



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

“DISEÑO DE ALGORITMO DE PREDICCIÓN PARA ANALIZAR Y
DETECTAR LA DISPONIBILIDAD ESPECTRAL EN CANALES LIBRES O
SUBUTILIZADOS DE LA BANDA UHF-TV EN EL INTERIOR DE UN
EDIFICIO USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Juan José López Rosado

Jimmy Joel Ubilla Jurado

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme alcanzar esta meta y a todas las personas que de alguna manera u otra me ayudaron y motivaron a lograr este objetivo anhelado.

A mis padres, mi familia, mis amistades y mis profesores que durante esta etapa de mi vida me enseñaron lecciones que me servirán tanto en la vida profesional como en la personal. Por último, agradezco a mis compañeros y amigos con los cuales compartí aula y viví duros y gratos momentos. Muchas gracias a todos.

Juan José López Rosado

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres que me apoyaron desde el inicio de mis estudios de manera emocional y económica, a mis familiares que me alentaron cada día para ser una mejor persona y estudiante, a mis amistades que gracias a ellos pude compartir grandes experiencias tanto de manera educativa en la Universidad como en lo personal y a mis profesores que gracias a ellos en el proceso de mis estudios me apoyaron y me enseñaron todo lo necesario para mi vida profesional.

Jimmy Joel Ubilla Jurado

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a Dios por bendecirme y guiarme en todo momento. A mi padre, que ya partió de este mundo y quién me enseñó a luchar ante cualquier adversidad y a ser perseverante para alcanzar mis objetivos. A mi madre, que siempre me ha apoyado incondicionalmente en todo paso que he dado, y quién es el motor de mi vida y mi ejemplo a seguir. A mi hermana y hermano, por brindarme apoyo en distintas etapas de mi vida. A mis tíos y familiares que me han dado la mano en los momentos que he necesitado de su ayuda. A mis amistades que han estado conmigo en los buenos y malos momentos. Gracias a todos por su apoyo incondicional.

Juan José López Rosado

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Msc. Washington Medina

PROFESOR EVALUADOR

.....
Msc. César Yépez

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"

Juan José López Rosado

Jimmy Joel Ubilla Jurado

RESUMEN

En estos últimos años se ha ido incrementando la demanda del recurso espectral, debido a las innovaciones tecnológicas y al aumento de dispositivos inalámbricos. Esto puede llegar a convertirse en un gran problema en zonas donde la aglomeración de personas que hacen uso de estos dispositivos para acceder al espectro es alta causando escasez de espectro, siendo la principal causa de esta escasez la mala gestión espectral por parte de los entes reguladores internacionales y locales. Los sistemas que hagan uso de bandas compartidas como por ejemplo las bandas ISM pueden llegar a congestionarse en lugares con una gran cantidad de personas con estos dispositivos queriendo acceder a estas porciones de espectro, debido a la interferencia causada por otros dispositivos. Los dispositivos implementados con la técnica del acceso oportunista al espectro (OSA) se presenta como una solución a este futuro inconveniente, ya que pueden acceder al espectro eficientemente sin causar interferencias, aprovechando el tiempo y espacio en que las bandas concesionadas se encuentren desocupadas.

Este proyecto puede ser tomado como base para sistemas que son capaces de acceder al espectro de manera oportuna y que requieren una mayor porción de espectro, ya que se trata del diseño de un algoritmo predictivo para la detección y el análisis de n canales desocupados o subutilizados del rango de frecuencias UHF-TV del espectro radioeléctrico en ambientes interiores, logrando así detectar n canales conjuntos que cumplan con los requerimientos de espectro de los sistemas en cuestión.

A través del algoritmo y de la herramienta de simulación MATLAB se obtuvo la disponibilidad de cada canal y posteriormente por medio de la agrupación de n canales se obtiene la disponibilidad de n co-canales. En los resultados se logra evidenciar que el máximo número de canales adyacentes es 9 aunque con una baja probabilidad de ocurrencia, ya que a partir de aquí la disponibilidad co-canal tiende a 0%.

Se comprobó que el algoritmo empleado basado en el modelo de redes neuronales artificiales, realiza predicciones muy precisas con valores cercanos a los de los datos reales con un error muy pequeño, debido al método de aprendizaje que utilizan estas redes ya que usan tanto las salidas producidas por la red así como las salidas esperadas para calcular el error entre ellas y si este error se encuentra por encima del umbral establecido se ajustan los pesos sinápticos de la red hasta que el error sea inferior al umbral. Estas predicciones permitirán saber la porción de espectro que se encuentre disponible en espacio y tiempo para que los sistemas que cumplan con estas características espectrales puedan implementarse en la banda determinada de manera oportuna.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	v
DECLARACIÓN EXPRESA	vi
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
CAPÍTULO 1.....	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Problemas a resolver	13
1.2 Justificación	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Metodología	16
1.5 Alcance	17
CAPÍTULO 2.....	18
2. ESTADO DEL ARTE.....	18
2.1 Dynamic Spectrum Access (DSA)	25
2.2 Opportunistic Spectrum Access (OSA)	32
2.3 Radio cognitiva (RC)	34
2.4 Espacios en blanco (White Spaces)	38
2.5 Redes Neuronales Artificiales	39
CAPÍTULO 3.....	46
3. ESCENARIO DE ESTUDIO	46
3.1 Tipos de modelos de RNA adecuados	46

3.2	Tipos de algoritmos de aprendizaje RNA	46
3.3	Selección de los datos	47
3.3.1	Acciones que realizar	47
3.4	Proceso de entrenamiento de la red	48
3.4.1	Propagar hacia delante la estimulación de la entrada	50
3.4.2	Propagar hacia atrás la sensibilidad de cada una de las capas	50
3.4.3	Actualización de los pesos sinápticos	51
3.5	Diagrama de Flujo del Algoritmo de Entrenamiento y Predicción	51
CAPÍTULO 4		53
4.	RESULTADOS	53
BIBLIOGRAFÍA		71
ANEXOS		76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Prediccion del trafico.....	20
Figura 2.2: Error en la predicción del trafico	21
Figura 2.3: Generacion de Electricidad Mensual.....	22
Figura 2.4: Prediccion vs. Real	23
Figura 2.5 Espacios en blanco.....	27
Figura 2.6: Modelos deDSA.....	29
Figura 2.7: Espectro bajo el nivel de ruido	31
Figura 2.8: Espectro sobre el nivel de ruido	32
Figura 2.9: Características de RC.....	35
Figura 2.10: Red Neuronal Biológica	41
Figura 4.1: Comportamiento de la Disponibilidad del Miércoles en los n-canales tanto en datos originales y la predicción	54
Figura 4.2: Error Porcentual de la Disponibilidad del Miércoles en los n-canales tanto en datos originales y la predicción	54
Figura 4.3: comportamiento de la Disponibilidad del Jueves en los n-canales tanto en datos originales y la predicción	55
Figura 4.4: Error Porcentual de la Disponibilidad del Jueves en los n-canales tanto en datos originales y la predicción	56
Figura 4.5: Comportamiento de la Disponibilidad del sábado en los n-canales tanto en datos originales y la predicción	57
Figura 4.6: Error Porcentual de la Disponibilidad del Jueves en los n-canales tanto en datos originales y la predicción	58
Figura 4.7: Probabilidad Acumulada (CDF) de ofrecer n-canales del Miércoles	59
Figura 4.8: Probabilidad Acumulada (CDF) de ofrecer n-canales del Jueves	60
Figura 4.9: Probabilidad Acumulada (CDF) de ofrecer n-canales del Sábado	61
Figura 4.10: Disponibilidad Acumulada del Miércoles por 24 horas de los 9 cocanales	63
Figura 4.11: Error Porcentual de la Disponibilidad Acumulada del Miercoles por 24 horas de los 9 cocanales	63
Figura 4.13: Error Porcentual de la Disponibilidad Acumulada del Jueves por 24 horas de los 9 cocanales	64
Figura 4.12: Disponibilidad Acumulada del Jueves por 24 horas de los 9 cocanales	64

Figura 4.14: Disponibilidad Acumulada del Sábado por 24 horas de los 9 cocanales	65
Figura 4.15: Error Porcentual de la Disponibilidad Acumulada del Sábado por 24 horas de los 9 cocanales	65
Figura 4.16: Disponibilidad de 2 Canales Conjuntos del miércoles según el grupo de canales disponibles	67
Figura 4.17: Disponibilidad de 2 Canales Conjuntos del jueves según el grupo de canales disponibles	67
Figura 4.18: Disponibilidad de 2 Canales Conjuntos del Jueves según el grupo de canales disponibles	68

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 Problemas a resolver

En la actualidad el incremento de dispositivos inalámbricos y la aparición de nuevas tecnologías a nivel mundial, han provocado que la demanda de utilización del espectro crezca de manera rápida [1]. Por lo que en los próximos años habrá escasez de espectro sobre todo en zonas urbanas densas debido a la aglomeración de dispositivos que pueden causar congestión y ésta a su vez interferencias entre los usuarios finales, las cuales afectan a la calidad del servicio y a la velocidad de transmisión, disminuyen la cobertura y aumentan la latencia [2]. Este inconveniente afecta tanto a los sistemas con bandas licenciadas o no licenciadas [3].

En [4] se indica que “No es tanto una crisis del espectro, sino más bien una crisis de la política de adjudicación del espectro”, haciendo referencia a que algunas compañías tienen más espectro del que necesitan, lo que significa un ineficiente uso del espectro radioeléctrico ya que existen canales disponibles por intervalos de tiempo [5]. Por ejemplo, en la banda de UHF-TV no se utiliza la capacidad total de sus canales o estos operan en ciertos intervalos de tiempo, lo que causa el uso ineficiente del ancho de banda que radica en un desperdicio de espectro [6].

[4]“Las nuevas tecnologías prometen seguir aumentando la capacidad de transmisión de datos inalámbricos durante años.” Tomando en cuenta lo redactado [4] desde el año 2012 se informó el cambio notorio que se vendría dando en los años próximos con un sin número de dispositivos inteligentes en este caso teléfonos inteligentes dando un aumento excesivo en utilizar los datos inalámbricos y así produciendo un aumento de tráfico sobrecargado, Tal como se indicó en [4] tanto la compañía Cisco y Bell labs previeron que para el año 2016 el tráfico de datos se multiplicaría por 18 y por 25 respectivamente.

1.2 Justificación

Hoy en día para optimizar el recurso espectral existen nuevas técnicas que permiten acceder al espectro de manera oportuna, mediante las cuales se logra mejorar la eficiencia espectral. Los sistemas basados en OSA (Opportunistic Spectrum Acces) brindan la posibilidad a los usuarios que no tienen la concesión de la banda de hacer uso de esta porción del espectro mientras este segmento de frecuencia se encuentre disponible espacial o temporalmente con la premisa de no perjudicar el funcionamiento de los sistemas licenciados, es decir cuando los usuarios con licencia no estén haciendo uso de la banda en cuestión.

Dentro de las tecnologías que conforman a los sistemas basados en el acceso oportunista al espectro la más destacada es la Radio Cognitiva, la cual hace factible la compartición oportuna de un canal entre usuarios con y sin licencia. Las radios cognitivas darán un empujón en la detección de la disponibilidad en las frecuencias dado que existe un cambio de milisegundos entre ellas [4].

Los dispositivos y aplicaciones con capacidades OSA están aumentando debido a su gran utilidad, por lo que resulta necesario hacer un análisis de la demanda espectral para de esta manera detectar los segmentos de espectros disponibles (espacios en blanco) con el fin de que estos dispositivos puedan operar en las porciones de espectro libres.

Como el espectro es un recurso limitado del Estado, los organismos reguladores locales son los responsables de la gestión del espectro. Dada las circunstancias actuales que presentan la administración y asignación del recurso espectral, podría darse una situación de escasez de espectro en un futuro próximo, debido al gran incremento de los dispositivos inalámbricos y a la aparición de tecnologías innovadoras lo que podría hacer colapsar a los sistemas actuales en zonas con altas densidades de población. Aunque esta situación se puede revertir haciendo modificaciones en la forma de gestionar y asignar el recurso espectral como por ejemplo cambiando de una asignación estática o fija a una dinámica, logrando

así utilizar eficientemente el espectro y que los sistemas actuales puedan brindar servicios con altos estándares de calidad cubriendo las necesidades requeridas por la sociedad ecuatoriana. Los rangos de frecuencia que abarca el servicio de televisión son de gran relevancia debido a las características de propagación que presentan estas frecuencias, en estas bandas también se encuentran una gran cantidad de porciones de espectro libres (espacios en blanco) debido a la separación que tienen los canales para evitar interferencias entre ellos. Estos segmentos de espectro disponibles pueden ser aprovechados por sistemas basados en OSA.

