figura 4. 10 Predicción de disponibilidad instantánea del algoritmo para los n- canales conjuntos para -106 dBm de umbral de potencia por uso de canal..	41
Figura 4. 11 Predicción de disponibilidad instantánea del algoritmo para los n- canales conjuntos para -100 dBm de umbral de potencia por uso de canal..	41
Figura 4. 12 Predicción de disponibilidad instantánea del algoritmo para los n- canales conjuntos para -94 dBm de umbral de potencia por uso de canal...	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Modelos de Markov.....	14
Tabla 2 Tipos de Bandas para Sistemas Troncalizados [1]. .....	16

# CAPÍTULO 1

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

En este proyecto se presentará el diseño y análisis de predicción de n-canales conjuntos en el espectro disponibles en el rango de 806-890 MHz dentro de un edificio ubicado en el sector norte de Guayaquil, mediante la investigación y el estudio de un algoritmo predictivo, utilizando el método de Baum – Welch, en el que se maximiza las muestras observadas con una matriz de transición y de emisión, obteniendo la probabilidad de predicción en un instante de tiempo determinado para los canales conjuntos.

### 1.1. Antecedentes.

Las telecomunicaciones en la actualidad forman parte del bien común de la sociedad ya que se ha convertido en una base principal para poder alcanzar y lograr todos los objetivos de ámbito personal y empresarial; debido a esto se obtiene una de las empresas más lucrativas que existe a nivel mundial por el simple hecho de estar comunicados. El constante desarrollo de nuevas tecnologías se da por la exigencia que tiene la sociedad con el fin de maximizar y optimizar recursos, para poder obtener un mejor servicio.

De acuerdo a los estudios que se han realizado, tomando como ejemplo a los sistemas troncalizados, estos sistemas tienen elementos de control para poder localizar las fallas rápidamente cuando se encuentran canales no disponibles; cuando se activa este sistema de control el recurso para establecer la comunicación es mucho más alto en lugar de tener un algoritmo predictivo eficiente que prevea esta situación para el ahorro de activación de

recursos de control en el establecimiento de una llamada por la falta de canales disponibles. [1]

La demanda que existe hoy en día por parte de las empresas que solicitan el servicio de sistemas troncalizados, ha provocado un consumo excesivo en el uso comercial del espectro radioeléctrico. La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), ha realizado un informe en el que indica que gran parte del espectro radioeléctrico se encuentra copado y usado por debajo de sus posibilidades, dando como resultado el mal uso de canales que son utilizados por parte de las empresas, lo que ocasionan, una mala organización del espectro asignado, utilizándolo ineficientemente. Para esto es necesario como solución el uso de un algoritmo inteligente con base a los principios de la radio cognitiva [2], que indiquen y garanticen la disponibilidad aleatoria de canales para el acceso a una comunicación eficiente. [3]

## **1.2. Problemas a resolver.**

En el presente proyecto el primer problema a resolver se evalúa en el diseño de un algoritmo eficiente que va a predecir la disponibilidad en el espectro para n-canales conjuntos; dentro del análisis se plantea el uso de las cadenas ocultas de Markov, con la estructura aplicada al método de Baum - Welch.

Para comenzar a resolver el problema se obtuvieron las muestras que fueron tomadas dentro de un edificio en un periodo de 5 días, en diferentes pisos ubicados en la planta baja (piso 01), planta media (piso 09) y planta alta (piso 16), por medio de un equipo USRP se receptaron todos los niveles de

potencia en el periodo de 5 días, posteriormente se obtuvo una matriz de estados [4].

Para continuar con la problemática el siguiente paso es transformar esa matriz de estados a otra matriz que muestre los canales conjuntos, con el fin de determinar las disponibilidades; para ello se plantea analizar el algoritmo.

El uso de este algoritmo será capaz de demostrar en qué instante de tiempo se va a tener canales conjuntos disponibles por medio de un análisis probabilístico y maximizando todas las posibilidades que se presenten para obtener el resultado requerido, dicho de otra manera, se aplicaría el método de Baum - Welch.

En el medio en que vivimos aún existen equipos que el uso no es constante ya que se emplean en ciclos de tiempo que pueden ser cortos o largos según sea la necesidad del usuario, lo que genera un mal uso del espectro radioeléctrico en la frecuencia asignada. Para evitar estos inconvenientes se plantea innovar el uso del algoritmo como recurso, el cual puede ser usado para la mejora de los servicios de comunicación [5].

### **1.3. Justificación.**

Las nuevas estructuras que existen para el uso del espectro radioeléctrico, como son las de los sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA), [6] las cuales proponen una utilización más eficiente del espectro radioeléctrico, dando oportunidad a los usuarios de sistemas de bandas no autorizadas se les permita la utilización de dicho espectro, siempre que no perjudiquen a los usuarios que tienen la autorización de utilizar la banda.

OSA consiste en varios modelos de tecnología, del que obtenemos un crecimiento de dispositivos con dichas especificaciones, pero el avance más significativo que existe y que permite la mejoría de los sistemas con capacidades OSA es la Radio Cognitiva (CR) [7], la que permite distribuir un canal en el espectro radioeléctrico con usuarios autorizados.

Para trabajar dispositivos con capacidades OSA, es de vital importancia realizar un estudio de demanda antes de analizar el espectro radioeléctrico con el objetivo de encontrar los posibles espacios en blanco “White Spaces” (WS), en los que los equipos que estén involucrados tengan la prioridad para transmitir la comunicación [8].

El uso del espectro radioeléctrico es un recurso de propiedad del Estado Ecuatoriano, como tal es innato, limitado y por consecuencia es regulado, para que el usuario pueda hacer uso de una manera eficiente y cubrir las necesidades que puedan presentarse para poder brindar un servicio a la comunidad como lo requiere el Estado Ecuatoriano [9].

Existen ejemplos [10], en donde se analiza una aplicación a través de las cadenas de Markov, en la que se organiza de forma predictiva la disponibilidad del espectro para un sistema de estaciones móviles.

Por consiguiente, todos los proyectos que se han realizado para examinar la disponibilidad del espectro radioeléctrico con los distintos métodos determinísticos o probabilísticos con el único fin de encontrar WS, son de vital importancia para la ayuda de los dispositivos que trabajan con el sistema OSA.

## **1.4. Objetivos.**

### **1.4.1 Objetivos generales**

- Diseñar y analizar un algoritmo predictivo de n-canales conjuntos disponibles en el rango de 806 - 890 MHz basado en el método de Baum – Welch.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Investigar el método de Baum – Welch, para aplicarlo en la predicción de n-canales conjuntos.
- Obtener las muestras que fueron resultado de un trabajo anterior [4] dentro de un edificio en el sector norte de la ciudad de Guayaquil.
- Crear una matriz de n-canales conjuntos disponibles.
- Desarrollar un algoritmo predictivo de n – canales conjuntos.
- Encontrar la matriz de transición para n – canales conjuntos.
- Realizar un análisis probabilístico y predictivo usando el método de Baum – Welch, para determinar el comportamiento del algoritmo para n-canales conjuntos disponibles en el rango asignado.

## **1.5. Metodología**

Es importante destacar que la metodología se sustenta con la investigación cuantitativa y la investigación científica del tema a desarrollar. Este trabajo se basa en la metodología cuantitativa que tiene como objetivo examinar los datos de manera numérica enfocándose en el campo estadístico a través de datos experimentales.

El desarrollo y el análisis de este trabajo se origina con la investigación del método de Baum - Welch, el cual ayudará a diseñar un algoritmo que va a ser capaz de predecir la disponibilidad de los  $n$  – canales conjuntos que se encuentran en el rango de estudio, dentro de este análisis se elabora un código con la herramienta de simulación MATLAB, para luego obtener los resultados de las muestras obtenidas que fueron tomadas en un trabajo anterior [4], dentro de un edificio ubicado en el sector norte de la ciudad de Guayaquil el World Trade Center.

Posteriormente se creará en base a un código de programación una matriz de disponibilidad para  $n$  – canales conjuntos que se encuentran en el rango de 806 – 890 MHz, representado por el número 1 en el caso que esté libre y por el número 0 en el caso que este ocupado.

El algoritmo que se diseña se basa en el método Baum – Welch, el cual permitirá estimar los parámetros obtenidos con un modelo oculto de markov, con la finalidad de maximizar la probabilidad de disponibilidad de los canales conjuntos, dicho de otra forma, se determina el porcentaje de verosimilitud que se muestra para cada estado, libre u ocupado, dentro del espectro estudiado, con el objetivo poder encontrar la matriz de transición.

Finalmente, con los resultados obtenidos del algoritmo predictivo se interpretará mediante gráficas el comportamiento de predicción de los  $n$  canales conjuntos, que existen entre los pisos del edificio, y poder concluir en donde se presenta una mejor predicción de disponibilidad con el algoritmo diseñado.

### **1.6. Alcance**

El alcance de este proyecto es de diseñar un algoritmo predictivo de n-canales conjuntos disponibles en el rango 806 – 890 MHz, considerando el Modelo de las cadenas de Markov aplicando el método de Baum – Welch, dicho análisis se realizó con las muestras obtenidas de los niveles de potencia dentro del edificio el World Trade Center, el algoritmo predictivo se basa en el algoritmo de Baum – Welch, el cual maximiza la probabilidad de predicción, enfocándose únicamente en el espectro de estudio y en los escenarios establecidos dentro del edificio que son el piso 01, el piso 09 y el piso 16 del World Trade Center.

Posteriormente de obtener los resultados se concluye con la eficiencia del algoritmo creado con la finalidad de aplicarse en los ambientes dispuestos en este trabajo.

## **CAPÍTULO 2**

## 2. ESTADO DEL ARTE

Se han realizado estudios sobre la disponibilidad [27-28]; del espectro radioeléctrico dando como resultado que este no es eficiente, por lo cual las nuevas tecnologías no se adaptan a las necesidades actuales del mercado; debido a esto podemos observar algunas zonas del espectro sin utilizar. Un ejemplo es el de las redes celulares, que para poder ofrecer un mejor servicio necesitan consumir más ancho de banda, y si aumentan la cantidad de usuarios que estén comunicados al mismo instante de tiempo, el sistema va a colapsar. [11]

Como consecuencia a la ineficiencia que se presenta en el espectro radioeléctrico da lugar a los Espacios en Blanco (WS), por lo que es necesario cambiar el uso del espectro de asignación fija a uno de asignación dinámica para que pueda mejorar la eficiencia en los sistemas.

Posteriormente en el ambiente de asignaciones dinámicas; es de vital importancia considerar el OSA, el cual se basa en un mecanismo de Radio Cognitiva (CR), donde se les permite a los usuarios no licenciados puedan acceder a una banda con el único requisito de no causar niveles de interferencia superiores a los rangos previamente establecidos. [6]

Finalmente se lleva a cabo la investigación de modelar y analizar un algoritmo predictivo capaz de encontrar la disponibilidad de canales conjuntos con el método de Baum – Welch, el cual enfoca su análisis de probabilidad para determinar los vectores de un modelo oculto de Markov, su principio se basa en la credibilidad de obtener un resultado más acertado, volviendo a estimar los datos del modelo.[12] Una de las principales aplicaciones que se da con el método

estudiado se presenta en el ámbito financiero, para el uso de las posibles opciones futuras en las tendencias del mercado.

## **2.1 Sistema Troncalizado**

El sistema de radiocomunicación de los servicios fijo y móvil terrestre en nuestro medio proporciona frecuencias o canales disponibles a las cuales se puede acceder de forma inmediata entre un gran número de beneficiarios, a esto se lo denomina Sistemas Troncalizados, con el objetivo de lograr una comunicación contigua entre los usuarios [13]. Por esta razón los beneficiarios no dependen de un canal en específico para lograr una comunicación óptima ni tampoco que haya competencia entre los mismos ya que se les asigna un canal o frecuencia determinado y la probabilidad de que todos los clientes quieran comunicarse en el mismo instante de tiempo es bastante reducida, con ello se obtiene un índice elevado de comunicación entre los usuarios optimizando de igual manera su seguridad y un mejor servicio [14].

## **2.2 Sistemas de Acceso Dinámico al Espectro (DSA)**

El Espectro Radioeléctrico en Ecuador es considerado un recurso natural renovable pero limitado siendo administrado por entes reguladores bajo ciertos criterios, y algunas veces adopta normas internacionales. Sin embargo, en la actualidad este tipo de políticas de asignación de espectro son ineficientes ya que no responden a las demandas de tecnologías actuales que necesita la sociedad [15]. Debido a este factor, algunos entes reguladores de las telecomunicaciones realizaron planteamientos a la forma cómo se asigna el espectro. Para esto se comparan alternativas tecnológicas

para la implementación de futuras ideas en la Asignación Dinámica de Espectro y Selección Dinámica de Frecuencia en redes inalámbricas modernas [6]. De tal forma que para dos redes puedan compartir la misma información es necesario acceder a ellos de manera dinámica y en el mismo momento, pero hay que tener precaución con las demandas de tráfico y lo que requiere el usuario, es orientar dicha dificultad con el DSA (Dynamic Spectrum Allocation) o el DFS (Dynamic Frequency Selection).

Por consiguiente, la banda de frecuencia que se utilizara se divide en canales ya que algunos sistemas sin autorización pueden operar en algunos de ellos, en los cuales no interfieren los sistemas inalámbricos con licencia. Los sistemas inalámbricos no licenciados podrían dinámicamente seleccionar el canal que este en uso para así evitar la interferencia de algún sistema inalámbrico licenciado DFS.

En el Acceso Dinámico al Espectro desarrollaron nuevas alternativas generando 3 tipos de modelos.

Estas se pueden apreciar en la Figura 2.1 a continuación:



Figura 2. 1 Clasificación del Acceso Dinámico al Espectro [6].

### 2.3 Estudios De Disponibilidad.

- **White Space**

A la banda que se encuentra disponible durante un determinado periodo de tiempo se conoce como Espacio en Blanco [16]. En la Figura 2.2, se puede observar cierto segmento del Espectro Radioeléctrico cuyo uso depende de la cantidad de usuarios y datos que pasan por la banda de canales. En general, debido al tráfico de datos y usuarios, es posible encontrar segmentos de tiempo en el cual el espectro se encuentre disponible no siendo utilizado por el usuario licenciado, por consiguiente, da paso a que los usuarios secundarios puedan acceder a esas bandas usando técnicas de acceso dinámico al espectro.

El espectro radioeléctrico disponible, oscila entre los (5 a 698) MHz y sus características de propagación son muy altas. Los radios de los espacios en blanco pueden llegar más lejos que en la actualidad 3G y 4G, los radios de Wi-Fi llegarían alcanzar bandas superiores a los Gigahertz, para lo cual tendríamos una alta cobertura de ancho de banda a un costo económico. Actualmente, la IEEE está realizando estudios en la creación de extensiones y estándares para espacios en blanco en WiFi, móviles utilizando extensiones fijas similares a WIMAX y LTE [23].

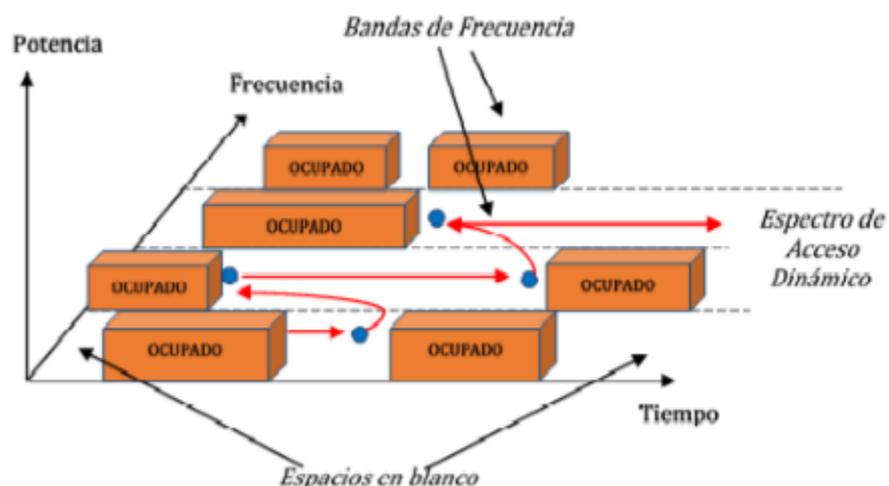


Figura 2. 2 White Space [7].

#### 2.4 Modelos de Markov

El propósito del modelo de Markov, es predecir probabilísticamente un evento siguiente, mediante un proceso estocástico discreto, con estos modelos se puede evaluar para determinar los Espacios en Blancos en la

banda de estudio, y por ende la disponibilidad de canales conjuntos que se estudian en este proyecto.

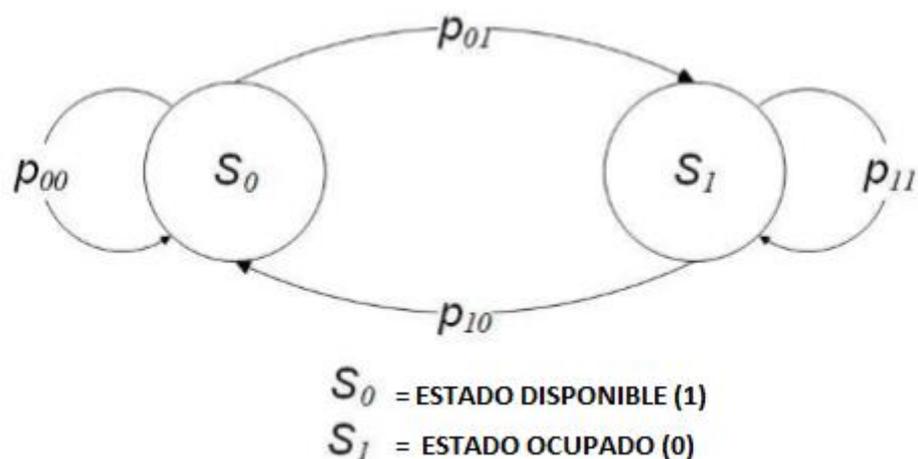


Figura 2. 3 Esquema de Estados del Modelo de Markov.

Con este esquema podemos evaluar los estados que se muestran en nuestro modelo que son disponible representado por el 1 y ocupado representado por el cero para nuestros canales conjuntos, como resultado de este bosquejo se puede sintetizar representándolo en nuestra matriz de transición como se muestra en la figura 2.4:

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix}$$

Figura 2. 4 Matriz de transición de 2x2.

Esta matriz de transición de 2x2 la vamos a obtener con nuestro algoritmo predictivo para cada canal conjunto, indica la probabilidad de que nuestros

canales conjuntos pasen a un estado siguiente o se mantengan en su mismo estado en un intervalo de tiempo determinado.

Existen 4 modelos de Markov que se los utilizan para diferentes eventos, las cuales se detallan a continuación en la Tabla 1:

<b>MODELOS DE MARKOV</b>		
	<b>ESTADO DEL SISTEMA TOTALMENTE OBSERVABLE</b>	<b>ESTADO DEL SISTEMA PARCIALMENTE OBSERVABLE</b>
<b>SISTEMAS AUTÓNOMOS</b>	Cadena de Markov	Modelo Oculto de Markov
<b>SISTEMAS CONTROLADOS</b>	Proceso de Decisión de Markov	Proceso de Decisión de Markov parcialmente observable

Tabla 1 Modelos de Markov.

El análisis de canales conjuntos se basa en un sistema parcialmente observable y completamente autónomo, tomando como referencia nuestra tabla estamos utilizando un modelo oculto de Markov (HMM), aplicado con el método de Baum-Welch, el cual mediante un algoritmo va a permitir estimar los canales conjuntos disponibles con una alta probabilidad en el rango establecido.

En general, los Modelos Markovianos al igual que los modelos estadísticos y temporales no van a considerar el tiempo, en otras palabras, para ellos la predicción no va a considerar valores pasados para poder predecir los valores futuros, y el error máximo que tiene el Modelo de Markov es aproximadamente el 5% [17].

## 2.5 Espectro Radioeléctrico Asignado Al Servicio

La UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT), es el organismo encargado que regulariza la utilización de las frecuencias radioeléctricas [22], estas a su vez están sujetas a normas que evitan en lo posibles conflictos de su uso en un mismo intervalo de frecuencia [18].

En varios países encontramos políticas para el control de uso y utilización del espectro. En Ecuador, ARCOTEL, es la responsable de elaborar, ordenar la información y su utilización en los parámetros técnicos del espectro en las bandas de frecuencia en el país.

Para los Sistemas Troncalizados en el país actualmente se encuentran designadas tres bandas disponibles las cuales son las siguientes:

- 800 MHz tiene 36 bloques numerados de: 1 al 36
- 900 MHz tiene 8 bloques numerados de: 37 al 44
- 400 MHz tiene 10 bloques numerados de: 45 a 54

En el rango de 806 -890 MHz, la cual estamos trabajando, los canales están agrupados en bloques, estos a su vez se encuentran separados por un número fijo que generalmente es de 25 KHz.

Por lo consiguiente cada bloque de canales sucesivo quedaría desplazado en un canal y la separación mínima entre cada canal asignado dentro de un Sistema Troncalizado estaría en el rango de 250KHz y 100KHz en las bandas de 800 MHz y 400 MHz, respectivamente [19].

En la banda de 800 MHz, en los primeros 10 bloques los canales se encuentran seguidos, y en los 26 bloques restantes se encuentran a canal separado.

En la tabla 2 el ARCOTEL muestra los rangos establecidos para la banda de transmisión y recepción.

ch/separa	Banda de transmisión	Banda de recepción	Tec/wb
200/45 MHz	806-811 MHz TX	851 - 856 MHz RX	DIG-25
500/45 MHz	811-824 MHz TX	856 - 869 MHz RX	ANL-25
80/39 MHz	896-898 MHz TX	935 - 937 MHz RX	DIG-25
80/30 MHz	902-904 MHz TX	932 - 934 MHz RX	DIG-25

Tabla 2 Tipos de Bandas para Sistemas Troncalizados [1].

ARCOTEL podrá hacer uso de reducir los canales en estas bandas a 12,5 kHz, si el caso lo amerita.

Dando una breve explicación de la tabla de Bandas de Sistemas Troncalizados obtendríamos:

- Las bandas de frecuencias de 806 - 811 MHz son utilizadas para transmitir (Tx) y las bandas de frecuencias 851 - 856 MHz son usadas para recepción (Rx) de la estación suscrita. Por lo tanto, para la transmisión (Tx) y recepción (Rx) se encuentran divididos en 200 canales cada uno, con una separación de 45 MHz entre sí.
- Las bandas de frecuencias de 811 - 824 MHz son utilizadas para transmisión (Tx) y bandas de frecuencias 856 - 869 MHz son utilizadas para recepción (RX) de la estación suscrita. Por lo tanto,

para la transmisión (Tx) y recepción (Rx) se encuentran divididos en 500 canales cada uno, con una separación entre ellos de 45 MHz entre sí.

- Las bandas de frecuencias de 896 - 898 MHz son utilizadas para transmisión (Tx) y las bandas de frecuencias 935 - 937 MHz que son utilizadas para recepción (Rx) de la estación suscrita. Por lo tanto, para la transmisión (Tx) y recepción (Rx) se encuentran divididos en 80 canales cada uno, con una separación entre ellos de 39 MHz entre sí.
- Las bandas de frecuencias de 902 - 904 MHz son utilizadas para transmisión (TX) y las bandas de frecuencias 932 - 934 MHz que son utilizadas para recepción (RX) de la estación suscrita. Por lo tanto, para la transmisión (TX) y recepción (RX) se encuentran divididos en 80 canales cada uno, con una separación de 30 MHz entre sí.

## **2.6 Acceso Oportunista al Espectro (OSA)**

El Acceso Oportunista al Espectro (OSA) es el conjunto de posibles alternativas la cuales buscan minimizar al máximo el problema de escases en el espectro radioeléctrico ocasionado por las actuales administraciones en el uso asignado de dicho recurso.

Por consiguiente, y bajo las normas de OSA para los usuarios no licenciados que deseen acceder y optimizar al máximo el espectro no utilizado por los usuarios licenciados en algún instante de tiempo, ya que los usuarios licenciados poseen y tienen los derechos de propiedad para el uso exclusivo del espacio del espectro. Las bandas espectrales no utilizadas se conocen como oportunidades

espectrales, que en conjunto constituyen la disponibilidad local e instantánea del recurso radioeléctrico para los usuarios no licenciados. [21]

## 2.7 Radio Cognitiva

Las CR son sistemas inteligentes de comunicación inalámbrica que es consciente de todo lo que sucede en su funcionamiento operacional, por lo cual se adapta a diferentes cambios de determinados parámetros de funcionamiento como son: frecuencia de portadora, potencia de transmisión y modulación.

Los Sistemas de CR tienen que poseer la capacidad de examinar el fenómeno radioeléctrico en un amplio rango de frecuencias con el principal objetivo de poder detectar canales que no están siendo utilizados a los cuales se los conoce como vacíos espectrales. [2] Basándose en que la información adicional y la disponibilidad de canales que proporciona el medio, existen usuarios que hacen uso de un canal que cumpla con los requisitos necesarios para efectuar dicha comunicación.

### 2.7.1 Las funciones principales

Las principales funciones de los radios cognitivos son:

**Detección de espectro:** El principal requisito para el correcto funcionamiento de las CR es que cumplen con la función de localizar el espectro que no está siendo utilizado sin provocar interferencias negativas en otros usuarios. Los métodos para localizar el espectro se lo clasifican en tres categorías:

- **Detección de transmisiones:** Las CR son capaces de identificar de forma inteligente la presencia de una señal de algún usuario utilizando una parte concreta del espectro.
- **Detección cooperativa:** Varios clientes de CR cambian periódicamente información sobre la detección de usuarios principales.
- **Detección basada en interferencias.**

### 2.7.2 Administración del espectro

Utilizar el ancho de banda que necesite el usuario de entre todos los anchos de banda que se encuentren disponibles. Las cuales se determina en dos pasos: El "Análisis de espectro" y la "decisión de espectro".

- **Análisis de espectro:** Analizar e identificar las características de cada banda disponible para saber las ventajas o desventajas de utilizarlo estas pueden ser retardo, probabilidad de error.
- **Decisión de espectro:** Compara las características de cada una de las bandas con las requeridas por el usuario y evalúa cuál es la mejor opción.

### 2.7.3 Movilidad espectral

Es el proceso con la cual una CR puede cambiar su frecuencia de transmisión o recepción. Las CR están creadas con el objetivo de modificar de banda continuamente, a otras mejores, de tal forma que para el usuario esta transición debe ser imperceptible.

### 2.7.4 Compartir el espectro

Encontrar un método que sea equitativo y justo para todos los usuarios de las radios cognitivas sin interferir en las transmisiones de los usuarios legítimos. Es uno de los retos a la hora de diseñar las radios cognitivas.

## **2.8 Condiciones Para El Uso Del Espectro**

La principal ventaja de los Servicios Troncalizados es que comparten de forma automática ciertos números de canales con un mayor número de usuarios, esta característica permite que los servicios sean posibles para este espectro, ya que estos sistemas de comunicación tienen una banda estrecha, pero su mantenimiento e implementación tienen un costo elevado, el cual solo lo podría cubrir las operadoras telefónicas, debido a la alta demanda que existe por los mismos usuarios por el simple hecho de comunicarse, adicionalmente la banda de frecuencia 806 – 869 MHz que actualmente está destinada para nuestro país se encuentra usada de forma ineficiente [21].

# **CAPÍTULO 3**

### 3. MODELAMIENTO DEL ALGORITMO.

En este capítulo se describirán los pasos, metodología, modelamiento y procesos que implicaron el desarrollo del algoritmo predictivo.

La metodología del algoritmo predictivo se basa en la utilización de las técnicas avanzadas de estadísticas de modelización aplicada como son los modelos probabilísticos Bayesianos específicamente a través de una de las derivaciones de los Modelo Oculto de Markov(MOM), como es el método de Baum-Welch [24].

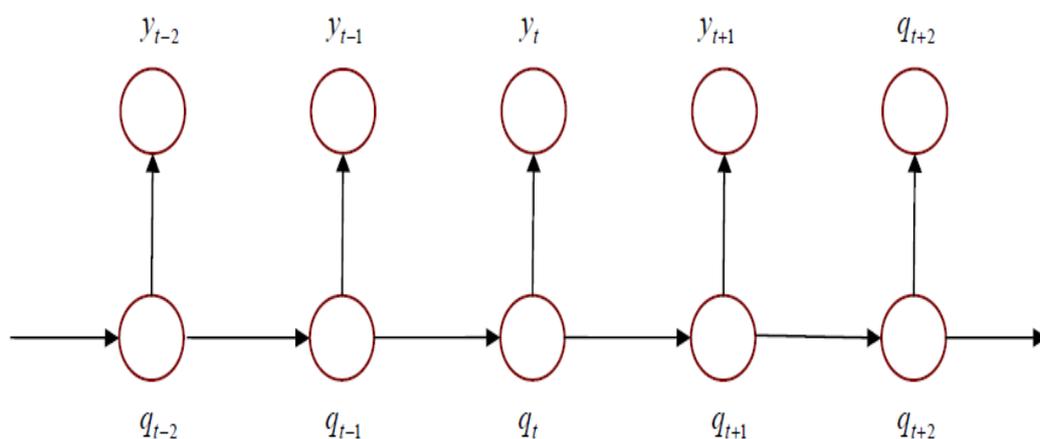


Figura 3. 1 Arquitectura probabilística Bayesiana utilizada el entendimiento del MOM [25].