El propósito de este trabajo es realizar el diseño de un algoritmo predictivo para la detección y el análisis de n canales desocupados o subutilizados del rango de frecuencias UHF-TV del espectro radioeléctrico en ambientes interiores, el cual puede ser tomado como base para dispositivos con capacidad OSA.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un algoritmo de predicción basado en el modelo de redes neuronales artificiales que pronostica la disponibilidad de los n canales de la banda UHF-TV con el fin de que estos canales sean usados eficientemente.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Entrenar las redes neuronales por el método de aprendizaje propagación hacia atrás con un determinado número de entradas por canal.
- Realizar varias pruebas con los datos obtenidos en cada canal dominando a las redes y a los patrones creados, para que nos permita comparar y validar los resultados obtenidos y concluir acerca de confiabilidad y estabilidad del algoritmo.

- Comprobar si hay segmentos de banda disponibles en los canales UHF-TV, que puedan reutilizarse y asignarse a otros sistemas para evitar la congestión
- Determinar el intervalo de tiempo desocupado.

1.4 Metodología

Para realizar este proyecto la metodología empleada se encuentra fundamentada en el diseño de un algoritmo de predicción para analizar y detectar la disponibilidad espectral en canales libres o subutilizados de la banda UHF-TV en el interior de un edificio basado en el modelo de redes neuronales artificiales, usando una base de datos con la información recolectada previamente en otros proyectos.

La información proporcionada se la organizará en una matriz acorde a la disponibilidad de cada canal y n canales adyacentes durante un lapso de tiempo. Esta matriz está representada por un "1" que indica que el canal se encuentra disponible y un "0" que indica lo contrario.

Al haber un mayor número de canales conjuntos disponibles, se obtiene un ancho de banda considerable en el cual podrían implantarse otros sistemas o aplicaciones aprovechando de manera óptima las características que presenta la banda de frecuencia y las condiciones requeridas por estas tecnologías, teniendo en cuenta las normativas que gobiernan a estas tecnologías como la banda de frecuencia concesionada, las potencias de operación y los niveles autorizados por los entes reguladores internacionales y locales.

Mediante el modelo del perceptrón multicapa y su algoritmo de propagación hacia atrás (backpropagation) se procederá a predecir la disponibilidad de cada canal, y también la disponibilidad de n canales conjuntos.

Se realizará un análisis de disponibilidad de la banda espectral para n canales conjuntos, para de esta manera poder utilizar eficientemente el ancho de banda disponible de los n canales durante un intervalo de tiempo.

La confiabilidad y la eficiencia de este algoritmo de predicción se comprobarán a través de la herramienta de simulación MATLAB.

Por último, las gráficas obtenidas mediante la simulación ayudaran a explicar las predicciones de los canales adyacentes en las diferentes zonas en el interior del edificio, concluyendo así en qué lugar la predicción es más precisa.

1.5 Alcance

Se prevé que este proyecto tendrá una gran repercusión en próximas tecnologías o aplicaciones, y esto será en el momento que tanto las entidades reguladoras internacionales como locales gestionen eficientemente el espectro, permitiendo que los dispositivos con acceso oportunista al espectro puedan utilizar este recurso de manera dinámica.

Este proyecto puede ser tomado como base para el desarrollo de dispositivos con acceso oportunista al espectro dentro de ambientes interiores para una zona urbana densa como lo es Guayaquil, en donde ciertos sistemas o tecnologías podrían colapsar debido a la aglomeración de personas. Estos inconvenientes podrían solucionarse accediendo de forma dinámica al espectro.

Además, este estudio de la disponibilidad de n canales conjuntos de una determinada banda de frecuencia hace posible conocer que tecnologías podrían implementarse según el ancho de banda disponible por los n canales adyacentes que se encuentran desocupados en un intervalo de tiempo, lo que tiene como finalidad mejorar la eficiencia espectral y acabar con la escasez de espectro.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

En un sinnúmero de situaciones se ha tratado de predecir diferentes tipos de tráfico para poder transmitir de forma rápida, eficiente y segura la información

En los últimos se previó un aumento exponencial en dispositivos inteligentes dando por hecho que se iban a generar grandes cantidades de datos y por lo tanto estos estarían incluyendo un aumento de tráfico. Como se analiza en el reporte: Cisco Visual Networking Index [3], las redes utilizadas en las telecomunicaciones tienen a generar una gran cantidad de datos produciendo tráfico dando por esto datos que varían en su utilización, fallas entre otros tipos de datos de operaciones, al tener una gran cantidad de datos se las puede utilizar con inteligencia artificial debido a que estas estarían involucradas en la administración de ellas para un mayor control de la red.

Se ha establecido diseñar un modelo para el tamaño de la red, y va a permitir modelar y simular con una variedad de opciones y nos concederá pronosticar el volumen de tráfico que identificará patrones de la red establecida

Al tener un volumen de tráfico genera un problema en los enlaces tal que la solución optada será para mantener la disponibilidad de la red. Y se toman en cuenta las elecciones adecuadas para poder predecir este comportamiento [6], son varios los pasos para predecir las variables en la red establecida dando paso a pronosticar el volumen de tráfico que se generará en la red.

La minería de datos [6] nos permite obtener un conocimiento para manejar un volumen de datos significantes que se encuentran disponibles y tomando en cuenta las variables que se identifican para contribuir con los cambios necesarios.

En [3] se la utilizará para analizar y resolver problemas involucrados con la NCP en vista de la forma de la red se necesitará un pronóstico del volumen del tráfico que permitirá resolverlo. El proyecto propone un círculo virtuoso del proceso de adquisición siendo este un proceso de aprendizaje. Este círculo de aprendizaje nos

indica que se deberá identificar el problema para proceder a cambiar los datos en la información necesaria para poder transformarla en conocimientos y este a la vez en una experiencia para el aprendizaje de la red.

Se debe dar a entender que a pesar de ser 4 etapas para cada etapa corresponderá varios sub-procesos dado que el método que se describe consiste en los sub-procesos tales como la recolección de los datos, Preparación y limpieza, Un análisis de correlación, de las variables de la red, Realizar un modelo de pronóstico, de predicción con una interpretación de los datos para poder predecir las variables en cuestión [6].

Al realizar estos procesos se pudo tener algunos resultados de pronóstico de tráfico enviado desde un canal de la red hacia un servidor de la base de datos [6].

El resultado final obtenido mediante simulación y mediante la predicción, tal que en el resultado detallado se observará en la tabla el valor de RMSE que este indica el porcentaje de error entre la simulación y la predicción basada con RNA [2]

En [7] se desarrolló el modelamiento del tráfico de datos mediante redes neuronales. Para entrenarla se emplearon los datos de tráfico extraídos de una red LAN Ethernet a través del snifer Ethereal, el software usado para modelar la red neuronal de tres capas fue MATLAB. Con un numero de muestras de tráfico suficientes para entrenarla los resultados presentan gran precisión y flexibilidad.

Las redes neuronales artificiales son aplicadas para la predicción dinámica del ancho de banda, predicción de errores y clasificación del tráfico, así como para controlar la congestión y predecir el tráfico en redes de alta velocidad [8].

Para predecir el volumen de tráfico en una red LAN, las muestras de datos fueron adquiridas en un intervalo de 50 segundos, usando un software libre para medir el ancho de banda.

Con el objetivo de predecir el tráfico futuro, se entrenó la red neuronal artificial con los datos extraídos de la red LAN. A través del método de prueba y error se ajustaron

los parámetros de la red para poder predecir el tráfico acorde a la información proporcionada. Mediante Matlab se creó la red, debido a la facilidad que brinda este software para la creación de redes neuronales artificiales. Al principio se realizaron pruebas con distintos parámetros y modelos, pero el modelo con una etapa de entrada, una etapa de salida, una etapa oculta con función de activación lineal fue el que mejor aproximó el comportamiento para las muestras obtenidas [7].

Luego de entrenar la red con el algoritmo de aprendizaje, se logra predecir el volumen de tráfico en una red LAN. El modelo neuronal escogido responde de manera adecuada en un intervalo de tiempo determinado. En las gráficas de la figura 2.1 y de la figura 2.2 inicialmente se observa un periodo transitorio y luego la predicción del tráfico es muy aproximada al comportamiento real de la red LAN con un error cercano a cero al transcurrir el tiempo [8].

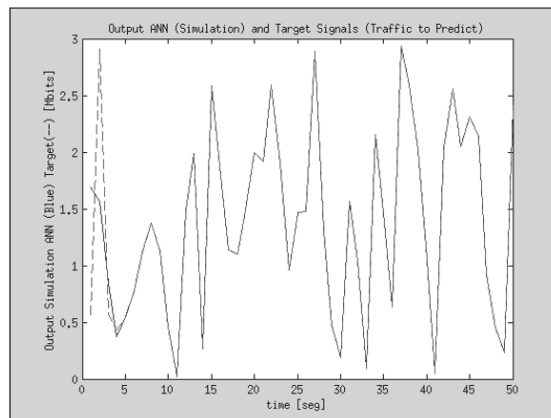


Figura 2.1: Predicción del tráfico [7]

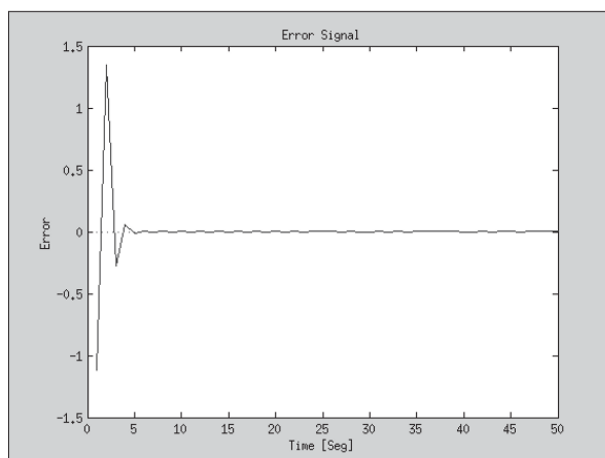


Figura 2.2: Error en la predicción del tráfico [7]

Debido al entrenamiento de la red y al ajuste de los pesos, luego de varias iteraciones el modelo alcanzó los resultados esperados y comenzó a predecir con un error que tiende a cero.

[9] está centrada en la evaluación del alcance mostrado por las redes neuronales en la predicción, analizando la Generación de Electricidad mes a mes. Se utilizaron los algoritmos de entrenamiento Resilient Propagation, Backpropagation y el modelo de Perceptrón Multicapa. Los tipos de redes neuronales conseguidos tienen habilidad para predecir el futuro acorde a periodos anteriores. En los resultados alcanzados se obtiene un error absoluto medio por debajo del 3%.

Dada una serie de datos discretos con respecto al tiempo y correspondiente a un mismo evento, la información futura es dependiente de la información pasada, prediciendo su comportamiento. Una buena predicción del consumo de la electricidad en un área es de suma importancia ya que contribuirá en la minimización de los costos de operación para las subestaciones eléctricas [8], [9].

En las redes neuronales artificiales se debe tener en cuenta tres facetas esenciales: el Diseño de la red, el Entrenamiento y la Habilidad de Globalización.

El manejo de redes neuronales artificiales en [9] se realiza acorde a las siguientes fases: “Búsqueda de las variables de entrada, Preparación del conjunto de datos,

Creación de la red, Entrenamiento, Validación y Cálculo de los factores de comparación”.

Empleando el procedimiento planteado, se diagnostican distintas redes neuronales acorde con las variables de entrada y algoritmos de entrenamiento usados. Mediante el comportamiento del conjunto de datos y periodos consecutivos correspondientes a un ciclo se realiza la búsqueda de las variables de entrada. Determinadas las variables entrantes se considera el algoritmo de entrenamiento para el aprendizaje de la red, empleando los algoritmos de Backpropagation y Resilient Propagation, con los ajustes correspondientes.

Al comparar los resultados alcanzados, se busca una configuración que tenga un Error Absoluto Medio Porcentual (EAMP) pequeño. Asimismo, el ajuste entre los datos de la red y los deseados es comprobado a través del coeficiente de correlación R.

La serie de tiempo seleccionada abarca datos desde enero de 1990 a julio de 2007 acerca de la generación mes a mes de electricidad en Estados Unidos.