En la Figura 3.1 se muestra la arquitectura del MOM ,en el cual las observaciones  $y_t$  (variable aleatoria) son dependiente de las variables ocultas  $q_t$  (variable aleatoria) correspondiente a cada estado oculto en el mismo tiempo  $t$ . De la misma

forma se puede notar que cada esta oculto es dependiente de su estado oculto antecesor en un tiempo  $t$  anterior ( $t - 1$ ).

Entendiendo la arquitectura de funcionamiento Bayesiana podemos seguir con el modelamiento de nuestro algoritmo [25].

### 3.1 Modelamiento

El modelamiento de este algoritmo es seguir al pie de la letra lo que indica el modelo oculto de Markov, en lo que respecta a la optimizacion de los parámetros del modelo observado basado en un MOM previo,describiendo la generacion de la mejor secuencia de observación, esto en otras palabras se describe como el método de Baum-welch, el cual parte del MOM con unos parámetros y observaciones iniciales maximizando los posibles caminos o ruta que el algoritmo pudiera aver seguido con un máximo criterio de verosimilitud.

El algoritmo de Baum-Welch puede ser que inicialmente no tiene conocimiento de los parametros  $\lambda = (\pi, A, B)$  donde :

$\pi$  = significa probabilidad de estado inicial;

A = Matriz de transicion y B = Matriz de emision o estados ocultos.

Pero se dispone de una secuencia de observaciones denominadas secuencias de entrenamiento de las cuales se las puede utilizar para maximizar el modelo.Una descripcion formal del modelo seria definir la probabilidad conjunta  $\xi_t (i, j)$  de que un proceso se encuentre en un estado  $i$  en un tiempo  $t$ , y que se produzca una transicion hacia el estado  $j$  en el tiempo  $t + 1$ , dada la secuencia de observacion  $O$  del modelo  $\lambda = (\pi, A, B)$  [25].

Cálculo de la probabilidad conjunta en función de las secuencias de observaciones

:

$$\xi_t(i, j) = P(q_t = i, q_{t+1} = j | O, \lambda) \quad (3.1)$$

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{P(O|\lambda)} \quad (3.2)$$

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N \alpha_t(k) a_{kl} b_l(O_{t+1}) \beta_{t+1}(l)} \quad (3.3)$$

Donde  $\alpha$  y  $\beta$  depende de un estado anterior y un estado de observación adelante, esto es conocido como el algoritmo de adelanto-atraso (forward-backward) [25,p49].

En la figura 3.2 se representa la estimación de la probabilidad conjunta en función del algoritmo de Baum-Welch:

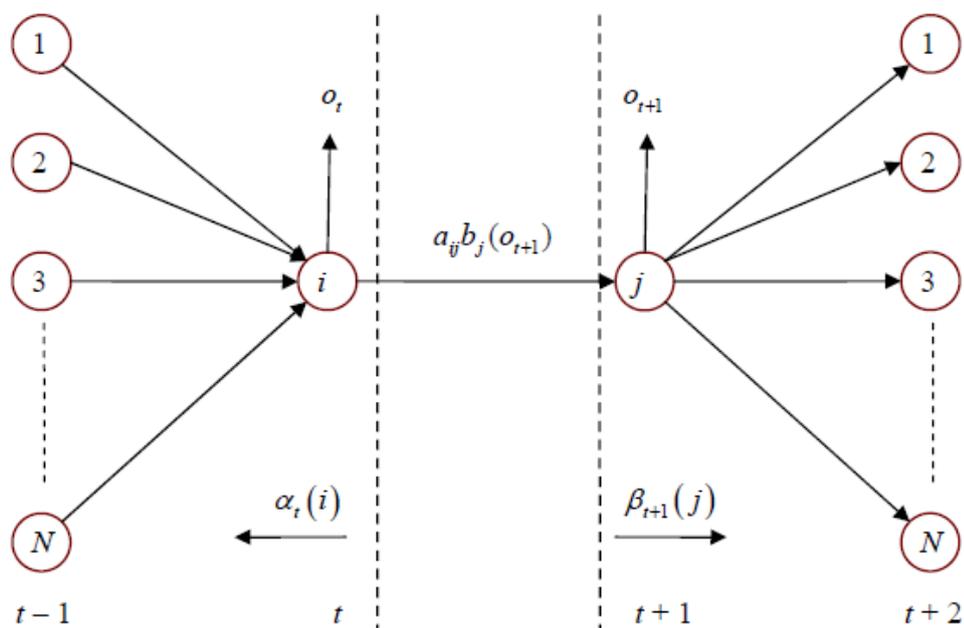


Figura 3. 2 Estructura de cálculo de la probabilidad.

La figura 3.2: Estructura de cálculo de la probabilidad conjunta, explica la transición del modelo de estar en el estado  $i$  en el tiempo  $t$  y luego de estar en el estado  $j$  en el tiempo  $t+1$ .

La siguiente figura 3.3 amplia el funcionamiento del algoritmo de Baum-Welch basándose en el algoritmo adelante – atraso para la fiel reproducción del estado siguiente como objetivo de la predicción.

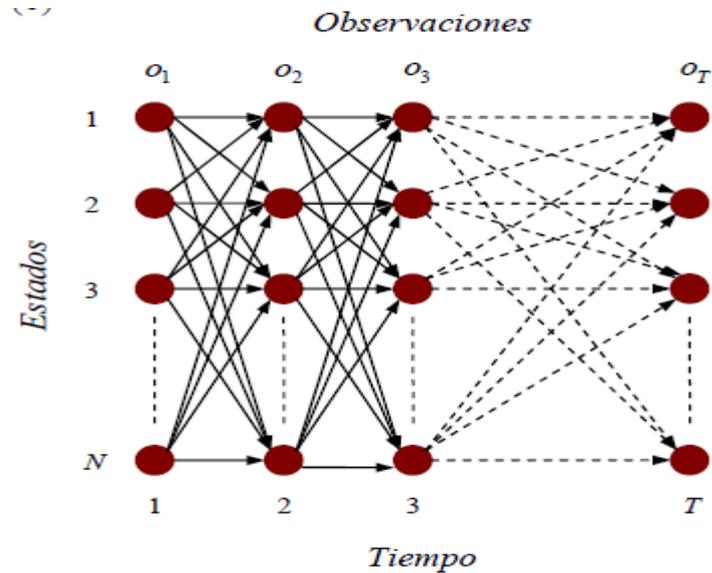


Figura 3.3 Proceso de predicción basado en los N estados y las O observaciones a lo largo del tiempo T.

### 3.2 Predicción

La predicción de este algoritmo inicia con la obtención de la matriz conjunta de los n-canales conjuntos para obtener la matriz de transición del modelo por medio de binopdf (función de distribución de probabilidad binomial acumulada) dicha distribución de probabilidad permite modelar estadísticamente las transiciones de estados de estar ocupado (**B**) a estar disponible (**A**) y viceversa. Donde  $P_a$  = probabilidad de estar disponible y  $P_b$  = probabilidad de estar ocupado.

$$\text{Matriz de transición} = \begin{bmatrix} P_a & 1 - P_a \\ 1 - P_b & P_b \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

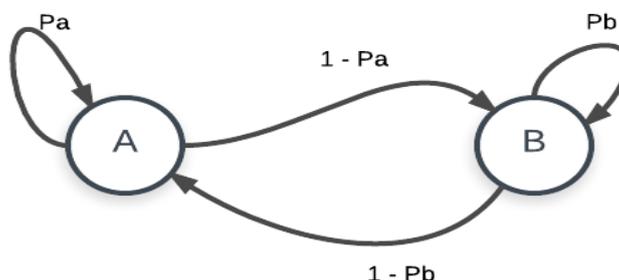


Figura 3. 4 Modelo estimado para la predicción.

### 3.3 Desarrollo del Algoritmo predictivo

Este algoritmo predictivo se basa en aplicar las técnicas estadísticas de modelación Bayesiana antes analizada como también lo es el algoritmo de Baum-Welch bajo el esquema del modelo oculto de Markov (MOM), a través de un flujograma explicaremos paso a paso el funcionamiento y desarrollo del algoritmo predictivo para la solución de estimar n-canales conjuntos sobre el espectro de 806 - 890 MHz.

El funcionamiento del algoritmo utiliza datos reales que fueron censados para diferentes umbrales de potencia (-106 a -94) dBm, dichos datos fueron representados por 0 y 1, representando 0 la "no disponibilidad de canal" y 1 representando la "disponibilidad de canal" para los distintos umbrales, los datos unos y ceros utilizados a partir de una matriz donde cada vector columna de la matriz representa un canal del espectro representado desde izquierda a derecha el espectro de estudio. El algoritmo usa la matriz de datos en Excel asignando esta matriz a una variable en la cual se va a revisar la existencia de disponibilidad de canales conjuntos a lo largo de las filas de la matriz, para posteriormente

obtener la conductividad de canales a través de la variable matriz conjunta. Luego de la matriz conjunta procederemos a calcular la matriz de transición para poder hacer uso del algoritmo de Baum - Welch sobre el toolbox de MATLAB para finalmente estimar la disponibilidad de canales conjuntos, de acuerdo a los datos ingresados, sigue el diagrama de flujo del algoritmo predictivo en la Figura 3.5.

### 3.4 Diagrama de Flujo del algoritmo

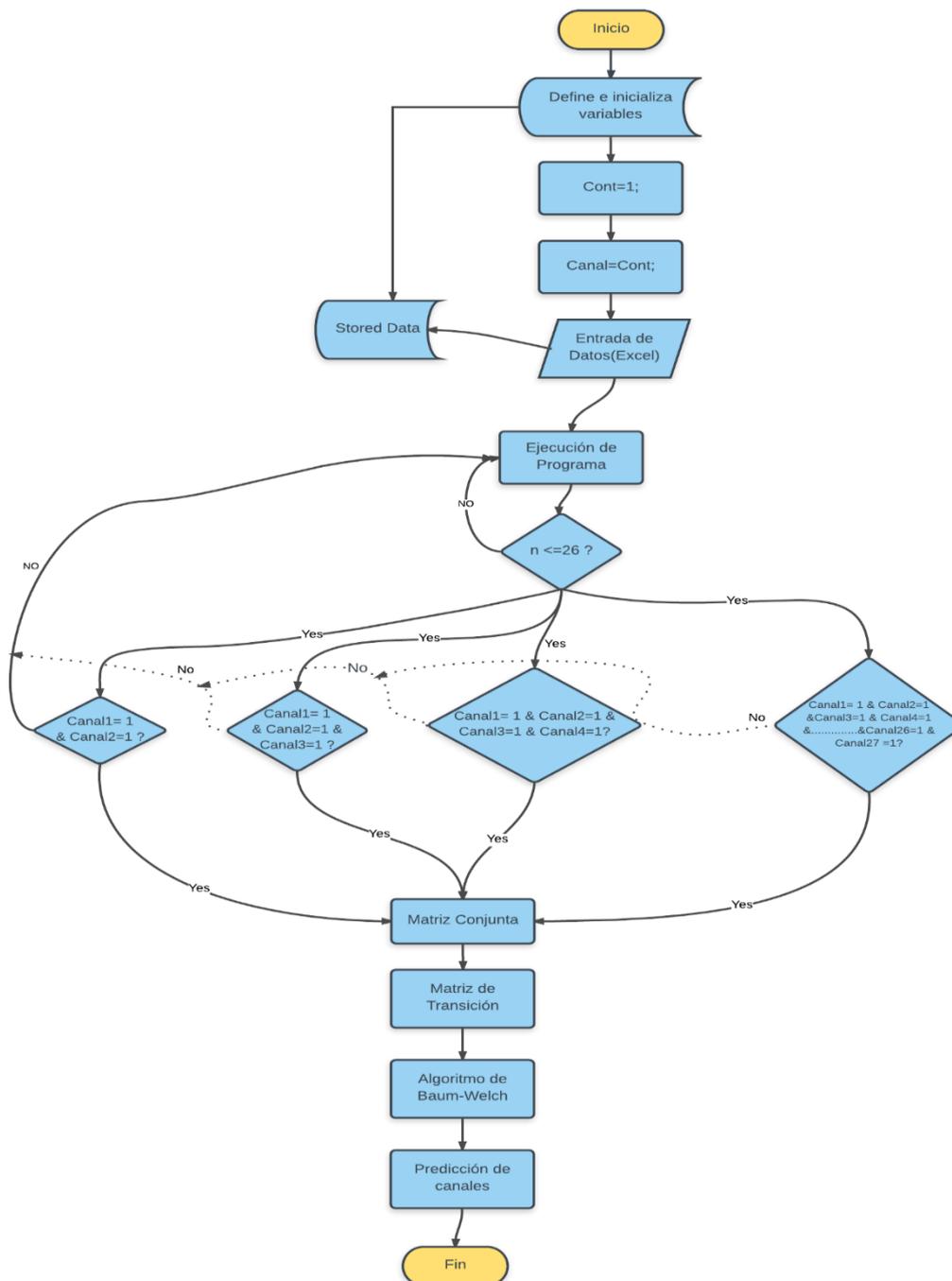


Figura 3. 5 Diagrama de flujo del algoritmo predictivo.

## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS.

En este capítulo se presentarán las gráficas de las simulaciones realizadas para las predicciones efectuadas con el algoritmo predictivo en MATLAB, analizando las predicciones de acuerdo a las muestras tomadas en los diferentes escenarios del edificio (piso 1, piso 9, piso16) ubicado en la ciudad de Guayaquil, pudiendo predecir la disponibilidad de acceso al uso de los n-canales conjuntos para un segmento del espectro ( 27 canales ) en la banda que va del rango de los 806 - 890 MHZ, específicamente las predicciones de disponibilidad son para un sistema troncalizado, similar al cual se habló en el capítulo 2.

Las simulaciones de este capítulo culminan de la forma que se desarrolló el algoritmo en el presente proyecto, producto de la reestimación mediante Baum-Welch aplicando los HMM Toolkit de MATLAB (**hmmtrain.m**) para el efecto.

A continuación, se muestra la predicción de n-canales conjuntos en el lugar de muestreo de acuerdo a los datos obtenidos simulados por el algoritmo predictivo.

#### 4.1 Predicción de n-canales conjuntos por piso.

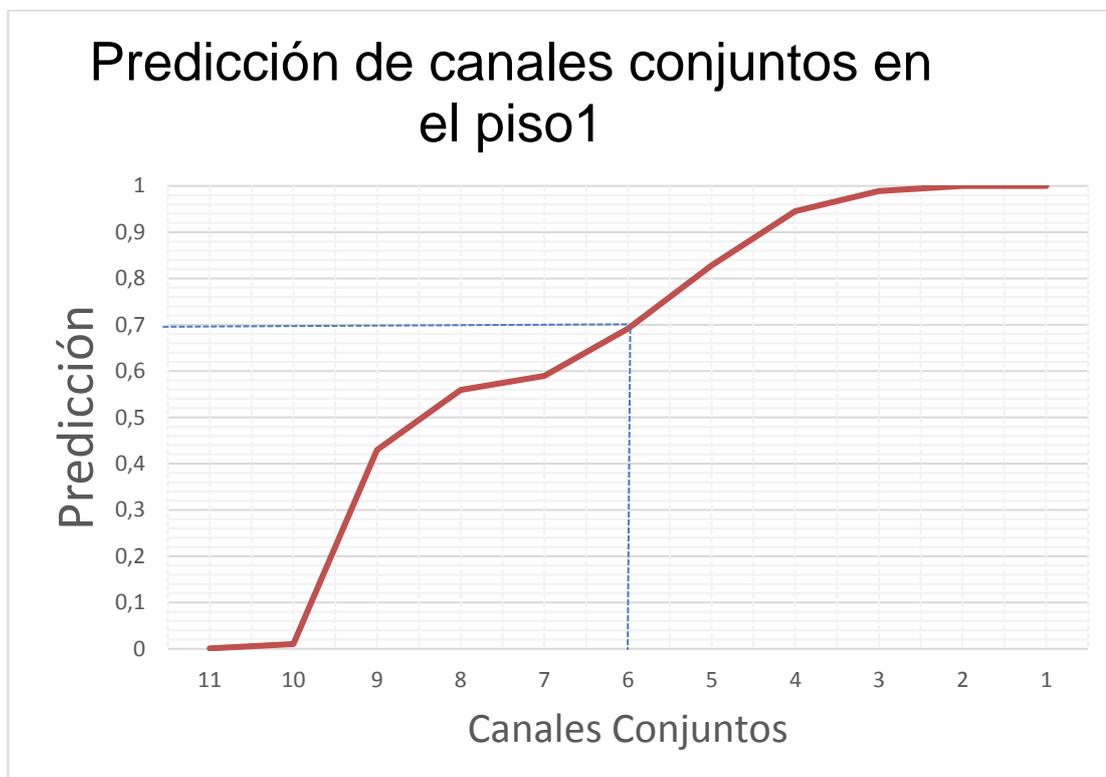


Figura 4. 1 Comportamiento de predicción de canales conjuntos disponibles en el piso 1.

En la Figura 4.1 se muestra la predicción de máximo 11 canales conjuntos para los datos simulados por el algoritmo predictivo, obteniendo una probabilidad de más del 70% con la cual se puede garantizar tener 6 canales conjuntos disponibles en el espectro de estudio. Por lo que no se puede garantizar disponibilidad de canales conjuntos disponibles por obtener niveles de predicción muy bajos de acuerdo a la Figura 4.1.

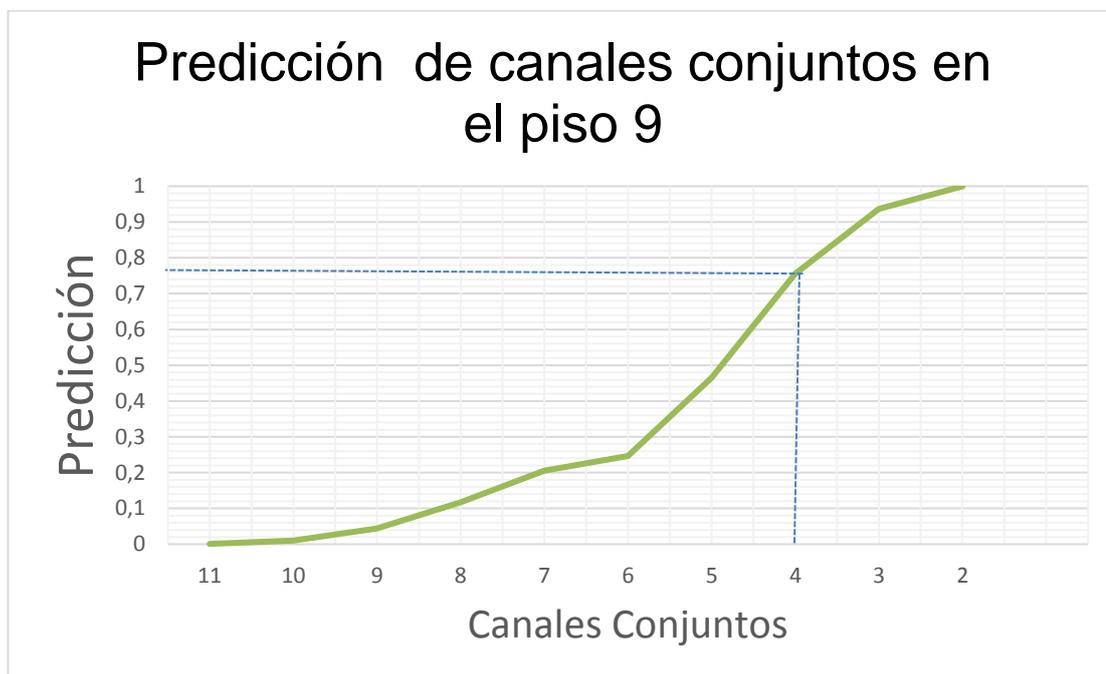


Figura 4. 2 Comportamiento de predicción de canales conjuntos disponibles en el piso 9.

En la Figura 4.2 se muestra el comportamiento de predicciones en el piso 9 del edificio, con un máximo 11 canales conjuntos para los datos simulados por el algoritmo predictivo. Se obtuvo una probabilidad de más del 70% de tener 4 canales conjuntos disponibles como máximo en el espectro de estudio de acuerdo a las predicciones ilustradas.



Figura 4. 3 Comportamiento de predicción de canales conjuntos disponibles en el piso 16.

En la Figura 4.3 se muestra la predicción de máximo 11 canales conjuntos para los datos simulados por el algoritmo predictivo, obteniendo una probabilidad de más del 80% de tener 3 canales conjuntos disponibles en el espectro de estudio de acuerdo a las predicciones resultantes. Siendo una de las probabilidades más bajas para el escenario de estudio para 11 a 4 canales conjuntos, por lo cual no se puede garantizar una disponibilidad conjunta por resultar una predicción muy baja, pero si se podría garantizar disponibilidad conjunta de 3 y 2 canales conjuntos con una predicción alta de más del 80%.

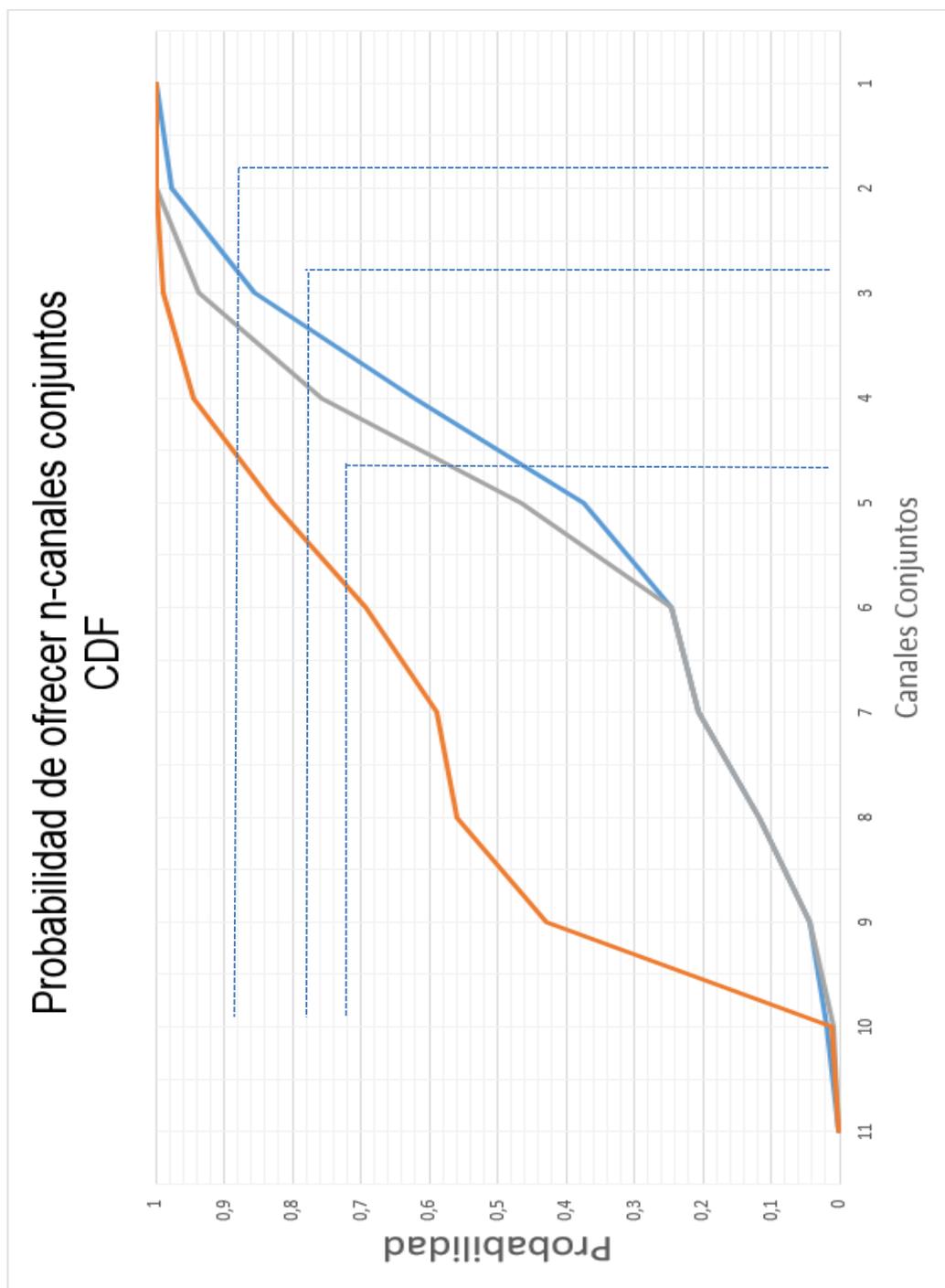


Figura 4. 4 Probabilidad acumulada (CDF) de ofrecer n-canales conjuntos por piso.

En la Figura 4.4 se ilustra el comportamiento de las predicciones realizadas para el espectro de estudio en los diferentes pisos del edificio, en un marco de 11 canales conjuntos con sus respectivos valores de predicción probabilísticas. Garantizando para el piso 1 la presencia de 6 canales conjuntos disponibles por su alto niveles de probabilidad de predicción; Garantizando para el piso 9 la presencia de 4 canales conjuntos disponibles por su alto niveles de probabilidad de predicción; Garantizando para el piso 16 la presencia de 3 canales conjuntos disponibles por su alto niveles de probabilidad de la predicción realizada.

#### **4.2 Predicción de canales conjuntos vs Potencia de uso.**

En la siguiente Figura 4.5 se presenta un análisis gráfico del comportamiento de la predicción de canales conjuntos para distintos umbrales de potencia en dBm considerando 9 canales conjuntos predecidos, en las siguientes figuras 4.5,4.6,4.7 se realizará un análisis más puntual para umbrales de potencias de bordes y centro (-106,-100,-94) dBm respectivamente.

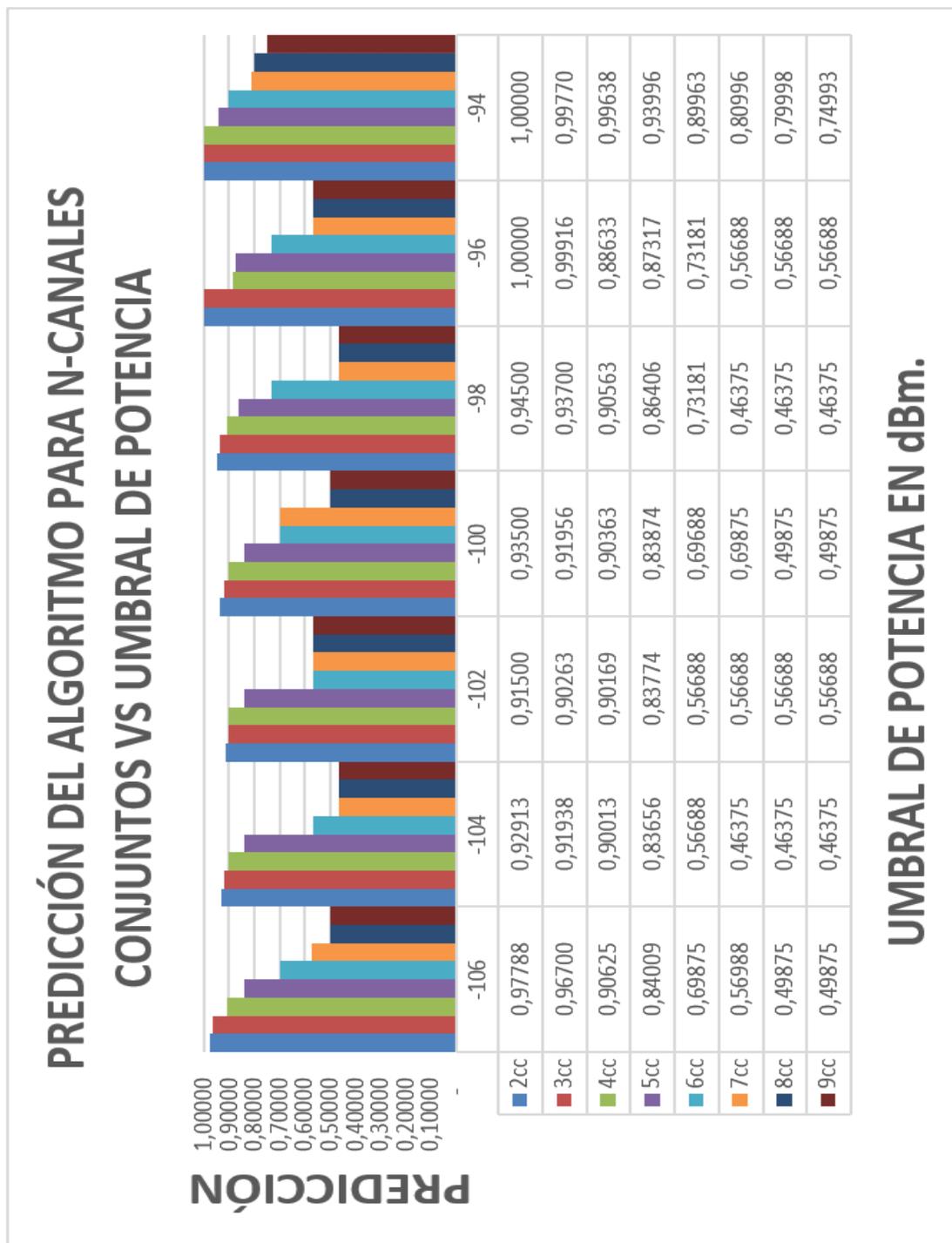


Figura 4. 5 Predicción de canales conjuntos vs Potencia de uso.