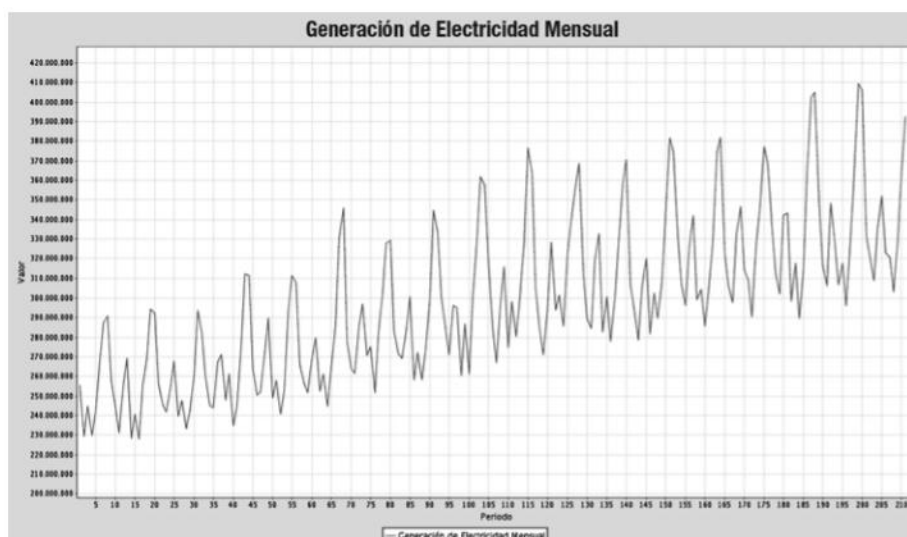


Figura 2.3: Generación de Electricidad Mensual [9]

Con la siguiente configuración se consiguió un mejor resultado:

-Vairables de entrada: $\{x(t), x(t-1), \dots, x(t-11)\}$

-Algoritmo de Entrenamiento: Resilient Propagation

-Ciclos de entrenamiento: 900

-Nodos capa oculta: 19

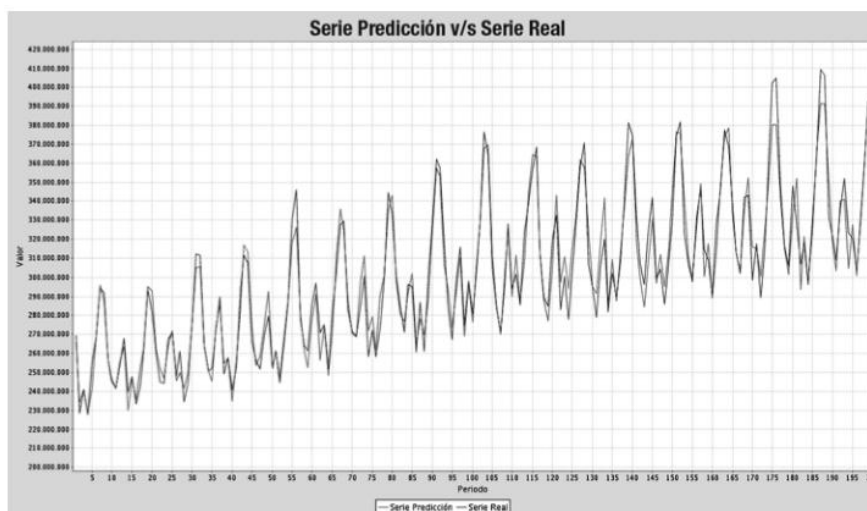


Figura 2.4: Predicción vs. Real [9]

En el aprendizaje el EAMP es de 1,719% y R es 0,9831; en la validación el EAMP es de 2,888% y R es 0,949. Además, el EAMP oscila entre 0% y 6% en toda la serie de tiempo, por lo que se observa que el ajuste es muy bueno.

Si se disminuye el porcentaje de datos durante el entrenamiento y se incrementa el porcentaje de datos en la validación, el EAMP en el entrenamiento aumenta ligeramente a 1,929% y en la validación se reduce levemente a 2,746%. Por medio de esos resultados se muestra la destreza que presenta este ajuste realizado a la red para asimilar una serie de datos menor y conservar el EAMP obtenido en la comprobación, ya que al emplear una serie de datos mayor la red está propensa a localizar distintos patrones a los ya conocidos [9]. Además, agregando aleatoriamente una alteración dentro de [-5%, +5%] a todos los elementos de la serie de datos empleados en la validación el EAMP es 3,459% y R es 0,917. Lo que significa que, al aprender los patrones durante el entrenamiento, el ajuste realizado a la red puede generalizar para predecir y soportar distorsiones leves en la información.

La selección de los componentes de la red conseguidos mediante prueba y error entre un rango posible de valores es uno de los problemas en el uso de redes neuronales artificiales. Los resultados conseguidos son satisfactorios dado que el EAMP está por debajo del 3%, con una correlación de 0,949.

Actualmente con el fin de ofrecer un servicio con altos estándares de calidad y cumplir con las exigencias que se suscitan en la sociedad, el número de dispositivos inalámbricos y aplicaciones móviles han aumentado considerablemente, así como también han aparecido nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de estos sistemas.

Tanto la parte económica como la parte política tienen gran repercusión en la gestión del recurso espectral, puesto que su valor se ha incrementado considerablemente. El espectro debe administrarse eficientemente y al mismo tiempo ser integrable, para así poder incorporar las nuevas tecnologías.

Los dispositivos inalámbricos hacen uso del espectro radioeléctrico para transmitir y recibir información de modo que resulta necesario la utilización eficiente del espectro. Las entidades reguladoras internacionales como por ejemplo la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) son las responsables de la gestión del recurso espectral, el objetivo de esta gestión es satisfacer las demandas tecnológicas actuales que requiere la sociedad y para ello estos entes reguladores deberían reasignar el recurso espectral con el propósito de integrar las tecnologías más recientes o cambiar la manera de acceder a las bandas de frecuencias compartiendo su uso entre usuarios con y sin la concesión de la banda, para de esta manera hacer una utilización óptima de este recurso sin ocasionar interferencias a los sistemas licenciados, logrando así que esta compartición sea viable.

En algunos países mediante análisis realizados se ha determinado que existe ineficiencia en el uso del espectro radioeléctrico y que su disponibilidad no resulta ser homogénea, y como consecuencia es difícil incorporar las tecnologías modernas. Motivo por el cual algunas bandas como las ISM que son no licenciadas y de uso común llegan a congestionarse en zonas rurales o urbanas donde se presenta una alta concentración de personas que usan dispositivos de comunicación inalámbrica.

Los servicios de comunicación que ofrecen las redes celulares están propensos a colapsar en condiciones extremas, puesto que el número de personas que se favorecen de este servicio crece exponencialmente año tras año y estas redes requieren de un gran ancho de banda para operar correctamente sin falla alguna y de esta manera mejorar el servicio.

Los niveles de potencia de transmisión y recepción, el alcance y la frecuencia de operación son algunos de los factores con mayor relevancia al momento de obtener el derecho del acceso al espectro radioeléctrico. Una única entidad es quien obtiene la licencia de una banda determinada, y esta entidad debe registrarse a las normativas establecidas por los organismos locales quienes regulan el recurso espectral y determinan el tipo de uso que se le dará a esta banda específica junto a quien obtiene la concesión del espectro, una vez fijado el uso que se le dará a este segmento de espectro no es permitido darle otro uso que no esté establecido en el contrato, así como también no es permitido el cambio de benefactor. Mediante las asignaciones actuales, el espectro radioeléctrico no es utilizado en su totalidad, dando lugar a espacios de frecuencia libres.

Para optimizar el uso de este recurso y con la finalidad de mejorar la eficiencia espectral los métodos de asignación de las bandas de espectro deben cambiar de fija a dinámica. OSA es un planteamiento para acceder al espectro de forma dinámica, esta técnica se fundamenta en métodos de Radio Cognitiva que hace factible la compartición de la banda espectral entre usuarios con o sin licencia, con la premisa de que los usuarios secundarios hagan uso de este segmento de espectro mientras esté disponible temporal o espacialmente sin ocasionar interferencias superiores a los umbrales establecidos por los sistemas con licencia, es decir mientras los usuarios primarios quienes poseen la concesión de la banda no estén utilizando el espectro que por derecho les pertenece. Los dispositivos basados en OSA son la solución al problema de la escasez del recurso espectral.

2.1 Dynamic Spectrum Access (DSA)

En nuestro país el espectro es un recurso natural, aunque escaso, con el incremento de los dispositivos móviles y con la aparición de nuevas tecnologías,

se incrementará la demanda del espectro radioeléctrico al pasar el tiempo lo que conlleva a una futura escasez de espectro, la cual también se presenta debido a la administración y asignación del espectro radioeléctrico realizada por las entidades reguladoras [10].

Para lograr mejorar la eficiencia espectral se están incorporando nuevas tecnologías, así como también es necesario que las bandas de frecuencias concesionadas sean utilizadas dinámicamente, a esto se lo conoce como Acceso Dinámico al Espectro [11]. Esta eficiencia se consigue cuando se realiza la asignación de canales, aprovechando la cualidad de reconfigurabilidad e inteligencia que tienen las recientes tecnologías de radio. La tecnología Radio Cognitiva(CR) se orienta en este asunto de reconfigurabilidad e inteligencia [11].

En la actualidad varios estudios muestran el uso ineficiente del recurso espectral, en donde se ha hallado disponibilidad de canales temporalmente o espacialmente, a esto se conoce como White Spaces (Espacios en blanco) [11], [12], [13].

Las bandas de frecuencia UHF y VHF de televisión presentan una elevada disponibilidad espacial como temporal, lo que se verificó en la tesis de Mitola: "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for software defined radio. Ph. D. Thesis, Swedish, Royal Institute of Technology, 2000", en donde se fomenta la explotación eficiente del recurso espectral en el tiempo y espacio [11].

La tecnología DSA es un conjunto de métodos que sirven para realizar el ajuste del espectro radioeléctrico en un periodo de tiempo aledaño a la realidad con respecto a las variantes que puedan producirse en el entorno y en el propósito (tipo de servicio o aplicación), a las modificaciones de fases de radio (forma de transferencia de datos y ubicación) y a limitaciones externas (políticas de funcionamiento). Esta tecnología hace factible la compartición del recurso espectral entre los sistemas primarios concesionados y los sistemas secundarios, los cuales no tienen la concesión del espectro.

2.1.1 Principios de DSA

Cuando nos referimos sobre DSA de manera general se da a conocer como un conjunto de métodos a utilizar para el uso o acceso hacia el espectro radioeléctrico tomando en cuenta varias normas o condiciones sujetas hacia este tipo de acceso dado que en las condiciones necesarias estarán tanto las bandas de frecuencias que se utilizarán, el tipo de arquitectura además de otros requisitos enunciados en [14]. Este método plantea unos principios a seguir como: compartir y utilizar eficientemente el espectro radioeléctrico, reducir los espacios de frecuencia sin usar y redistribuir y reestructurar el espectro de forma correcta [10].

2.1.2 Objetivo principal del DSA

Si consideramos el objetivo principal de DSA sería el acceso de la banda de frecuencias del espectro radioeléctrico más óptima que esté disponible mediante las capacidades cognitivas de la misma. Tomando en cuenta que gran parte del espectro ya tiene su asignación por lo tanto el objetivo es tratar de la compartición del espectro radioeléctrico entre ambos usuarios tales sean primarios y licenciados sin interferencia alguna, en la figura 2.5 se puede observar el uso del espectro en los espacios blancos o también denominados White holes tal como se menciona en [15].

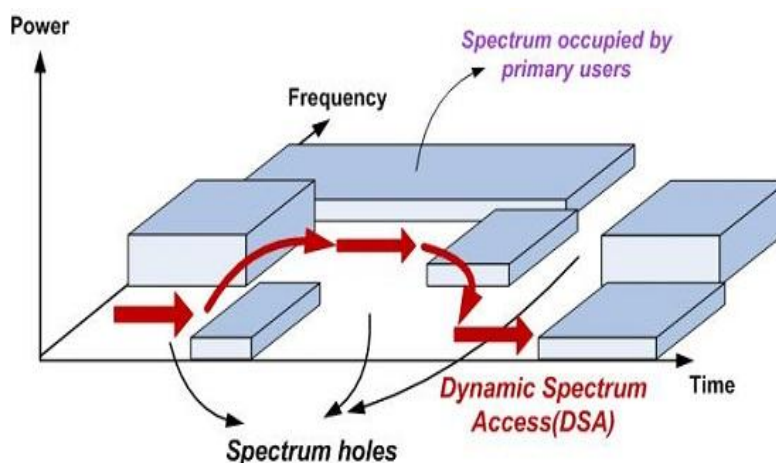


Figura 2.5 Espacios en blanco [15]

Como se observa en la figura 2.5, si suponemos que en aquella banda será utilizada por un usuario primario, comienza la interacción de la Radio Cognitiva desplazándose hacia un espacio blanco del espectro respectivamente, debido a que si se toma la decisión de no desplazarse o quedarse en el espacio utilizado tanto su nivel de potencia de transmisión como sus esquemas de modulación se verán alteradas de este modo se evitarán las interferencias con los demás usuarios.

Existen dos puntos importantes mencionados en [16] que se deben tener muy en cuenta dando que las flexibilidades además de la eficiencia estarán muy reflejadas en el uso o acceso del espectro sin tomar en cuenta las regulaciones o métodos utilizados dado que una eficiente compartición de las bandas del espectro electromagnético ayudará a agilizar la utilización, aprovechando sus recursos.

2.1.3 Métodos de DSA

Según las bandas de frecuencias que se desean usar, se distinguirán dos tipos de modelos DSA conocidos tales como el Modelo de Acceso Libre y de Acceso Jerárquico, para el Modelo de Acceso Libre tal como dice su modelo son para bandas de accesos libres que podemos encontrar las de uso Industrial, en el área Científicas además de las ICM o mejor conocidas Bandas de uso Médico.

Las bandas mencionadas como ICM, son muy utilizadas en el campo de las telecomunicaciones, ya que por derecho estatal y al no necesitar de una licencia de cada país todos los usuarios podemos hacer uso de ellas para los servicios conocidos como WIFI (IEEE 802.11) y Bluetooth que son comúnmente utilizadas en aplicaciones.

En [17] podremos encontrar un gran enfoque de las posibilidades para optimizar la gestión espectral más eficiente según el enfoque que se le da.

En [14] se determina que hay tres modelos para acceder de forma dinámica al espectro: “Modelo Dinámico Exclusivo, Modelo de espectro común, y Modelo de Acceso Jerárquico”[14].



Figura 2.6: Modelos de DSA [14]

Modelo Dinámico Exclusivo

Basándose en la actual política de asignación estática del recurso espectral, en donde las bandas de frecuencias licenciadas son para uso exclusivo, aunque un poco flexibles con el propósito de hacer un uso eficiente de este recurso [18], [19]. Este modelo ofrece dos planteamientos:

- **Derecho de propiedad del espectro**

Se toma en cuenta tanto la parte económica como la parte política, permitiendo a los usuarios quienes poseen la banda de frecuencia concesionada administrar el recurso espectral incluso hasta poder escoger el servicio o aplicación a realizarse. Aunque no está permitido puesto que las entidades reguladoras son los únicos que puedan administrar y regular el recurso espectral en un país [18], [19].

- **Asignación de espectro Dinámico**

La transferencia de datos producida en un lapso de tiempo y el modo de acceder a los White spaces que se originan al hallar espacios de la banda espectral libre son factores sumamente importantes para asignar el espectro de forma dinámica y gracias a esto se produce una mejora en la eficiencia espectral. Mediante

esta perspectiva entre las distintas redes de acceso por radio (RANs) que se localizan dentro del área delimitada por el sistema de radio principal es posible compartir la banda de frecuencia.

Gracias a la asignación dinámica temporal-espacial es posible hacer uso de distintas redes de comunicación, tomando en cuenta que los equipos terminales podrían acceder a usar la banda de frecuencia sin causar interferencia con otros sistemas o aplicaciones que operen en la misma banda y también considerando el tráfico ocasionado en un intervalo de tiempo. En las redes de comunicación personal de celular resulta eficiente y es recomendable usar este tipo de sistemas, para evitar falencias influyen diversos factores como la forma en que se coordinan las operadoras móviles para poder operar eficientemente [18], [19].

La asignación de espectro dinámico tendría que ajustarse a las políticas actuales de asignación de espectro.

Modelo de compartición abierta

También se le denomina Modelo de espectro común, puesto que hace factible una compartición abierta entre equipos terminales fundamentándose en la administración del espectro suministrado por una entidad regional. Tecnologías que trabajan en la banda Industrial, Científica y Medica (ISM) como Bluetooth, Wi-Fi son una clara muestra de este tipo de sistemas [18].

En este modelo hay libertad de acceder a la banda espectral a través de cualquier sistema, así como una gran variedad de equipos terminales pueden acceder a la banda, es decir el propósito es que el espectro radioeléctrico no sea administrado por las operadoras móviles o los entes reguladores como lo es hoy en día sino por los usuarios, con el fin de no tener limitación en la cantidad de usuarios mientras no exista interferencia alguna entre ellos [19].

Modelo de Acceso Jerárquico

En este modelo es posible compartir el espectro entre un usuario primario quien tiene la concesión de la banda de frecuencia y un usuario secundario sin espectro asignado. Si la banda de frecuencia no está disponible o está ocupada incompletamente por el usuario primario, el usuario secundario tiene acceso libre a la banda de frecuencia. El usuario con la concesión de la banda es quien permite el acceso de los usuarios sin licencia poniendo límites de interferencia permitida. Para este método se toman en cuenta dos enfoques:

Espectro bajo el nivel de ruido: en este planteamiento se limitan los niveles de potencia para la operación de los usuarios sin licencia, para así poder operar simultáneamente con los usuarios que tienen la banda concesionada. El usuario primario decreta que la interferencia recibida debe estar por debajo del umbral fijado anteriormente. Por lo que el usuario sin licencia debe estimar la interferencia que va a producir al usuario con la concesión. Esta perspectiva hace que sea posible que las transmisiones de los usuarios sin licencia se traslapen.

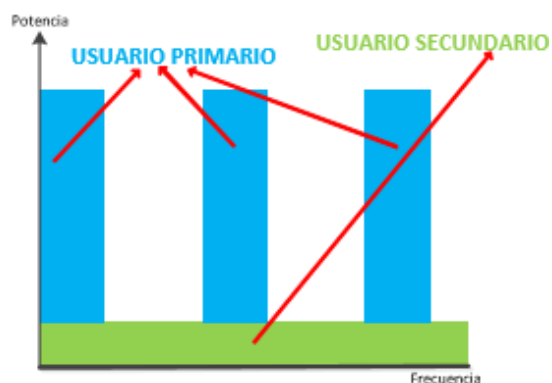


Figura 2.7: Espectro bajo el nivel de ruido [15]

En la figura 2.7 podemos ver que es posible para los usuarios secundarios transmitir paralelamente con los usuarios que tienen la concesión de la banda sin necesidad de detectar los espacios en blanco, aunque tomando en cuenta que se le permite su

funcionamiento a baja potencia, aún si el segmento de radiofrecuencia se encuentra disponible.

Mediante este enfoque es posible transmitir a elevadas tasas de datos, aunque a cortas distancias debido a los bajos niveles de potencia de transmisión. El gran inconveniente de este tipo de sistemas es contar con pequeñas áreas de cobertura.

Espectro sobre el nivel del ruido: este planteamiento no está limitado en cuanto a los niveles de potencia para la operación de los usuarios sin licencia pero si cuenta con restricciones al momento de transmitir o no [14], [15], [20].

Es decir, el usuario secundario podría acceder al espectro de manera oportunista (ver Figura 2.8), cuando la banda de frecuencia no sea usada por el usuario con licencia.

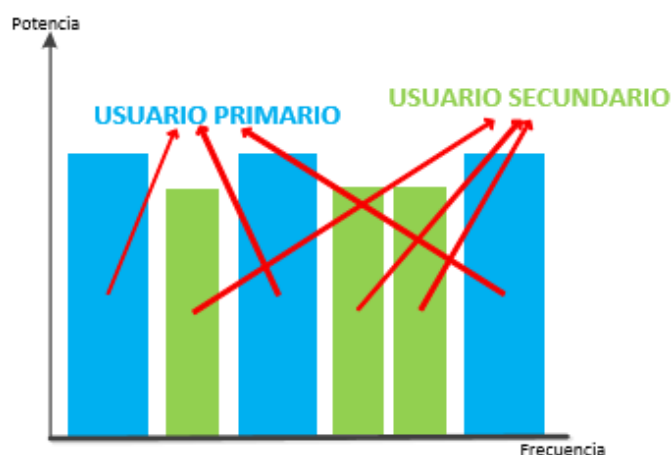


Figura 2.8: Espectro sobre el nivel de ruido [21]

Para realizar esta metodología hay que censar el espectro anteriormente para detectar las porciones de espectro disponibles halladas en el segmento de frecuencia del usuario con licencia. Un usuario sin licencia accede a la banda espectral cuando encuentra un espacio de frecuencia disponible, es decir durante el lapso de tiempo que la banda en cuestión no esté en uso [14], [20], [21].

2.2 Opportunistic Spectrum Access (OSA)

OSA (Acceso Oportunista al espectro) es un conjunto de métodos fundamentados en la Radio Cognitiva, la cual hace factible que una banda concesionada sea compartida con usuarios sin licencia, así como también restringe los niveles de interferencia que recibe un usuario con licencia. accediendo al espectro de manera oportunista se mejora la eficiencia espectral. [14], [22]. El propósito de OSA es no causar interferencia a los usuarios con licencia y favorecer a los usuarios sin licencia [14].

2.2.1 Principios de OSA

Cuando nos referimos hacia el Acceso oportunista del espectro se da a conocer que es uno de los enfoques del DSA además de tener un grupo de métodos que ayudaran para minimizar los problemas ocasionados por la ineficiencia del uso de espectro radioeléctrico debido a los métodos que se usan actualmente al asignar y administrar este recurso mencionados en [23].

OSA es capaz de realizar la compartición de la banda de frecuencia entre usuarios primarios y secundarios de forma oportunista, ya que es una metodología se suma importancia de la radio cognitiva (CR) [15].

2.2.2 Objetivo de un sistema OSA

La idea optima al usar un sistema OSA, es Resolver los inconvenientes que se han encontrado por la falta de recurso espectral e ineficiencia debido a los actuales métodos de asignación y administración de este. Si se considera un Sistema Jerárquico bajo el concepto de OSA los usuarios que buscan la reutilización de espectro pueden acceder a estas porciones al no ser utilizadas por los Usuarios Primarios en intervalos de tiempos definidos. A estas porciones del espectro se les domina Espacios en Blancos ya que, aunque forman un rango del espectro que por derecho pertenecen a los Usuarios Primarios, los Usuarios Secundarios pueden acceder a ese espacio de frecuencia libre en su debido instante o disponibilidad para un óptimo uso del recurso del espectro radioeléctrico [23].

Para mejorar el rendimiento de los sistemas o tecnologías actuales, este enfoque propone el reuso de la banda de frecuencia de manera eficiente, ya que hay espectro concesionado que no es utilizado completamente o es utilizado en ocasiones, de esta manera si la banda espectral se encuentra disponible podría ser utilizada por los usuarios sin licencia de manera oportuna [24], con el objetivo de impedir que el espectro radioeléctrico concesionado se congestione y de aminorar los costos de las bandas licenciadas para todos los usuarios [25].

2.3 Radio cognitiva (RC)

2.3.1 Definición de RC

Se la puede definir en pocas palabras como una radio inteligente que nos permitirá que esta se adapte a los cambios que encontrara en su entorno cambiando su comportamiento a una velocidad más eficaz que otros tipos de tecnologías, en vista a que se debe a muchos parámetros que aceleran sus adaptaciones y ayudan a que se realice de una manera óptima reconociendo patrones, aprendiendo tanto de eventos pasados, prediciendo futuros eventos que se realizaran en el entorno en que se encontraran.

Para una eficiente compartición del espectro con los usuario primarios se deben tomar en cuenta varios requisitos con respecto a la calidad de servicio , las normas que deben de cumplir los usurarios de una red de telecomunicaciones se presentan en [26] y respectivamente son en un orden tales como la Detección el espectro seguida por una toma de Decisiones del canal más optimo , la compartición del espectro con otros usuarios coordinadamente y finalmente la movilidad del espectro para un buen reuso de recurso del espectro.

2.3.2 Características de RC

La capacidad cognitiva y la reconfigurabilidad son cualidades destacadas que tienen los equipos que usan radio cognitiva [15], [27].