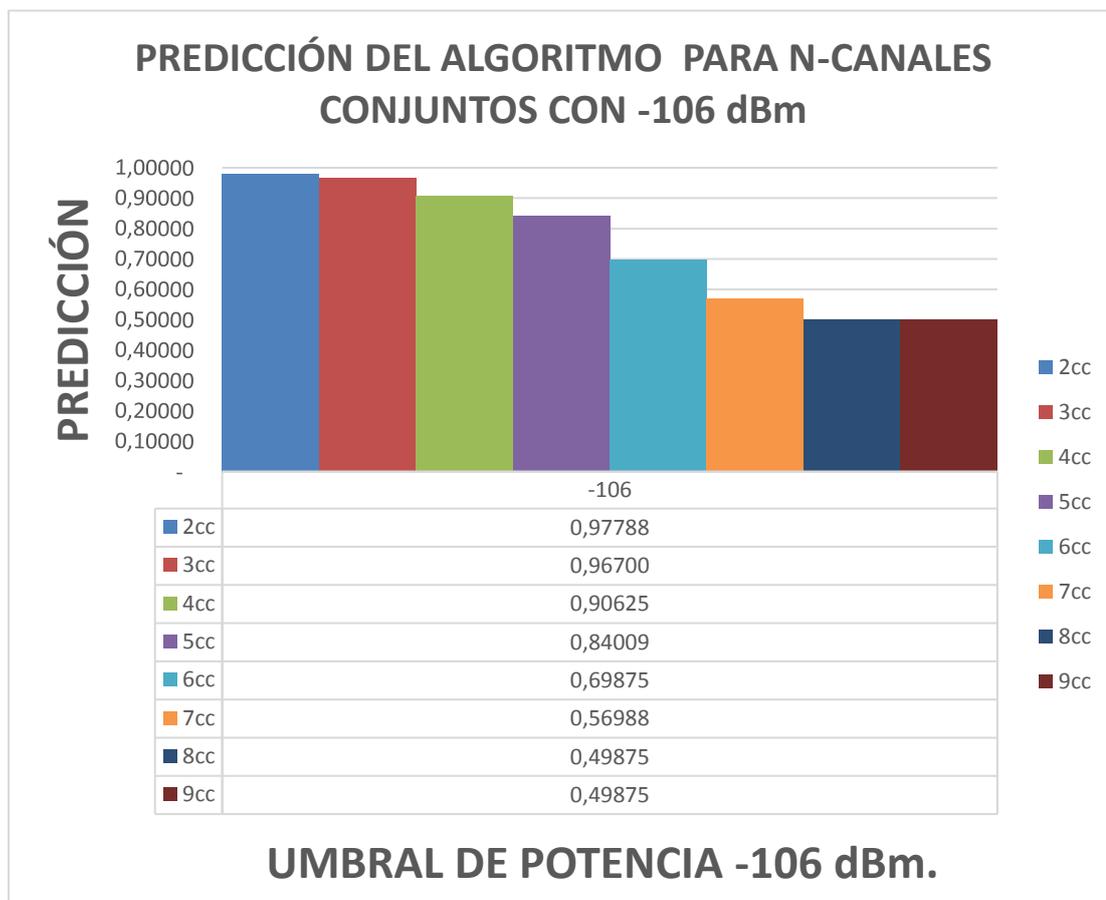


Figura 4. 6 Comportamiento de canales conjuntos con umbral de -106 dBm.

En la predicción para la n-canal conjunta con -106 dBm de umbral que se muestra en la Figura 4.6 se obtuvo una predicción de 84% para 5 canales conjuntos como máximo.

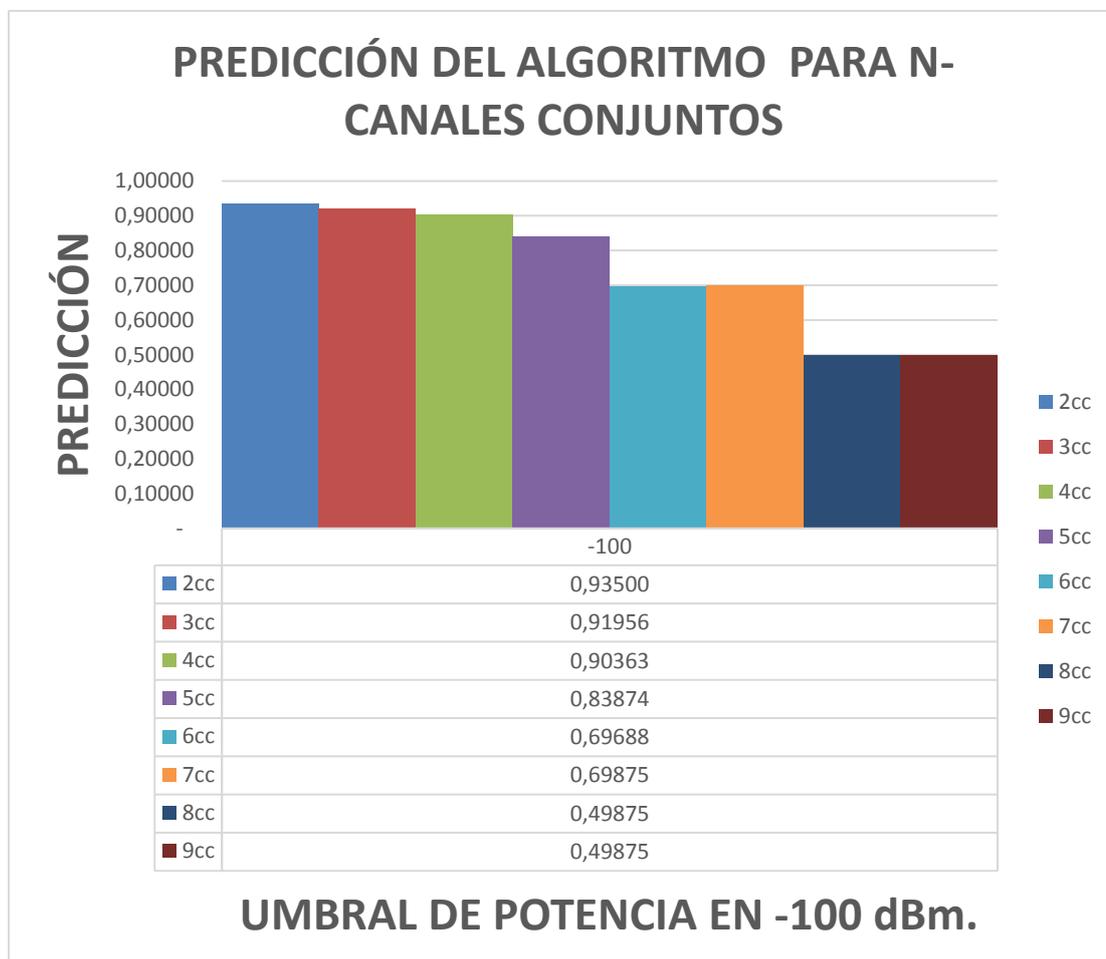


Figura 4. 7 Comportamiento de canales conjuntos con umbral de -100 dBm.

En la predicción para los n-canales conjuntos con -100 dBm de umbral que se muestra en la Figura 4.7 se obtuvo una predicción de 84% para 5 canales conjuntos como máximo de acuerdo al comportamiento predictivo.

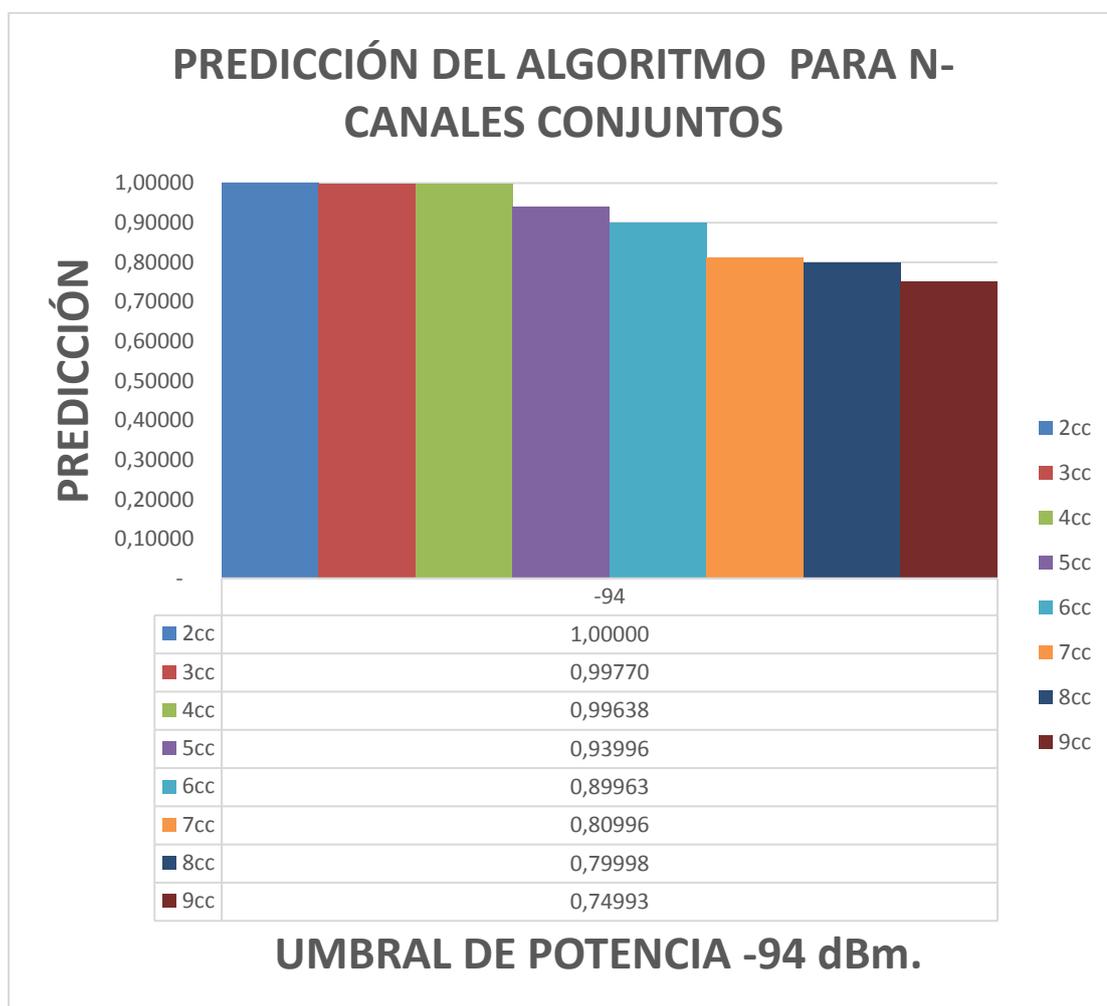


Figura 4. 8 Comportamiento de canales conjuntos con umbral de -94 dBm.

En la predicción para los n-canales conjuntos con -100 dBm de umbral, se muestra en la Figura 4.8 una predicción de 75% para un máximo de 9 canales conjuntos de acuerdo al comportamiento predictivo.

### 4.3 Predicción de disponibilidad instantánea de canales conjuntos por día.

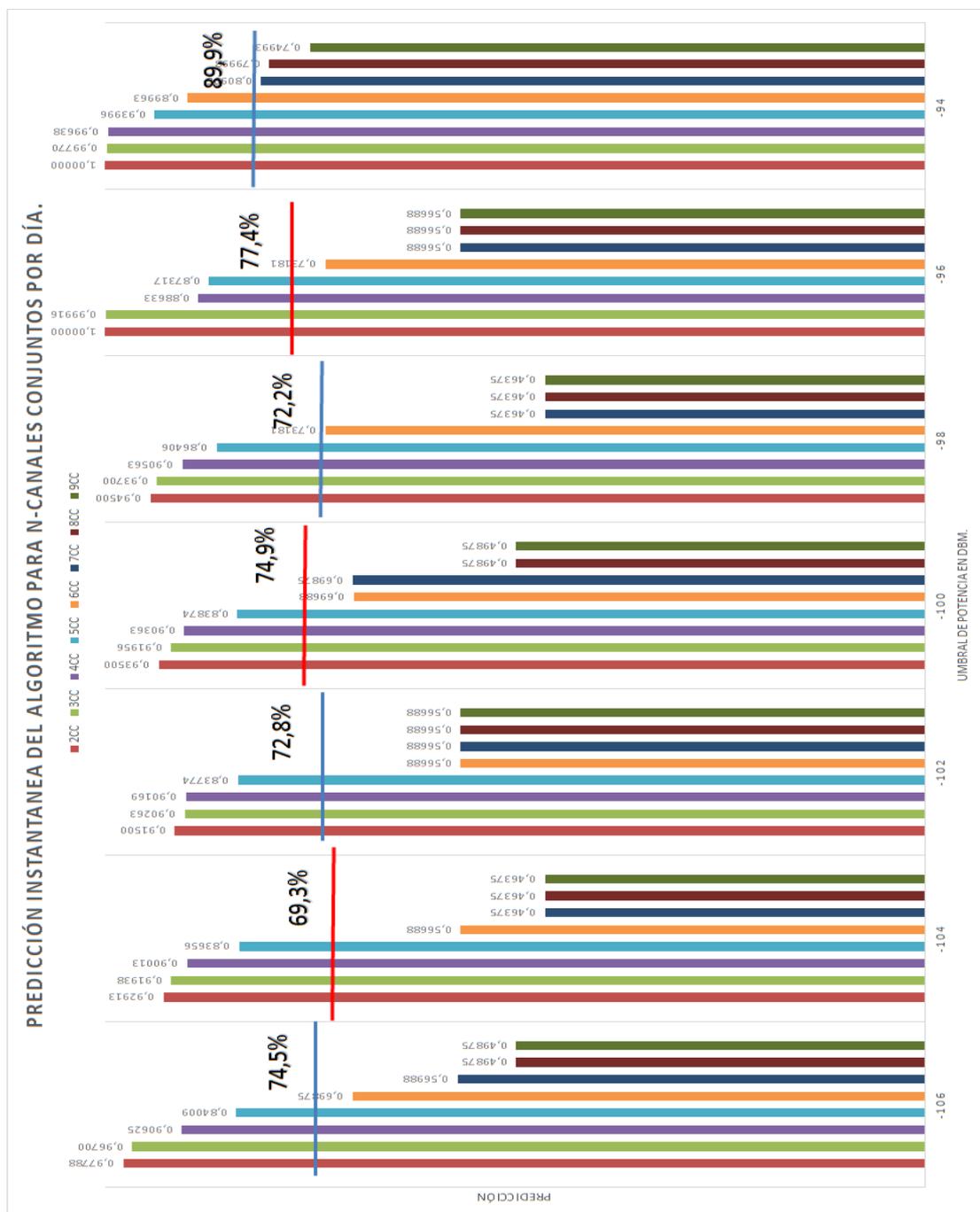


Figura 4. 9 Predicción de disponibilidad instantánea del algoritmo para los n-canales conjuntos vs umbral de potencia de uso por canal.