Capacidad cognitiva:

Con el objetivo de ajustarse al entorno de radio dinámico y de precisar las variables adecuadas para la comunicación, la capacidad cognitiva hace factible la interacción con el medio en tiempo real [15], Logrando así usar la banda de frecuencia eficientemente y una comunicación fiable en cualquier lugar y momento [27].

Mediante varios procesos es posible la coexistencia entre los usuarios con y sin licencia, a este grupo de operaciones se lo conoce como ciclo cognitivo [28], el cual plantea varios procesos de administración de la banda espectral para la operación de los usuarios sin licencia [15], [22], [29], como muestra el esquema presentado en la figura 2.9



Figura 2.9: Características de RC [29]

Este proceso brinda la destreza a los usuarios sin licencia de detectar disponibilidad de la banda, escoger el canal más óptimo del espectro, acceder al canal coordinadamente con otros usuarios y también trasladarse a otra banda de frecuencia al momento de que el usuario primario desee acceder a su respectivo espectro [29].

Detección de espectro

Es un proceso que se encarga de localizar las porciones de espectro que se encuentran libres espacial o temporalmente sin causar interferencias a los usuarios primarios [29]. Existen tres categorías:

- ***Detección de transmisiones:*** usando una porción de la banda de frecuencia tienen la capacidad de reconocer cuando aparece una señal transmitida por algún usuario inteligentemente [30], [31].
- ***Detección cooperativa:*** usuarios sin licencia trabajan en conjunto intercambiando datos constantemente acerca de la detección de usuarios primarios [30], [31].
- ***Detección basada en interferencias.***

Decisión del espectro

Este procedimiento tiene la capacidad de decisión sobre cuál es el o los canales óptimos de la banda de frecuencia disponibles que satisfagan los requerimientos de calidad de servicios de los sistemas o tecnologías. Está directamente relacionado la actividad realizada por el usuario con la concesión de la banda, así como también con las cualidades que presenta el ancho de banda necesario [29], [32].

Compartición del espectro

Con el fin de impedir que exista congestión de la red, el ingreso a ésta debe ser coordinado. Fundamentado en la coexistencia entre usuarios con o sin licencia y la alta disponibilidad espectral [22], la compartición de espectro presenta cuatro enfoques: la arquitectura, el procedimiento de

asignación espectral, el método de acceso a la banda espectral y el alcance.

La arquitectura se clasifica en centralizada o dividida. Los organismos reguladores principales son los responsables de manejar los procesos de asignación y acceso a la banda espectral en la arquitectura centralizada mientras que en la dividida estos procesos se fundamentan en las políticas locales efectuadas en cada nodo distributivamente [33], [34]. El procedimiento de asignación espectral ya sea colaborativo o no colaborativo. El primero toma en cuenta el resultado de comunicar un nodo con otros, aprovechando los niveles de interferencia de todos los nodos, en cambio el no colaborativo toma en cuenta solamente un nodo, sin considerar la interferencia entre nodos de Radio Cognitiva [35].

El método de acceso a la banda espectral por compartición del recurso espectral ya sea subyacente o superpuesto. En el primero, el usuario principal toma la interferencia causada por un nodo como ruido, aprovechando la tecnología basada en el espectro ensanchado y para el segundo los nodos ingresan a la red ocasionando mínima interferencia debido a que emplean los espacios en blanco dejados por los usuarios con licencia [36].

Por último, el alcance, fundamentado por dos modelos de solución: el uso compartido de la banda de frecuencia en una red cognitiva y entre diversas redes de radio cognitiva que conviven [15].

Movilidad del espectro

En este proceso la frecuencia mediante la cual un usuario de una red de radio cognitiva transmite o recepta señales puede variar. Esta variación ocurre en el momento que un usuario con licencia desea acceder a la banda concesionada, debido a esto el usuario secundario tendrá que buscar los espacios de frecuencia libre más óptimos para los

requerimientos de su red y cambiarse a otra porción de espectro que se encuentre libre. El objetivo de este procedimiento es asegurar que este cambio sea rápido, fluido e imperceptible para el usuario [29].

El procedimiento consiste en: buscar el canal de la banda de frecuencia más óptimo que se encuentre disponible y escogerlo para poder operar en el hasta que el usuario con licencia accede al canal, ya que una vez detectada su presencia el usuario secundario debe moverse a otra porción de la banda de frecuencia que esté disponible para poder operar [15].

Reconfigurabilidad

Es una cualidad que posee la radio cognitiva para adaptarse a los factores de operación para transmitir al trasladarse de un entorno a otro sin alterar los elementos de los equipos en uso. Es decir, la radio cognitiva hace posible emplear distintas tecnologías de acceso, así como también puede transmitir y recibir información en distintas bandas de frecuencia [37].

La tecnología empleada para la comunicación, la potencia con que se transmite, la frecuencia con la que opera y la forma en que se modula una señal, son factores ajustables en una red de radio cognitiva. Estos factores de transmisión pueden ajustarse cuando se está realizando la transmisión [15].

2.4 Espacios en blanco (White Spaces)

Los espacios en blanco son espacios de frecuencias que están siendo subutilizados o están en completo desuso. Cuando se produzca el apagón analógico en el Ecuador, es decir el cambio de TV analógica a digital hay que tomar en cuenta los canales y las bandas de guarda entre canales que podrían quedar libres, ocasionando que estos espacios en blanco aumenten. Las

porciones de espectro libre en la banda VHF-TV son tendencia, ya que esta banda dispone de una amplia cobertura. Por ejemplo, comparándola con la señal Wi-Fi y con una potencia de transmisión igual, la cobertura sería cuatro veces mayor que la comprendida en la señal Wi-Fi. Así como también las bandas VHF Y UHF, son capaces de superar un elevado número de obstáculos [38].

La aparición de nuevas tecnologías y el incremento de dispositivos inalámbricos ha provocado que la demanda espectral aumente, debido a que se requiere un mayor ancho de banda para la operación de estos dispositivos. En naciones como Alemania, Estados Unidos y Nueva Zelanda se ha analizado la eficiencia del recurso espectral, cuyo análisis mostró que su uso es ineficiente [39], ya que en la mayor parte del tiempo el espectro es subutilizado. Con el fin de evitar la congestión del espectro, se puede explotar estas porciones de espectro libre ya sea temporal o espacialmente de la banda VHF-TV en su radio de cobertura.

Un análisis de disponibilidad espectral en Hong Kong [40] evidenció que en un entorno interior existe un mayor número de agujeros espectrales que los que se encuentran en ambientes exteriores al examinar una banda determinada, debido a las pérdidas de propagación de la señal producidas al atravesar diferentes obstáculos. Por otro lado, en [41] se demostró que en las zonas altas de un edificio ciertos canales estaban ocupados y al analizar los pisos de abajo, estos canales que en la parte alta se encontraban ocupados, la mayoría se hallaba disponible en la parte baja, debido a la atenuación de la potencia que llega a los receptores, produciendo el incremento de los espacios en blanco.

2.5 Redes Neuronales Artificiales

Una Red Neuronal Artificial o RNA es un modelo matemático computacional que realiza la simulación de un proceso de información imitando las redes neuronales del cerebro humano dado que son métodos de sistemas nerviosos biológicos en la cual están constituidas principalmente por neuronas situado en el cerebro

recreando el proceso de la información en ella, son uno de los algoritmos más poderosos y eficientes de aprendizaje. La RNA está conformado por las neuronas artificiales que trabajan de manera interconectadas para obtener una solución de un problema específico tales como las predicciones de series de tiempo Aprendiendo, Memorizando y Generando información a través de un grupo de elementos [42].

Las principales características de las redes neuronales son:

- Gozar de un proceder no lineal, logrando así procesar datos de origen no lineal [43].
- Ser tolerante a fallos, es decir tienen la capacidad de mantenerse en funcionamiento incluso al ocasionarse una avería notable en el sistema [43].
- Presentan una gran flexibilidad ya que realizan una transición de manera dinámica en conjunto con el entorno [43].
- Aprenden de manera empírica, y este aprendizaje es guardado en los pesos sinápticos de las neuronas artificiales que se encuentran interconectas [43].

Estas redes son de gran utilidad para procesar información compleja, ya que hace factible realizar diversas tareas al mismo tiempo y no son como los computadores tradicionales que realizan las tareas secuencialmente.

2.5.1 Redes Neuronales de origen Biológico

Las redes neuronales encontradas en el cerebro humano en un sistema complejo que sobrepasan los cien mil millones de ellas además más de 1000 sinapsis en medio de cada entrada y salida de cada neurona, tomando en cuenta que la velocidad de conmutación de las neuronas de origen biológico es millones de veces mayor que el procesamiento de una computadora y sus conexiones son mayores que en una artificial. Debido a la naturaleza de las neuronas biológicas su función principal es el desarrollo y procesamiento de la información por lo general de nuestros

sistemas biológicos dada su complejidad y partes mostradas en la figura 2.10 se trata de esquematizar este proceso en una RNA.

Las dendritas son las partes de las neuronas que ayudan a la interconexión con otras neuronas aquí yace las entradas de información, el núcleo que es el cuerpo de la neurona en donde se encuentra todo el procesamiento principal de ellas y el axón que es donde yace la compartición de la información contenida que se conecta a otra neurona.

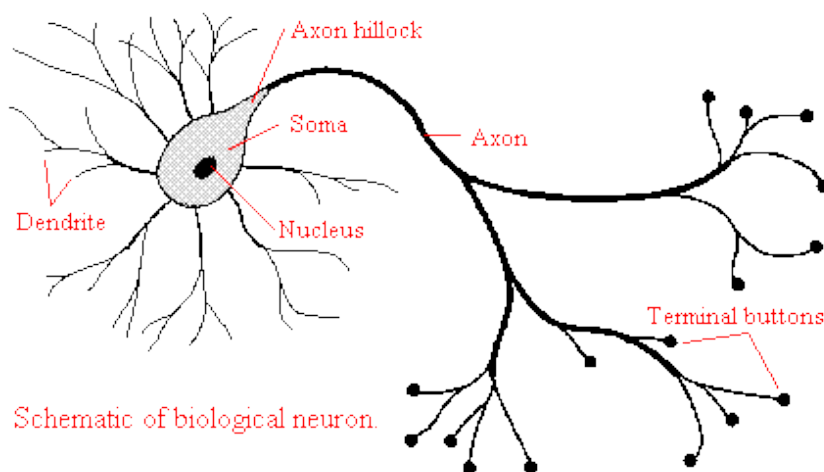


Figura 2.10: Red Neuronal Biológica [42]

2.5.2 Descripción de una RNA

Al situarnos en una red neuronal artificial tendremos muchas partes que serán análogas a la neurona biológica sean unidades o nodos es indiferente el modo de denominarlas ya que ambas definen los principales elementos de procesamiento. En un nodo encontraremos un número de entradas análogas a las dendritas que usualmente naturalmente ya tienen un número de entradas que en combinación existe la ponderación de ellas, esta ponderación es análoga a la permeabilidad sináptica ya que estas son las que llevarán los pesos de mi red tanto que son directamente proporcionales a la “inteligencia” de mi red.

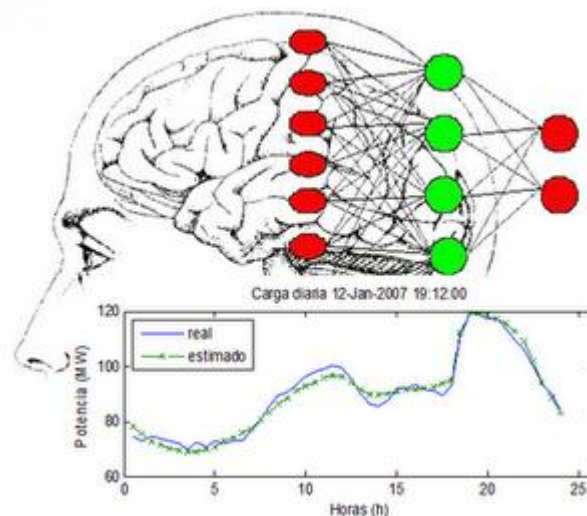


Figura 2.11: Analogía entre neurona biológica y artificial [43]

Al entrenar la red mediante una serie de datos la red es capaz de adquirir conocimiento de ellos, encontrando patrones para poder modelar esta información de manera óptima. El entrenamiento o aprendizaje se realiza de manera supervisada o no supervisada.

El aprendizaje supervisado formado por datos entrantes y salientes para de esta manera poder entrenar la red. La finalidad del algoritmo de entrenamiento es generar una salida parecida a la salida real con respecto a una determinada entrada mediante el ajuste de los pesos sinápticos de la red. En otras palabras, la red intenta modelar el procedimiento que produjo la salida del sistema. Esta forma de entrenamiento recibe el nombre de supervisado debido a que la red sabe cuál es la salida del sistema, que de cierta manera supervisa la red.

Por otro lado, en el entrenamiento no supervisado, únicamente se muestra una serie de datos para entrenar la red, este algoritmo tiene como fin encontrar una configuración presente en la serie a través del ajuste de los pesos.

2.5.3 El perceptrón multicapa

Las primeras redes eran simples estaban compuestas por una sola capa de neuronas, pero frente a los problemas complejos de la realidad estas redes no abastecían. Para encontrar solución a la complejidad de estos problemas surgieron las redes multicapa, lo que propulso a las redes neuronales pudiendo así aplicarse a un mayor número de problemas.

Cuando una red neuronal está compuesta por una o varias capas ocultas en medio de la entrada y la salida recibe el nombre de red multicapa. Esta capa oculta está interconectada con otra capa oculta o con la entrada o la salida de la red. Cada entrada se conecta con una de las neuronas de la capa oculta inicial. Recibe el nombre de perceptrón multicapa en el momento en que una unidad de procesamiento fundamental o neurona es un perceptrón. La tangente hiperbólica y la función sigmoideal, son las funciones no lineales que comúnmente se utilizan como función de activación.

La matriz de pesos sinápticos determina el modelo de interconexión neuronal de la red, aquí es donde se guarda la información comprendida. Mientras la red se encuentra en la etapa de aprendizaje, la valoración de los pesos sinápticos irá cambiando hasta que tenga la capacidad de desarrollar el proceso para el cual estuvo en entrenamiento.

El perceptrón multicapa tiene la habilidad de realizar aproximaciones, organizar patrones y establecer funciones lógicas ("1" o "0"). Mediante un perceptrón de dos capas ocultas de funciones booleanas (OR Y AND) se puede crear cualquier función lógica. Aunque podrían emplearse un mayor número de neuronas para solucionar la complejidad que presentan ciertas funciones lógicas.

Una función no lineal se puede aproximar mediante una red de dos capas, una de ellas oculta y la otra la capa de salida con un error pequeño. Pero

a veces es más óptimo utilizar una red con mayor número de capas y pocas neuronas incluidas en cada una de ellas, que una red de dos capas la cual necesitaría un número elevado de neuronas.

2.5.4 Algoritmo de entrenamiento del perceptrón multicapa

Propagación hacia atrás (Backpropagation) es una prolongación del algoritmo de los mínimos cuadrados, que tiene como fundamento la exploración gradencial del promedio del mínimo error cuadrático entre el valor esperado y el valor otorgado por la red, utilizando la técnica: *regla delta generalizada*. En la cual se presenta una serie de datos entrantes y datos de salida esperada para entrenar la red en esta etapa de aprendizaje. Luego se realiza la comparación entre la salida deseada y la salida originada por la red al ser entrenada por ciertos patrones. El valor de los pesos sinápticos se cambia si el error presente es mayor al umbral establecido inicialmente.

Que la función de activación sea diferenciable y no lineal es uno de los principales requerimientos de este algoritmo.

Los siguientes pasos describen al algoritmo de propagación hacia atrás:

1. Inicializar los pesos sinápticos aleatoriamente y los respectivos umbrales.
2. Evaluar las entradas y especificar sus respectivas salidas esperadas
3. Determinar las salidas otorgadas por la red
4. Configurar los pesos, es decir se ajustan los pesos hasta que el error sea inferior a los umbrales establecidos.
5. Regresar a 2 hasta que los pesos sinápticos logren mantenerse, sin variación alguna.

Este algoritmo presenta un alto rendimiento. Y este rendimiento podría ser aún mejor y disminuir la posibilidad de hallar un mínimo local, al aumentar el número de capas ocultas, disminuir la ganancia en el ajuste de los

pesos sinápticos, y entrenar aleatoriamente la red con diferentes series de pesos sinápticos.

La realimentación es una cualidad destacada en el algoritmo de backpropagation. Para consolidar la etapa de aprendizaje, se utiliza una red retroalimentada con el fin de que el error entre la salida esperada y la originada por la red se propague a través de ella, a este proceso se lo denomina reforzamiento.

CAPÍTULO 3

3. ESCENARIO DE ESTUDIO

Se necesita resaltar cada detalle que se utilizara en esta metodología realizando referencias hacia los puntos más importantes.

Los Modelos de Redes Neuronales Artificiales tomo como base principal la metodología de predicción, recalcando que se podrá apreciar el comportamiento de una variable con los modelos estadísticos que se vaya a utilizar sin embargo tener una explicación de aquel comportamiento no se encuentra en la metodología de este modelo , además que estas redes tienes muchas clasificaciones según el tipo de algoritmo de entrenamiento o cantidad de capas a utilizar todo dependerá de las variables de entradas y el resultado que se desea obtener.

3.1 Tipos de modelos de RNA adecuados

En los Modelos de arquitectura de RNA podemos encontrar varios tipos algunas siendo adecuadas para series de tiempo siendo supervisadas tales como SOFM o no supervisadas siendo una red lineal. Los modelos que se usan típicamente para análisis de series temporales son los de Perceptrón Multicapa como las de Redes lineales cada una estará a la mano con su modelo de aprendizaje siendo este de manera supervisada o no supervisada dando énfasis a los resultados que se obtendrán con el entrenamiento adecuado que se le de a las redes neuronales artificiales

3.2 Tipos de algoritmos de aprendizaje RNA

Existen dos tipos de Algoritmos de aprendizaje, los supervisados y no supervisados dando que varían en el tipo de respuesta y dependerá de las iteraciones durante el entrenamiento, el algoritmo de aprendizaje que se utilizara serán los supervisados de la cuales se pueden destacar aprendizajes muy recomendados tales como:

- Algoritmo de Retro propagación
- Aprendizaje Supervisado Hebbiano
- Aprendizaje de Widrow-hoff
-

3.3 Selección de los datos

En particular los datos que se van a realizar son binarios estos representan a la disponibilidad existente en el canal dados que a un nivel de potencia se indica si está disponible o no, en nuestro caso nos facilita esta acción debido a que las RNA trabajan con entrada de datos binarios tanto para su modelo de RNA como modelo o algoritmo de entrenamiento

3.3.1 Acciones que realizar

El criterio que hemos tomado para la selección de las acciones se basó en la cantidad de datos que podría soportar o ser adecuada para entrenar la red neuronal y que sea a la medida de lo posible apta para la predicción realizando los pasos adecuados dado que la muestra que analiza son 60000 datos que representan 10 días de medición de potencia en el rango de UHF dentro de un edificio. En resumen, los criterios que se tomaron para la muestra que se analizó fueron:

1. Los datos se obtienen de las potencias de 10 días de medición con un total de 60000 datos en promedio
2. Se filtraron los datos tomando en cuenta los días de medición y escogiendo proporcionalmente y separándolos por Días con su cantidad de datos proporcionales
3. Se aplicó la conversión a datos binarios con una potencia de Umbral de -77 dBm dado que se obtenía que 0 sería no disponible, 1 Disponible
4. Posteriormente con los datos en Binarios se procedió a promediar los datos para obtener por día 1440 datos que representarían un minuto cada dato y esto se realizó para los días de lunes a domingo
5. Se procedió a realizar el entrenamiento de la red Neuronal, con un Modelo de Perceptrón Multicapa además de la aplicación del Algoritmo de entrenamiento de Retro propagación

6. Al entrenar la red, se obtuvieron los pesos necesarios para poder predecir el comportamiento de los demás días
7. Se procedió a realizar las gráficas estadísticas que representen tanto los datos originales y los datos de predicción

3.4 Proceso de entrenamiento de la red

Para entrenar las redes neuronales se requirió utilizar un código realizado en Matlab en el cual se implementó las siguientes características:

- **Número de Neuronas por cada capa**

El número de neuronas por capas dependerá de la cantidad de datos que se van a analizar para aprender de su comportamiento y estas aumentaran dependiendo de la cantidad de variables de entradas

- **Capas Ocultas**

Las Capas Ocultas se encontraran dentro de las redes neuronales artificiales para aumentar la cantidad de pesos sinápticos y con este realizando el algoritmo más sensible a los cambios, y dependerá de los datos que se desea predecir.

- **Pesos Iniciales**

Para nuestro algoritmo es necesario que se inicialicen las variables conocidas como pesos iniciales y estas podrán variar dependiendo del valor del Alpha, haciéndolo mucho más sensible a los cambios efectuados realizando un rango entre $[-\alpha \text{ y } \alpha]$

- **Iteraciones de entrenamiento**

La cantidad de épocas o iteraciones de entrenamiento se definirán hasta que se obtenga un error medio cuadrático adecuado ya que hay un límite de épocas donde se reflejan una tendencia de error medio cuadrático, ya

será innecesario sobrepasar el límite de épocas ya que esta causara los mismos valores de errores cuadráticos medios

- **Datos de entrenamientos y predicción**

Tantos los datos de entrenamiento y predicción dependerán del usuario los datos de entradas se utilizarán para aprender del comportamiento, realizando el algoritmo hasta actualizar los pesos sinápticos y por ende con los pesos sinápticos actualizados comenzar a predecir el comportamiento de los demás canales

- **Verificación de predicción con error porcentual**

Me permitirá realizar la validación y efectividad de mi predicción ya que a menor error porcentual mayor será la confianza de nuestro algoritmo de predicción en todas las gráficas que se presentaran

En resumen, se trataron de entrenar los datos por medio de una red de Perceptrón Multicapa en la cual se el fin del entrenamiento es obtener los pesos para la realización de la predicción adecuada de los días posteriores utilizando solamente medio día de entrenamiento de un día, para obtener los pesos necesarios

El tipo de entrenamiento de Retro propagación utiliza una secuencia de procesos realizados en el entrenamiento de una multicapa con valores de prueba de ejemplo, tratando de minimizar el error cuadrático las ecuaciones recursivas serias las siguientes

$$a^m = f^m(W^m a^{m-1} + b^m) \quad (1)$$

$$e_q = t_q - a_q^M \quad (2)$$

$$s^M = -2F^M(n^M) * e_q \quad (3)$$

$$s^{m-1} = -F^{m-1}(n^{m-1})(W^m)^T s^m \quad (4)$$

$$W^m = W^{m-1} - \alpha s^m (a^{m-1})^T \quad (5)$$

$$b^m = b^{m-1} - \alpha s^m \quad (6)$$

Este algoritmo que realizamos inicia tanto el algoritmo de perceptrón realizando la iniciación de los pesos sinápticos de todas las capas de manera aleatoria tales variables son W^m, b^m posteriormente entraría a dos ciclos uno en la cual controlara las épocas y las iteraciones de los patrones de ejemplo, de esta manera dentro de las iteraciones existen 3 grandes pasos.