En la Figura 4.9 la predicción de disponibilidad instantánea se calculó de acuerdo al teorema del método estadístico [26 -p367]. EL cual haciendo analogía con los canales ocupados y disponibles en el espectro de estudio indica, que la disponibilidad instantánea es igual a la probabilidad del canal disponible en el tiempo  $t$  [26].

Para el cálculo de la “predicción de disponibilidad instantánea de canales conjuntos por día”, se lo realizo tomando un promedio de la disponibilidad por día para todos los canales conjuntos disponibles (2,3,4,5,6,7,8,9) como se muestra en las predicciones por umbral de muestreo (-106 a -94) de la Figura 4.9, obteniendo los siguientes promedios de acuerdo a la gráfica 74,5%; 69,3%; 72,8%; 74,9%; 72,2%; 77,4% y 89,9% que equivalen a la disponibilidad instantánea por día para cada umbral de potencia respectivamente. En las siguientes Figuras (4.10,4.11 y 4.12) se puede observar el comportamiento de la predicción instantánea por canal conjunto, a medida que aumenta el nivel de potencia 3 dB la predicción de canales conjuntos aumenta.

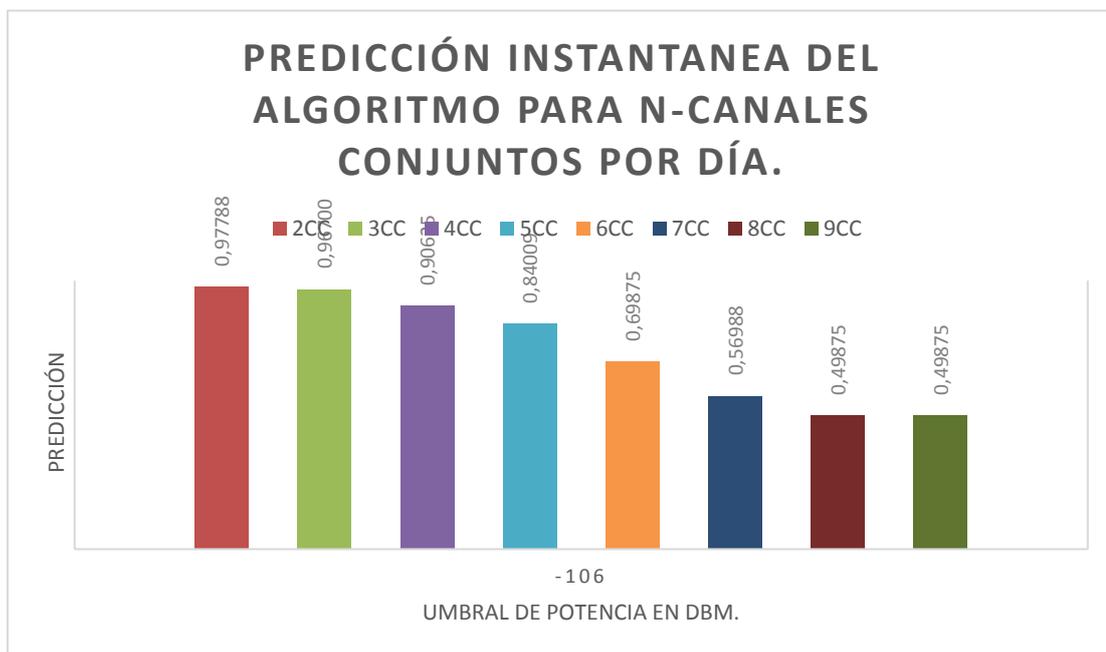


Figura 4. 10 Predicción de disponibilidad instantánea del algoritmo para los n-canales conjuntos para -106 dBm de umbral de potencia por uso de canal.

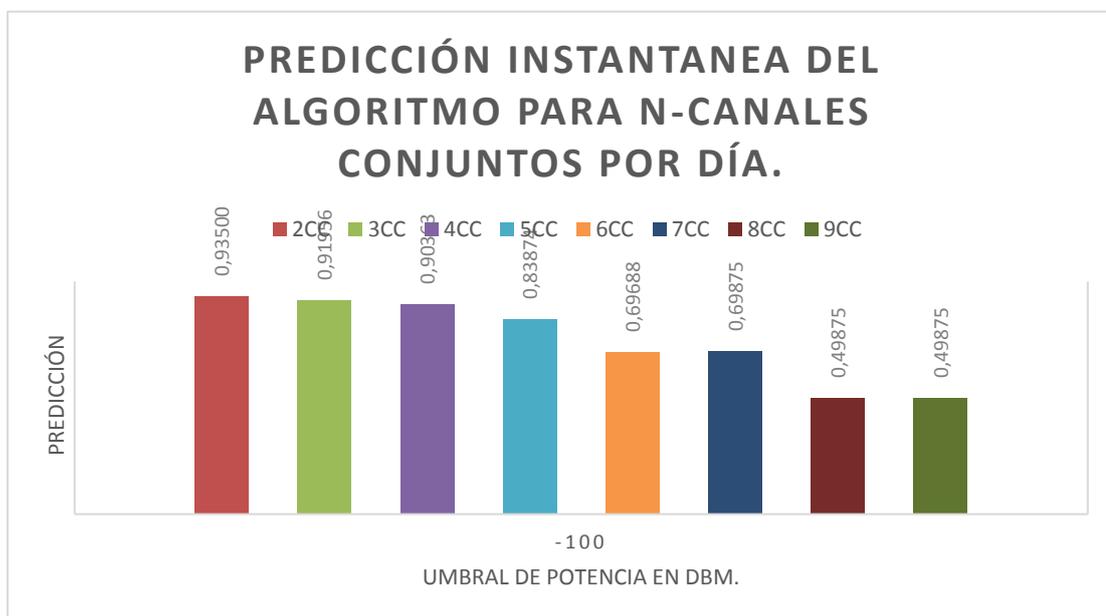


Figura 4. 11 Predicción de disponibilidad instantánea del algoritmo para los n-canales conjuntos para -100 dBm de umbral de potencia por uso de canal.



Figura 4. 12 Predicción de disponibilidad instantánea del algoritmo para los n-canales conjuntos para -94 dBm de umbral de potencia por uso de canal.

Por lo tanto, la disponibilidad instantánea de acuerdo a sus niveles de potencia por canal conjunto es el promedio de sus respectivas probabilidades instantáneas por niveles de potencia lo que equivale al 76% de la disponibilidad instantánea por día para las predicciones realizadas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó el análisis predictivo para los diferentes escenarios (en tres pisos del edificio) utilizando un umbral fijo de potencia de -106 dBm, a través de varias simulaciones obteniendo por cada piso resultados distintos para cada estimación teniendo como resultado para el piso 1 la disponibilidad de 6 canales conjuntos; para el piso 9 se obtuvo una disponibilidad de 4 canales conjuntos y para el piso 16 se obtuvo una disponibilidad de 3 canales conjuntos, asumiendo para los 3 escenarios una probabilidad del 70% de disponibilidad conjunta.

También se realizó un análisis predictivo teniendo en cuenta algunos umbrales de potencia desde -106 a -94 dBm, en los tres escenarios de análisis para estimar la probabilidad de la disponibilidad conjunta de canales, obteniendo como resultado que a medida que se aumentaba el nivel de potencia, la predicción de disponibilidad de canales aumentaba, es decir aumenta el número de canales disponibles con el incremento de 3 a 4 dB de potencia se nota claramente el incremento de probabilidad para canales conjuntos disponibles, pero en algunos casos con valores de probabilidad por debajo del 70%, por lo que no se podría garantizar la disponibilidad de dichos canales conjuntos de acuerdo a los datos obtenidos, según lo asumido.

La simulación fue realizada con un número exacto de 350 muestras con cuya cantidad de muestras se validó la predicción del siguiente estado, comprobando que el algoritmo predecía, Pero no para una cantidad mayor de muestras.

Se recomienda cuando se esté utilizando el toolkit en MATLAB para la ejecución de la predicción del algoritmo de Baum-Welch seguir la guía de MathWorks con respecto a HMM train.m [27].

Otra recomendación tomar un número de muestras para las simulaciones ya que cuando se toma un número mayor a 500 el algoritmo no predice.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Francys Rene (2005). Sistemas Troncalizados [on line]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos65/sistemastroncalizados/sistemastroncalizados2.shtml>.

[2] J.H. Aguilar y A. Navarro, "Radio Cognitiva – Estado del arte", Revista Sistemas y Telemática, Univ. ICESI, vol.9. No.16, 31-53, 2011.

[3] L. Ruiolva y F. Viteri, "Informe técnico de inspección a la radio base Cerro azul", BRUNACCI CIA. LTDA., Guayaquil, Ecuador, Rep. IT-IRC-C-2015-0170, May. 2015.

[4] Manuel Paguay, Juan Abad, "Medición, modelamiento y análisis de disponibilidad de canales en la banda 800 MHz, para el posible uso de dispositivos de acceso óptimo al espectro dentro de un edificio ubicado en el sector norte de la ciudad de guayaquil", Trabajo de Tesis. Facultad de Ingeniería eléctrica y Computación. ESPOL, Guayaquil, Ecuador. 2016.

[5] Enacom. (2003). Sistemas Troncalizados[online]. Disponible en: [https://www.enacom.gob.ar/sistemas-troncalizados\\_p559](https://www.enacom.gob.ar/sistemas-troncalizados_p559).

[6] Qing Zhao; Sadler, B.M., "A Survey of Dynamic Spectrum Access," Signal Processing Magazine, IEEE, vol.24, no.3, pp.79,89, Mayo 2007.

[7] I. F. Akyldiz, W-Y Lee, M C. Vuran, S Mohanty, "NeXtgeneration/dynamic spectrum access/cognitive radio Wireless networks: A Survey", Elsevier, 2006.

[8] Saeed, R.A.; Mokhtar, R.A., "TV white spaces spectrum sensing:Recent developments, opportunities and challenges," Sciences of Electronics, Technologies of Information, and Telecommunications (SETIT), Conference, Marzo 2012.

[9] Conatel, "Reglamento Interoperabilidad Sistemas Troncalizados Concesionados", Resolución del CONATEL 414. Registro oficial 504 de 02-ago-2011. Estado vigente 2011.

[10] Li Zhang; Kai Zeng; Mohapatra, P., "Opportunistic spectrum scheduling for mobile cognitive radio networks in white space," Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2011 IEEE, vol., no., pp.844,849, 28-31 March 2011.

[11] Ericsson Mobility Report, June 2015, ERICSON.

[12] Maribel Tirados. (2014, Marzo 12). El algoritmo de Baum-Welch y el Modelo oculto de Markov. [on line]. Disponible en:<http://www.bigdatahispano.org/noticias/los-bancos-obtienen-valor-de-bigdata-centrandose-en-la-experiencia-de-usuario/>.

[13] Arcotel, (2016, noviembre). Servicio Troncalizado. Disponible en:<http://www.arcotel.gob.ec/sistema-troncalizado/>.

[14] T. Wayne, R. Francys y M. Durban, "Sistemas Troncalizados, Sistemas de comunicación electrónica", Noviembre 2006.

[15] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones Ecuador. Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2012.

[16] Mishra, A. & Johnson, D. White Space Communication: Advances, Developments, and Engineering Challenges Springer International Publishing, 2014.

[17] Liang Yin; Kaishun Wu; Sixing Yin; Shufang Li; Ni, L.M., "Reuse of GSM White Space Spectrum for Cognitive Femtocell Access," Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2012 IEEE 18th International Conference on, vol., no [ pp.1,7, 17-19] Dec. 2012.

[18] A. Delgado, (2009, Julio 17). El Espectro Radioeléctrico, un recurso natural limitado.[online].Disponible en:<http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2009/07/17/186335.php>.

[19] Arcotel, Información obtenida del INFORME 901-1 del CCITT-R "Método de asignación de frecuencias para sistemas de control de enlaces del servicio móvil", Guayaquil, Ecuador, Mayo. 2015.

[20] Conatel, (2000, Julio 20) Resolución No. ST-94-028, "Reglamento para la explotación de los Sistemas Troncalizados", Quito, Ecuador. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Reglamento-y-norma-tecnica-para-los-sistemas-troncalizados.pdf>.Arcotel, (2015, octubre), Servicio Troncalizado. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-troncalizado-strc/>.

[21] D. Ospina, A. Ocampo y R. Hincapié. "Aplicación de esquemas al Acceso Oportunista al Espectro en ambientes Inalámbricos heterogéneos", Univ. Pontificia Bolivariana, Medellín, Junio, 2011.

[22] Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), «Definición de la eficacia en la utilización del espectro por un sistema de radiocomunicaciones», Rec UIT-R SM.10462, Ginebra, Unión Internacional de Telecomunicaciones, p. 1-5, 2006.

[23] J. Gómez, "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". Trabajo de titulación 2015.

[24] F. Gelgi, H. Davulcu, "Baum-Welch Style EM Approach on Simple Bayesian Models for Web Data Annotation", Departamento de ingeniería y ciencias computacionales, Universidad del estado de Arizona, pp3,2007, Disponible en: <http://www.public.asu.edu/~hdavulcu/WI-2007.pdf>.

[25] Dr. O. Bustos, C. Fernández, "Modelos Ocultos de Markov aplicados al reconocimiento de patrones del análisis técnico bursátil", Universidad Nacional de Córdoba, faculta de Matemáticas, Astronomía y Física, Córdoba, Cap 3 pp 39-40.

[26] M. Rausand, A. Hyland "System Reliability Theory Models and Statistical Methods" Francia. 2004.

[27] Math Words (2017). HMMtrain.m. Disponible en: [https://www.mathworks.com/help/stats/hmmtrain.html?s\\_tid=answers\\_rc1\\_p4\\_BOTH](https://www.mathworks.com/help/stats/hmmtrain.html?s_tid=answers_rc1_p4_BOTH).

[28] van de Beek, J.; Riihijarvi, J.; Achtzehn, A.; Mahonen, P., "TV White Space in Europe," Mobile Computing, IEEE Transactions on, vol.11, no.2, pp.178,179, Feb. 2012.

[29] Welch, L.R. (2003). Hidden Markov Models and the BaumWelch Algorithm. IEEE Information Theory Society Newsletter, 53.