3.4.1 Propagar hacia delante la estimulación de la entrada

En la ecuación (1) se calcula la salida de la capa 1 y dependiendo del número de capas que se desea utilizar en el perceptrón multicapa estas se repetirán recursivamente tanto con su respectivo peso W^m, b^m además al ser una ecuación recursiva lo que se desea es obtener las salidas de las capas hasta llegar a obtener la salida de la salida de la última capa ya que esta contendrá de manera recursiva a todas las capas anteriores

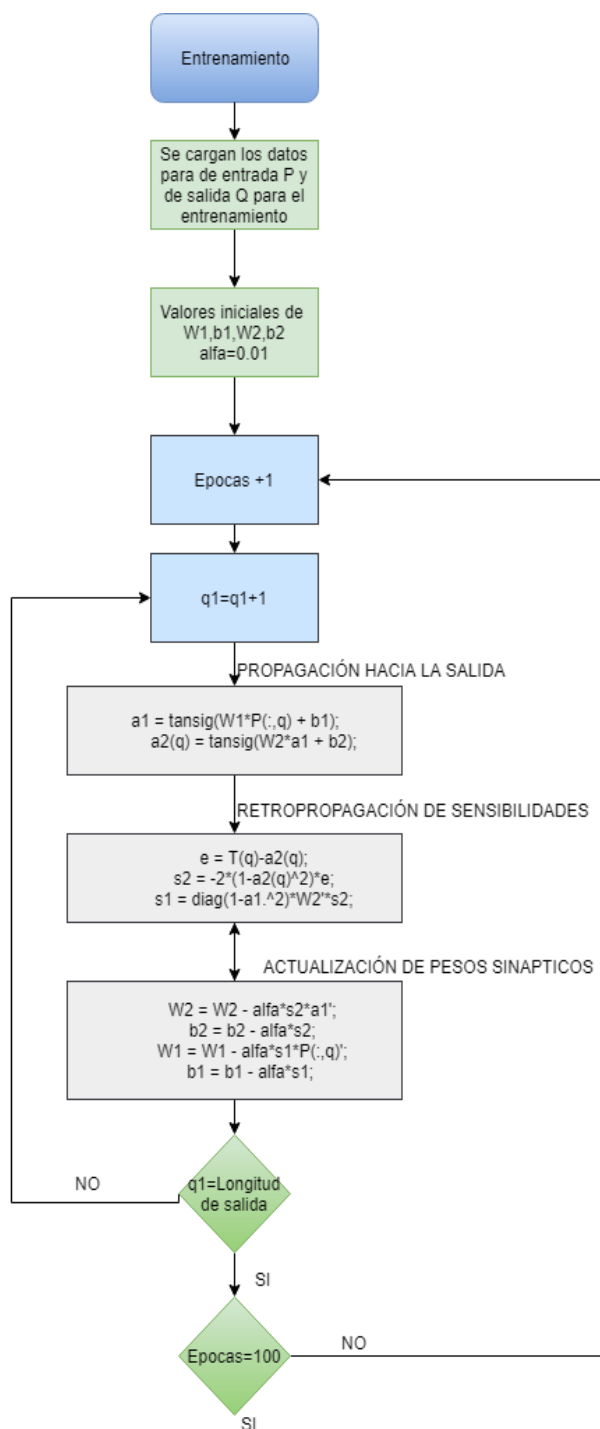
3.4.2 Propagar hacia atrás la sensibilidad de cada una de las capas

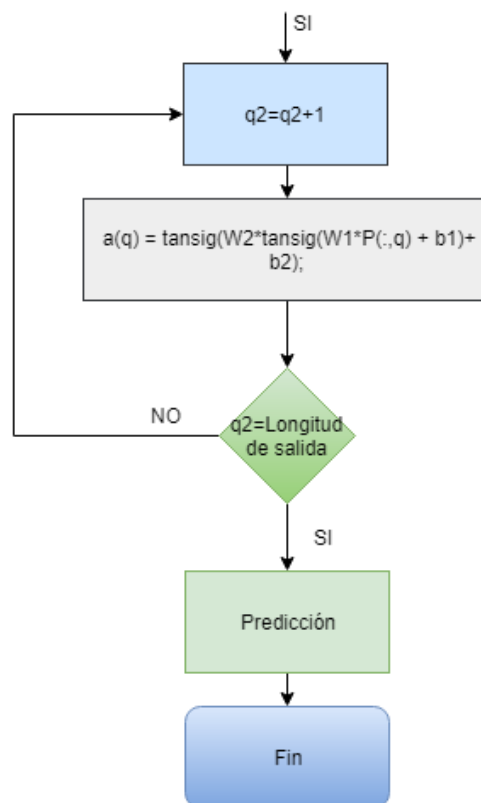
En la ecuación (2) se utilizara la salida de la última capa para calcular el error entre el valor a predecir y la salida de la última capa , posteriormente este error se lo utilizara en la ecuación (3) para obtener la sensibilidad de la última capa , con esta sensibilidad se podrá comenzar la retro propagación hacia las demás capas que se encuentren en nuestro algoritmo y como se muestra en la ecuación (4) se calcula la sensibilidad de la penúltima capa y así sucesivamente hasta llegar a su primera capa siendo esto fundamental en la retro-propagación

3.4.3 Actualización de los pesos sinápticos

Una vez tengamos todas las sensibilidades de las capas que tengamos ya podemos proceder a actualizar los pesos sinápticos de las ecuaciones (4) y (5) y esto se ciclará hasta que tengamos un error cuadrático adecuado, o la red multicapa que se ha entrenado, tenga el reconocimiento de los patrones.

3.5 Diagrama de Flujo del Algoritmo de Entrenamiento y Predicción





CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

En este capítulo se procederá a presentar las gráficas que representaran las simulaciones que se han realizado mostrando las predicciones proporcionadas por el algoritmo de predicción en MATLAB , al analizar los datos que han sido proporcionados por mediciones hechas con anterioridad se procedió a realizar las predicciones por co-canales , con los datos proporcionados pudiendo predecir la disponibilidad usando n-canales conjuntos en el cual consisten en 13 Canales Digitales en el segmento del espectro que va del rango (512 – 698) Mhz de los cuales existe un canal que tiene una gran variación en los días especificados y dado que tenemos que predecir esta variación entre un canal ocupado y desocupado se le dará más énfasis a este canal en todos los co-canales

Las simulaciones realizadas se procederán a presentar en este capítulo, estas simulaciones concluyen y afirman con un porcentaje de error la eficiencia del Algoritmo de Predicción Realizado en Matlab, se procederá a presentar bajo tres tipos de casos, con los días que se han obtenido mayor disponibilidad, intermedia disponibilidad y menor disponibilidad.

A continuación, se presentan las gráficas de Disponibilidad de la predicción de los n-canales conjuntos que se han obtenido con los datos simulados por el algoritmo de predicción

Disponibilidad de predicción de n-canales por día

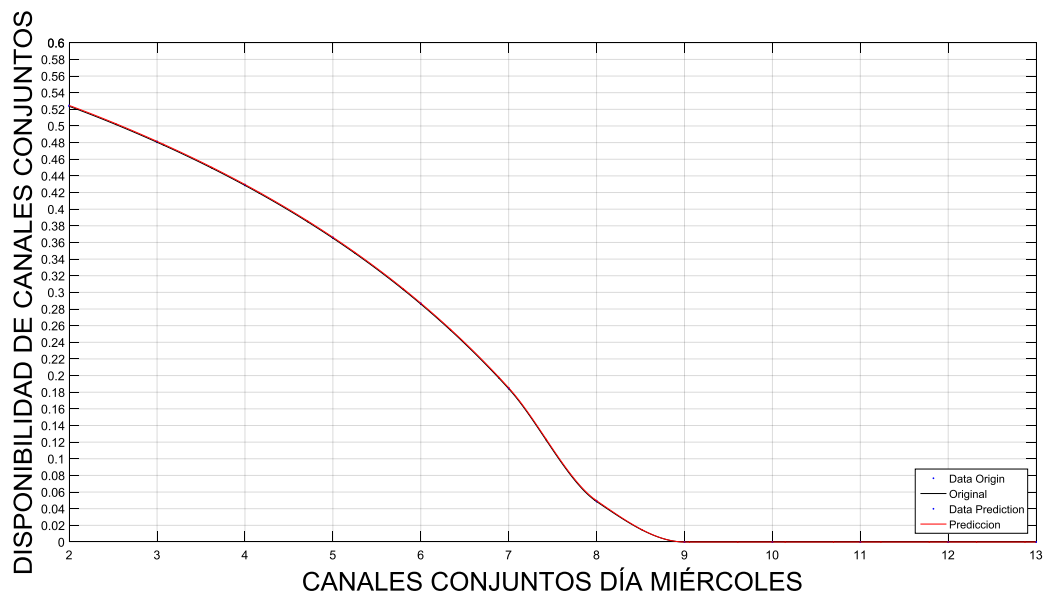


Figura 4.1: Comportamiento de la Disponibilidad del Miércoles en los n-canales tanto en datos originales y la predicción

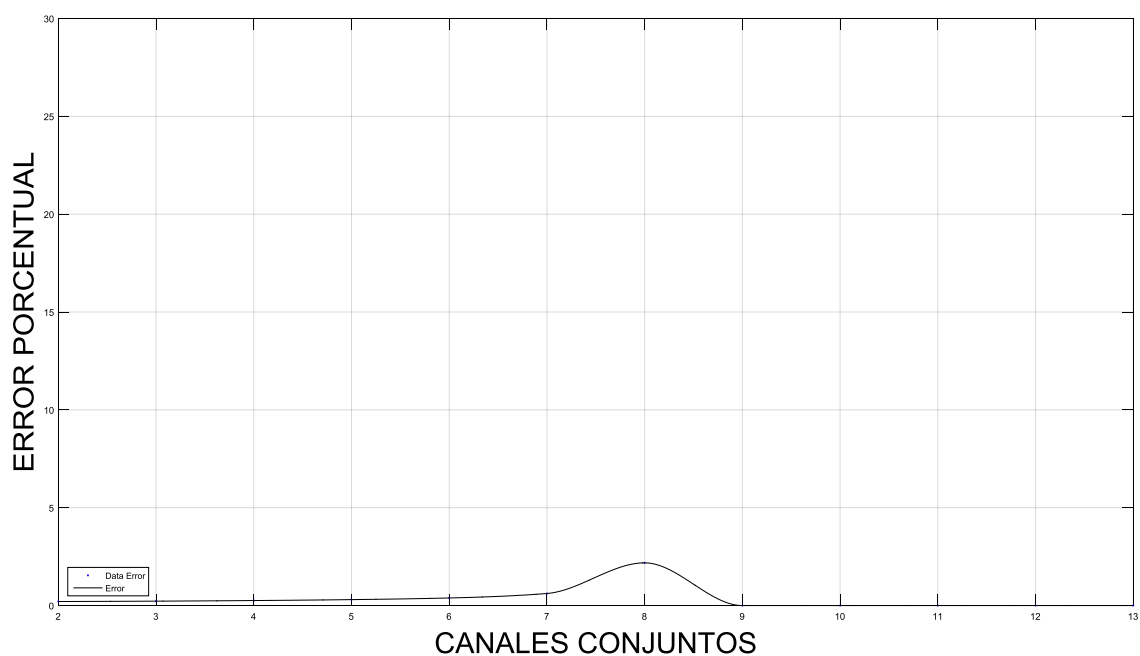


Figura 4.2: Error Porcentual de la Disponibilidad del Miércoles en los n-canales tanto en datos originales y la predicción

En la Figura 4.1 se muestra la predicción de los 13 Co-Canales conjuntos para los datos que se ha simulado y reales tal como se observa en ella al iniciar con solo Dos-Co-canales el promedio de disponibilidad de todos los canales que conformarían el canal conjunto se encuentra en 52.5 % de tal manera que cuando se van aumentando el número de canales conjuntos se va reduciendo la disponibilidad en sus combinaciones y dado que con 8 Canales Conjuntos es lo máximo que podemos encontrar en disponibilidad y llegando para 9 Canales Conjuntos la predicción de Disponibilidad tiende a 0 dado que con 9 canales conjuntos no llegamos a tener en ningún momento disponibilidad y esto es una tendencia para los siguientes canales conjuntos mostrados en la Figura 4.1.

En la Figura 4.2 se representa que tiene un porcentaje de error entre La disponibilidad con los datos reales y los de predicción además de que como se observa en la gráfica comenzando por un error cercano a cero llega a un máximo de error porcentual de 2.5 muy cerca del 8vo Canal Conjunto, dado que existe esa pequeña variación entre los datos originales y predichos.



Figura 4.3: comportamiento de la Disponibilidad del Jueves en los n-canales tanto en datos originales y la predicción

Con respecto a la Figura 4.3, se observa también que para 2do Canal Conjunto ha bajado la disponibilidad hacia un 50.5 % dado que al ser otro día y este representando como el día que hay una menor disponibilidad se representara un decaimiento en la gráfica que podrá ser más notorio entre las diferencias de disponibilidad entre el 7mo Canal Conjunto y el 8vo Canal Conjunto, en la Figura 4.4 se presenta el error entre los canales conjunto de datos reales y predichos, se encuentra en un rango de 2.5 % de error porcentual máximo mostrado entre el 7mo , 8vo y 9no Canal Conjunto y se muestra con detalle a diferencia de los otros días, en este al haber una menor disponibilidad solo se eleva en aquellos canales y en los primeros Canales Conjuntos se mantiene con un error del 0% y así sucesivamente con los siguientes Canales Conjuntos después del 9no Canal Conjunto de esta manera se indica que el algoritmo predice con 100% de efectividad en canales que existe disponibilidad y en los cuales no hay disponibilidad , dado que en los canales conjuntos donde hay mayor variación es cuando está más cerca el canal que tiende a estar con mayores alteraciones produce un error que ha sido mostrado en las gráficas de error porcentual.