## ANEXOS

### ABREVIATURAS

OSA:	Acceso Oportunista al Espectro.
CR:	Radio Cognitiva.
WS:	White Spaces.
DSA:	Acceso Dinámico al Espectro.
DFS:	Dynamic Frequency Selection.
IEEE:	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
3G	third generation (3ra generación de tecnología móvil).
4G	fourth generation(4ta generación de tecnología móvil).
WIFI:	Wireless Fidelity.
WIMAX:	Worldwide Interpolarity for Microwave Access
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
USRP:	Universal Serial Radio Peripheral.
ARCOTEL:	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.
MOM o HMM:	Modelo Oculto de Markov.
$\lambda$ :	Umbral mínimo de recepción.
CDF:	Cumulative distribution function.
dBm:	Potencia de radio en dB tomando como referencia la potencia en milivatios (mW).

BLOQUE	GRUPO	No de CANAL	FREC. Tx (MHz)	FREC. Rx (MHz)	RESULTADO DE VERIFICACIÓN
2 (25.00 kHz)	1	21	806,5125	851,5125	en uso
		22	806,5375	851,5375	en uso
		23	806,5625	851,5625	en uso
		24	806,5875	851,5875	en uso
		25	806,6125	851,6125	en uso
2 (25.00 kHz)	2	26	806,6375	851,6375	Frecuencia no operativa
		27	806,6625	851,6625	Frecuencia no operativa
		28	806,6875	851,6875	Frecuencia no operativa
		29	806,7125	851,7125	Frecuencia no operativa
		30	806,7375	851,7375	Frecuencia no operativa
2 (25.00 kHz)	3	31	806,7625	851,7625	Frecuencia no operativa
		32	806,7875	851,7875	Frecuencia no operativa
		33	806,8125	851,8125	Frecuencia no operativa
		34	806,8375	851,8375	Frecuencia no operativa
		35	806,8625	851,8625	Frecuencia no operativa
2 (25.00 kHz)	4	36	806,8875	851,8875	Frecuencia no operativa
		37	806,9125	851,9125	Frecuencia no operativa
		38	806,9375	851,9375	Frecuencia no operativa
		39	806,9625	851,9625	Frecuencia no operativa
		40	806,9875	851,9875	Frecuencia no operativa
3 (25.00 kHz)	3	51	807,2625	852,2625	Frecuencia no operativa
		52	807,2875	852,2875	Frecuencia no operativa
		53	807,3125	852,3125	Frecuencia no operativa
		54	807,3375	852,3375	Frecuencia no operativa
		55	807,3625	852,3625	Frecuencia no operativa
3 (25.00 kHz)	4	56	807,3875	852,3875	Frecuencia no operativa
		57	807,4125	852,4125	Frecuencia no operativa
		58	807,4375	852,4375	Frecuencia no operativa
		59	807,4625	852,4625	Frecuencia no operativa
		60	807,4875	852,4875	Frecuencia no operativa
21 (25.00 kHz)	1	401	816,0125	861,0125	en uso
		441	817,0125	862,0125	Frecuencia no operativa
		481	818,0125	863,0125	en uso
		521	819,0125	864,0125	Frecuencia no operativa
		561	820,0125	865,0125	en uso
21 (25.00 kHz)	2	411	816,2625	861,2625	Frecuencia no operativa
		451	817,2625	862,2625	Frecuencia no operativa
		491	818,2625	863,2625	en uso
		531	819,2625	864,2625	en uso
		571	820,2625	865,2625	en uso
21 (25.00 kHz)	3	421	816,5125	861,5125	en uso
		461	817,5125	862,5125	Frecuencia no operativa
		501	818,5125	863,5125	en uso
		541	819,5125	864,5125	en uso
		581	820,5125	865,5125	Frecuencia no operativa
21 (25.00 kHz)	4	431	816,7625	861,7625	en uso
		471	817,7625	862,7625	en uso
		511	818,7625	863,7625	en uso
		551	819,7625	864,7625	Frecuencia no operativa
		591	820,7625	865,7625	en uso

27 (25.00 kHz)	1	407	816,1625	861,1625	en uso
		447	817,1625	862,1625	en uso
		487	818,1625	863,1625	en uso
		527	819,1625	864,1625	en uso
		567	820,1625	865,1625	Frecuencia no operativa
27 (25.00 kHz)	2	417	816,4125	861,4125	Frecuencia no operativa
		457	817,4125	862,4125	en uso
		497	818,4125	863,4125	Frecuencia no operativa
		537	819,4125	864,4125	en uso
		577	820,4125	865,4125	en uso
27 (25.00 kHz)	3	427	816,6625	861,6625	Frecuencia no operativa
		467	817,6625	862,6625	Frecuencia no operativa
		507	818,6625	863,6625	Frecuencia no operativa
		547	819,6625	864,6625	Frecuencia no operativa
		587	820,6625	865,6625	Frecuencia no operativa
27 (25.00 kHz)	4	437	816,9125	861,9125	Frecuencia no operativa
		477	817,9125	862,9125	Frecuencia no operativa
		517	818,9125	863,9125	Frecuencia no operativa
		557	819,9125	864,9125	en uso
		597	820,9125	865,9125	Frecuencia no operativa

Tabla 3: Uso de frecuencias, canalización y ancho de banda autorizados, en la se puede observar que 26 pares de frecuencias se encuentran implementadas y operativas de la radio base ubicada en Cerro Azul.

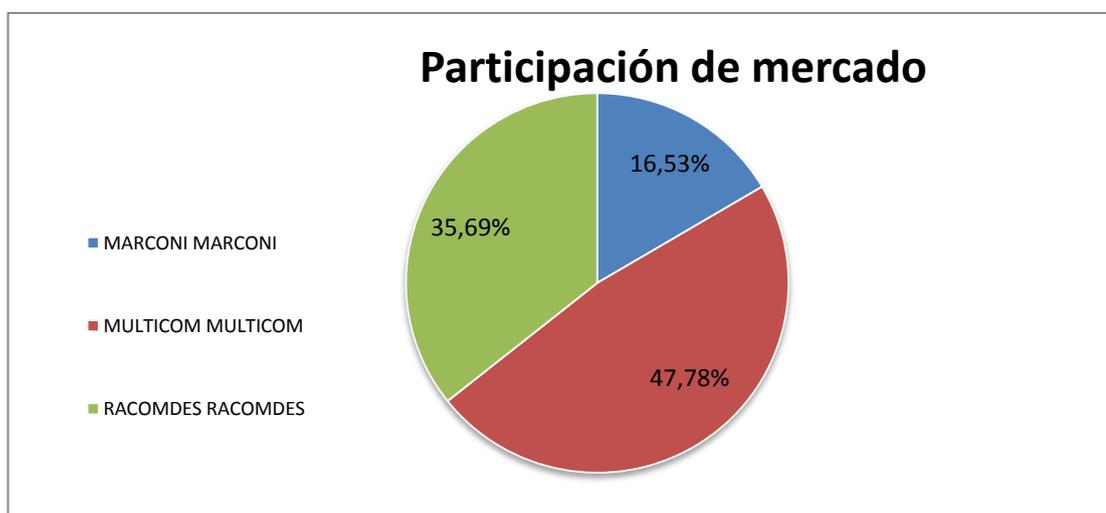


Figura 21: Participación de mercado de empresas en el Ecuador de Servicios Troncalizados (ARCOTEL)

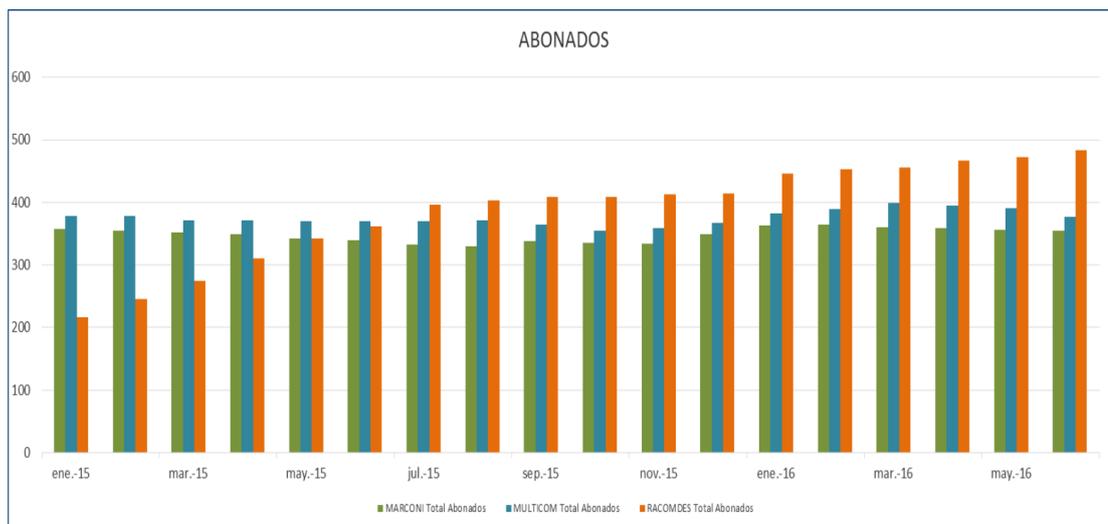


Figura 22: Evolución mensual de Abonados por Empresa en el Ecuador (ARCOTEL)

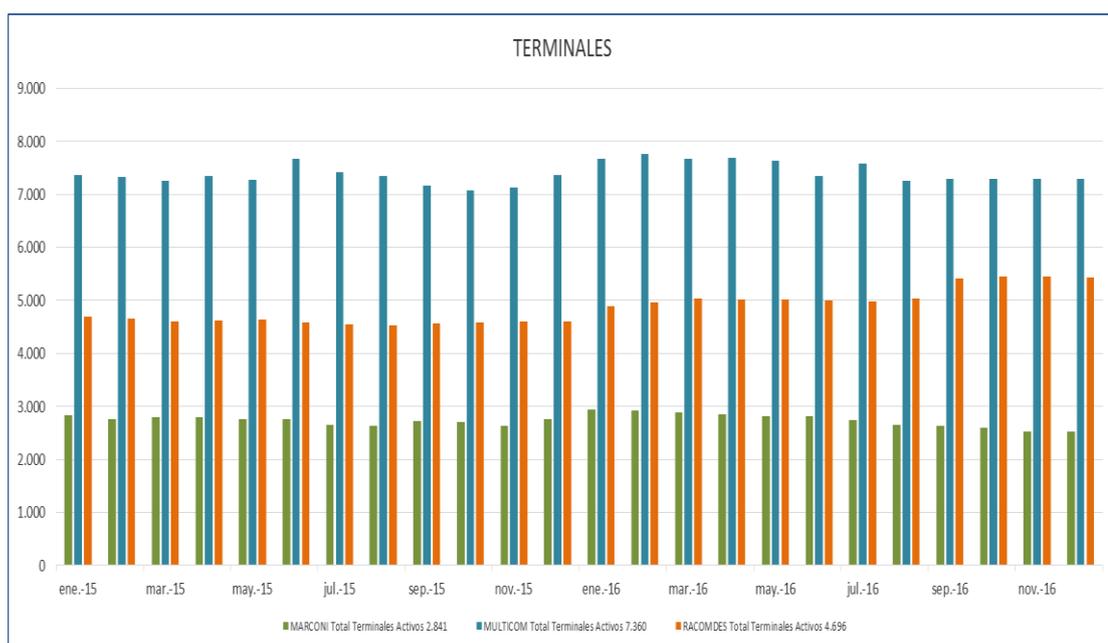


Figura 23: Evolución mensual de Terminales por Empresa en el Ecuador (ARCOTEL)

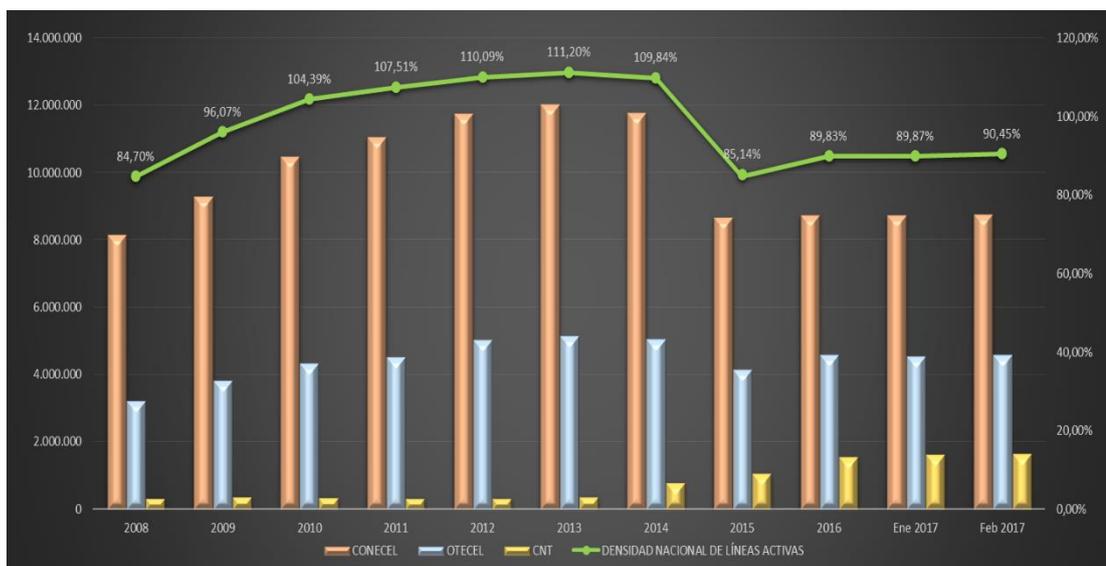


Figura 24: Evolución de líneas activas y densidad de servicio móvil avanzado en el Ecuador (ARCOTEL)

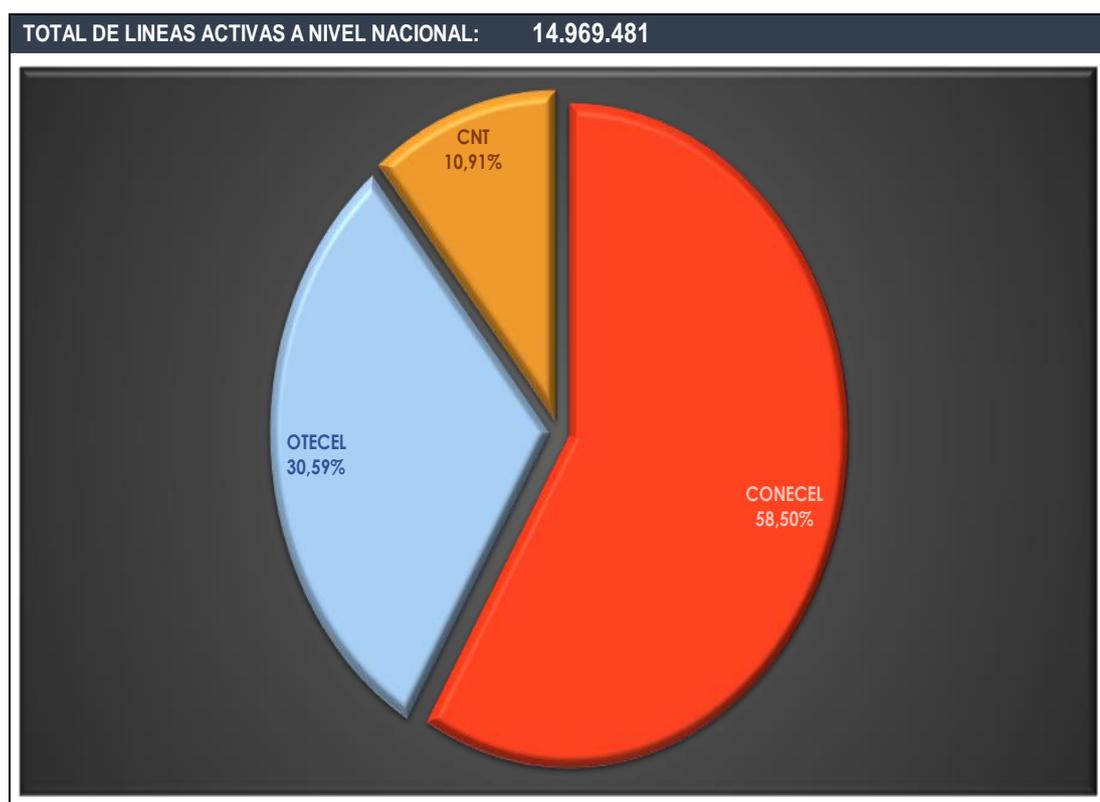


Figura 25: Participación de mercado de servicio móvil avanzado en el Ecuador (ARCOTEL)

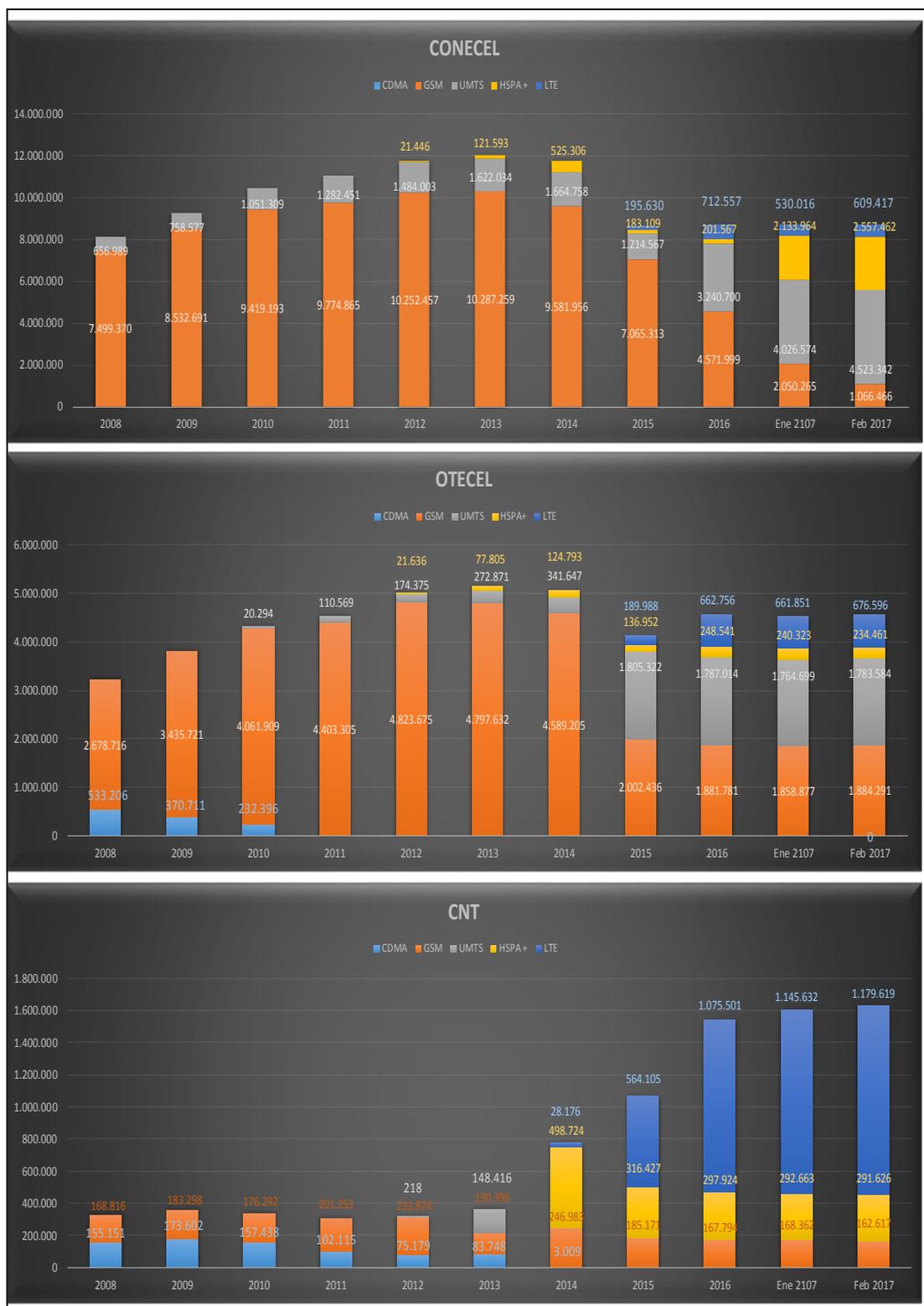


Figura 26: Evolución de tecnología por prestadora en el Ecuador (ARCOTEL)



Figura 27: Evolución Tecnológica del servicio móvil en el Ecuador (ARCOTEL)

Rango (698MHz-960MHz)	Frecuencia inicial – Frecuencia final
<b>RADIODIFUSIÓN</b>	(698 – 806) MHz
<b>FIJO MÓVIL</b>	(806 – 890) MHz
<b>FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización</b>	(890- 902) MHz
<b>FIJO</b>	(902- 928) MHz
<b>FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico</b>	(928- 942) MHz
<b>FIJO MÓVIL</b>	(942- 960) MHz

Tabla 4: Servicios en el rango de frecuencias de 698 MHz a 960 MHz

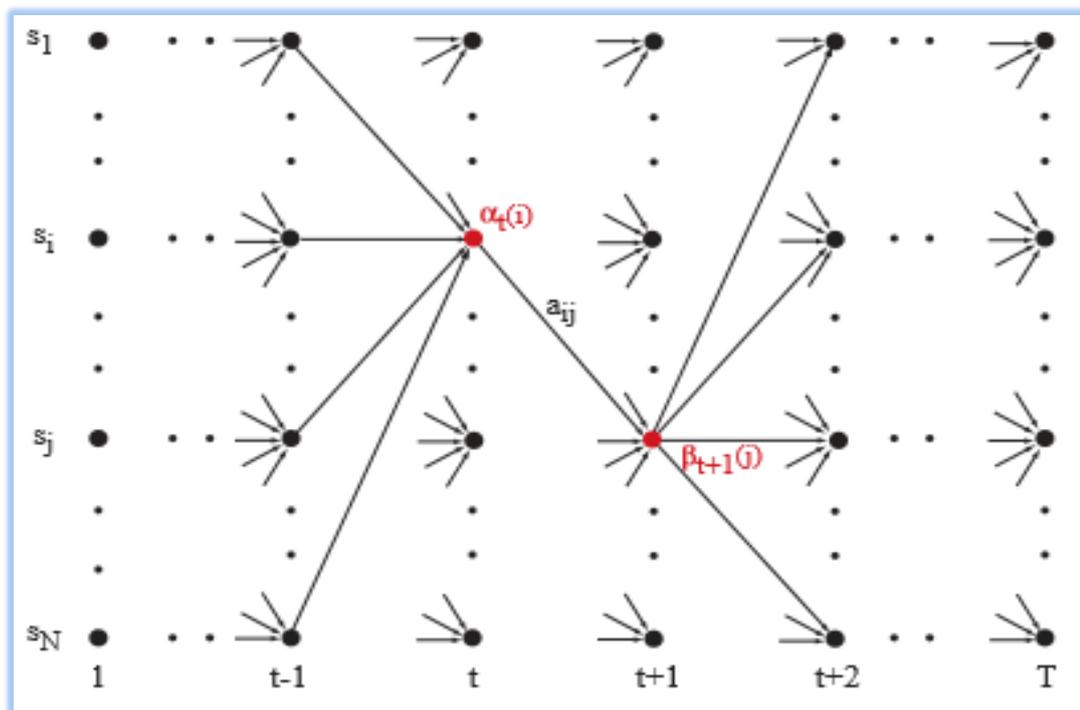


Figura 28: Procedimientos de reestimación de Baum – Welch

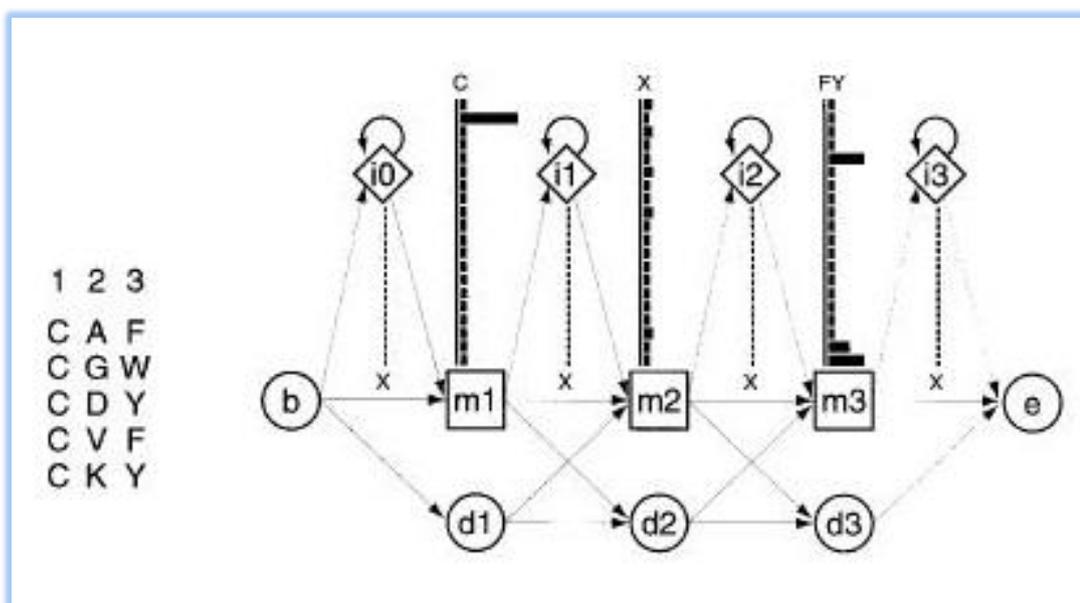


Figura 29: Muestra un HMM para un alineamiento de cuatro secuencias con tres posiciones

Software	URL
SAM	<a href="http://www.cse.ucsc.edu/research/compbio/sam.html">http://www.cse.ucsc.edu/research/compbio/sam.html</a>
HMMER	<a href="http://hmmmer.wustl.edu/">http://hmmmer.wustl.edu/</a>
PFTOOLS	<a href="http://alrec3.unil.ch:80/profile/">http://alrec3.unil.ch:80/profile/</a>
HMMpro	<a href="http://www.netid.com/">http://www.netid.com/</a>
GENEWISE	<a href="http://www.sanger.ac.uk/Software/Wise2/">http://www.sanger.ac.uk/Software/Wise2/</a>
PROBE	<a href="ftp://ncbi.nlm.nih.gov/pub/neurwald/probel.0/">ftp://ncbi.nlm.nih.gov/pub/neurwald/probel.0/</a>
META-MEME	<a href="http://www.cse.ucsd.edu/users/bgrundy/metameme.1.0.html">http://www.cse.ucsd.edu/users/bgrundy/metameme.1.0.html</a>
BLOCKS	<a href="http://www.blocks.facrc.org/">http://www.blocks.facrc.org/</a>
PSI-BLAST	<a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/newblast.html">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/newblast.html</a>

Tabla 5: Software para perfiles HMM

Programa	Aplicaciones	Sitio
HMMER "hammer"	Búsqueda de familias de proteínas a partir de un alineamiento múltiple Emisión de secuencias patrón	<a href="http://hmmmer.wustl.edu">http://hmmmer.wustl.edu</a> <a href="http://bioweb.pasteur.fr/seqanal/motif/hmmmer-uk.html">http://bioweb.pasteur.fr/seqanal/motif/hmmmer-uk.html</a>
SAM	Idem HMMER	<a href="http://www.cse.ucsc.edu/research/compbio/sam.html">http://www.cse.ucsc.edu/research/compbio/sam.html</a>
Meta-meme	Búsqueda de motivos en alineamientos sin gaps (menos parámetros para ajustar)	<a href="http://metameme.sdsc.edu/">http://metameme.sdsc.edu/</a>
HMMPro	Programa comercial. Idem HMMER más interface gráfica	<a href="http://www.nwtid.com/html/hmmpro.html">http://www.nwtid.com/html/hmmpro.html</a>
Pfam	Banco de alineamientos múltiples y HMMs de las familias y dominios proteicos más <u>comunes</u> (5193 filias)	Tipos de Pfam: - Family - Domain - Repetido (en tandem forma dominio) - Motivo (unidad de secuencia corta por fuera de los dominios)  <a href="http://pfam.wustl.edu/">http://pfam.wustl.edu/</a> <a href="http://www.sanger.ac.uk/Software/Pfam/index.shtml">http://www.sanger.ac.uk/Software/Pfam/index.shtml</a>

Tabla 6: Programas que utilizan HMM

- [hmmgenerate](#) — Generates a sequence of states and emissions from a Markov model
- [hmmestimate](#) — Calculates maximum likelihood estimates of transition and emission probabilities from a sequence of emissions and a known sequence of states
- [hmmtrain](#) — Calculates maximum likelihood estimates of transition and emission probabilities from a sequence of emissions
- [hmmviterbi](#) — Calculates the most probable state path for a hidden Markov model
- [hmmdecode](#) — Calculates the posterior state probabilities of a sequence of emissions

Figura 30: Funciones de Statistics Toolbox relacionadas con HMM

```
for (curr = 0; curr < nStates; curr++) {
    for (prev = 0; prev < nStates; prev++) {
        prob = prev_dist[prev] + transition[prev*nStates + curr];
        ...
    }
}
```

Figura 31: La versión original del Algoritmo

```
index = globalId * localSize + localId;
for (curr = index; curr < nStates; curr += localSize*globalSize) {
    for (prev = 0; prev < nStates; prev++) {
        prob = prev_dist[prev] + transition[prev*nStates + curr];
        ...
    }
}
```

Figura 32: Versión distribuida del Algoritmo