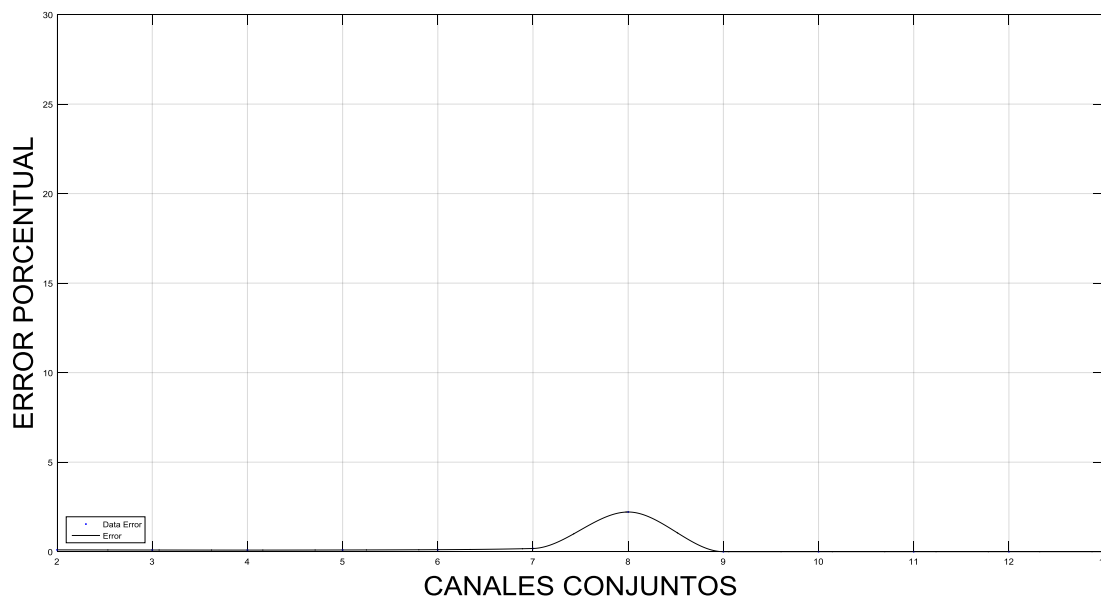


Figura 4.4: Error Porcentual de la Disponibilidad del Jueves en los n-canales tanto en datos originales y la predicción

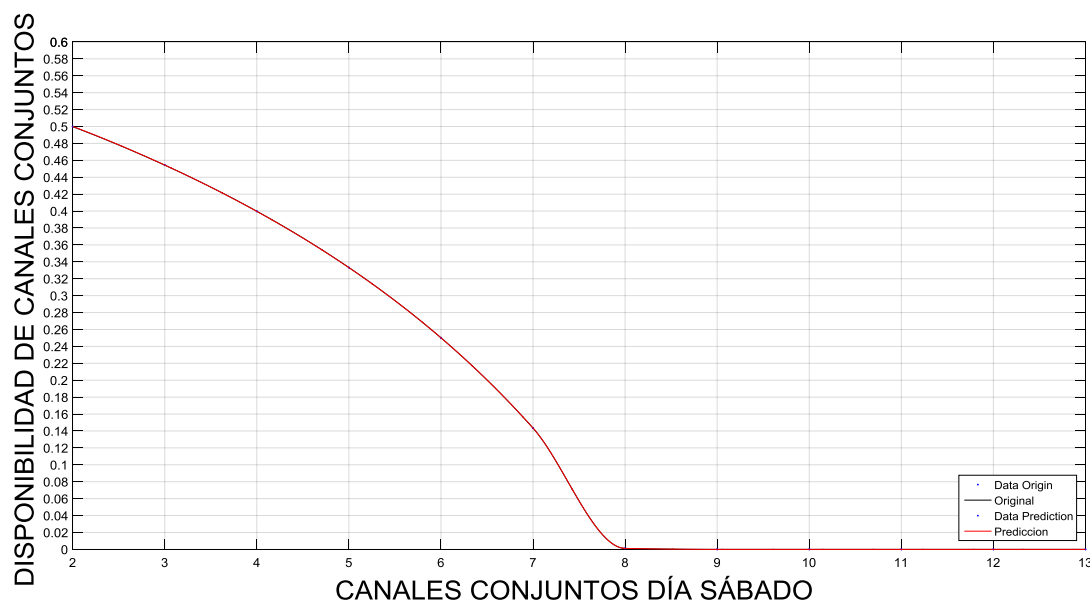


Figura 4.5: Comportamiento de la Disponibilidad del sábado en los n-canales tanto en datos originales y la predicción

Con respecto a la Figura 4.5 , se observa también que para 2Co-canales ha bajado la disponibilidad hacia un 50.01 % dado que es del día con menor disponibilidad en el canal que mostraremos con más detalles esto se reflejara este promedio de disponibilidad entre los demás canales hasta el 9noCo-canal donde se observa que ya no existe Disponibilidad y podrá ser más notorio entre las diferencias de disponibilidad entre el 7mo Canal Conjunto y el 8vo Canal Conjunto y dado que se ha mostrado en todos los canales ese es el máximo de canales conjuntos que se puede encontrar disponibilidad y se presenta el error entre los Co-canales de datos reales y predichos , esto se podrá notar más en las siguientes graficas ya que se podrán observar con graficas de Funciones de Distribución Acumulada además de la Disponibilidad acumulada en el tiempo o por fracción de Tiempo se encuentra en un rango de 2.5 % de error porcentual y se muestra con detalle en la Figura 4.6

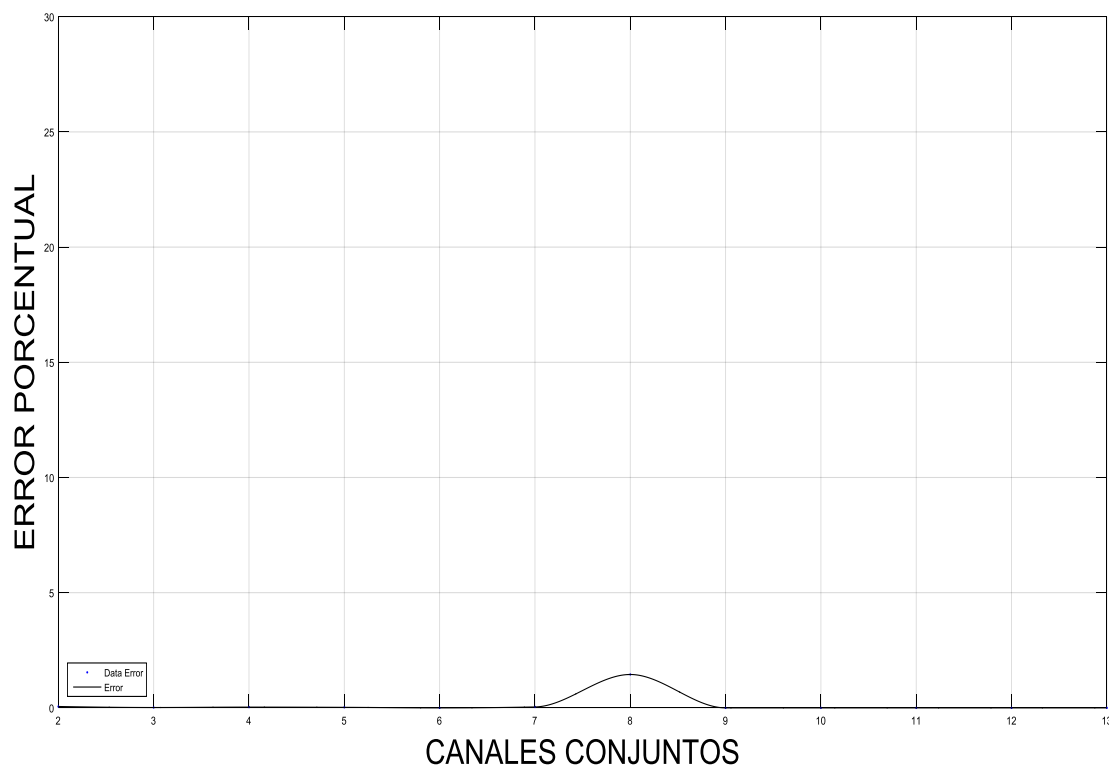


Figura 4.6: Error Porcentual de la Disponibilidad del Jueves en los n-canales tanto en datos originales y la predicción

Para complementar con lo dicho anterior mente se podrá apreciar el promedio de las disponibilidades que contienen cada una de las gráficas con más detalles en los anexos, siendo tales anexos Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 y allí se observara lo mostrado en las gráficas cuando está cerca del 8vo Canal conjunto como descende mostrando que a partir de los canales siguientes no existe disponibilidad en los Canales Conjuntos.

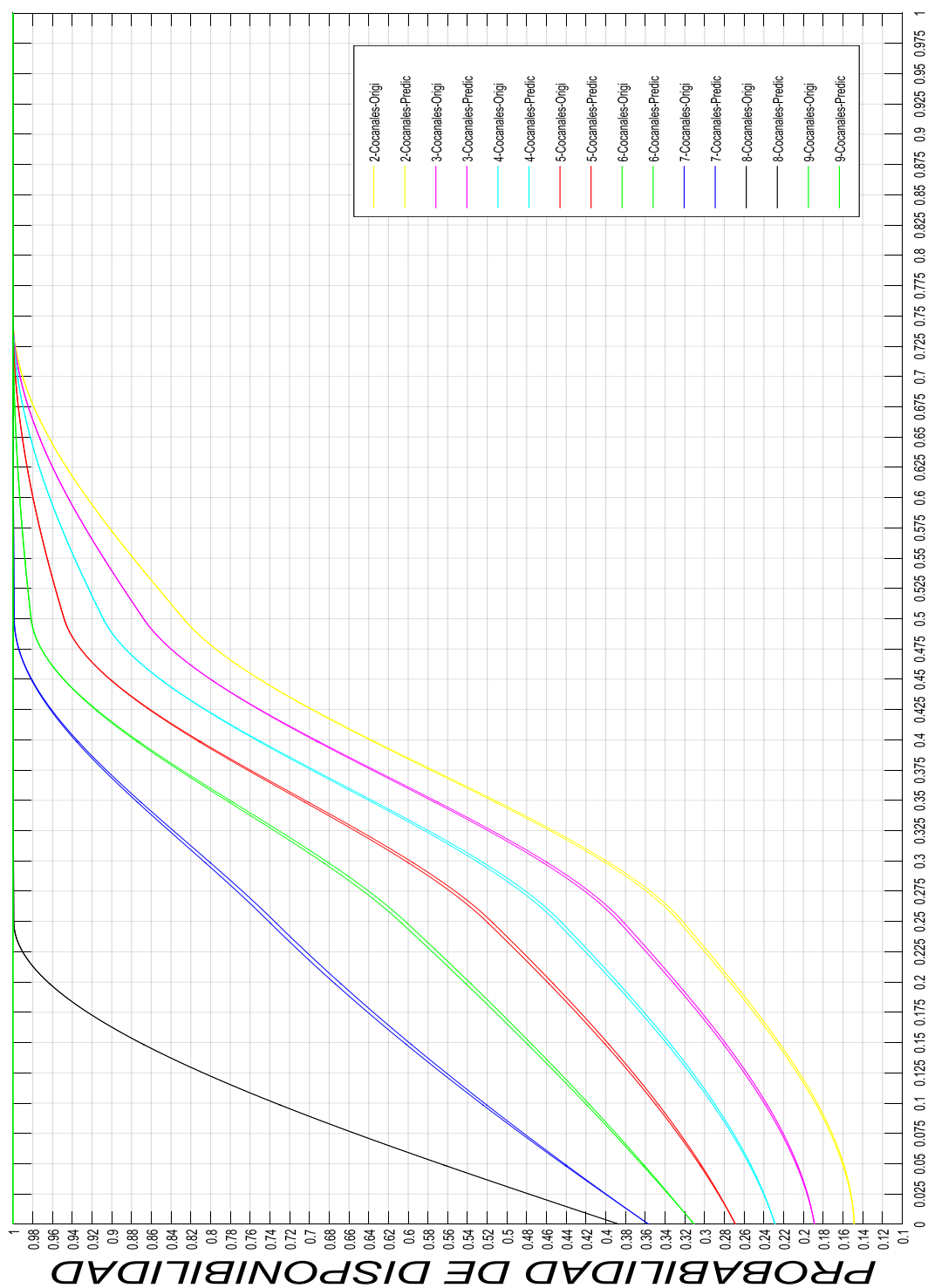
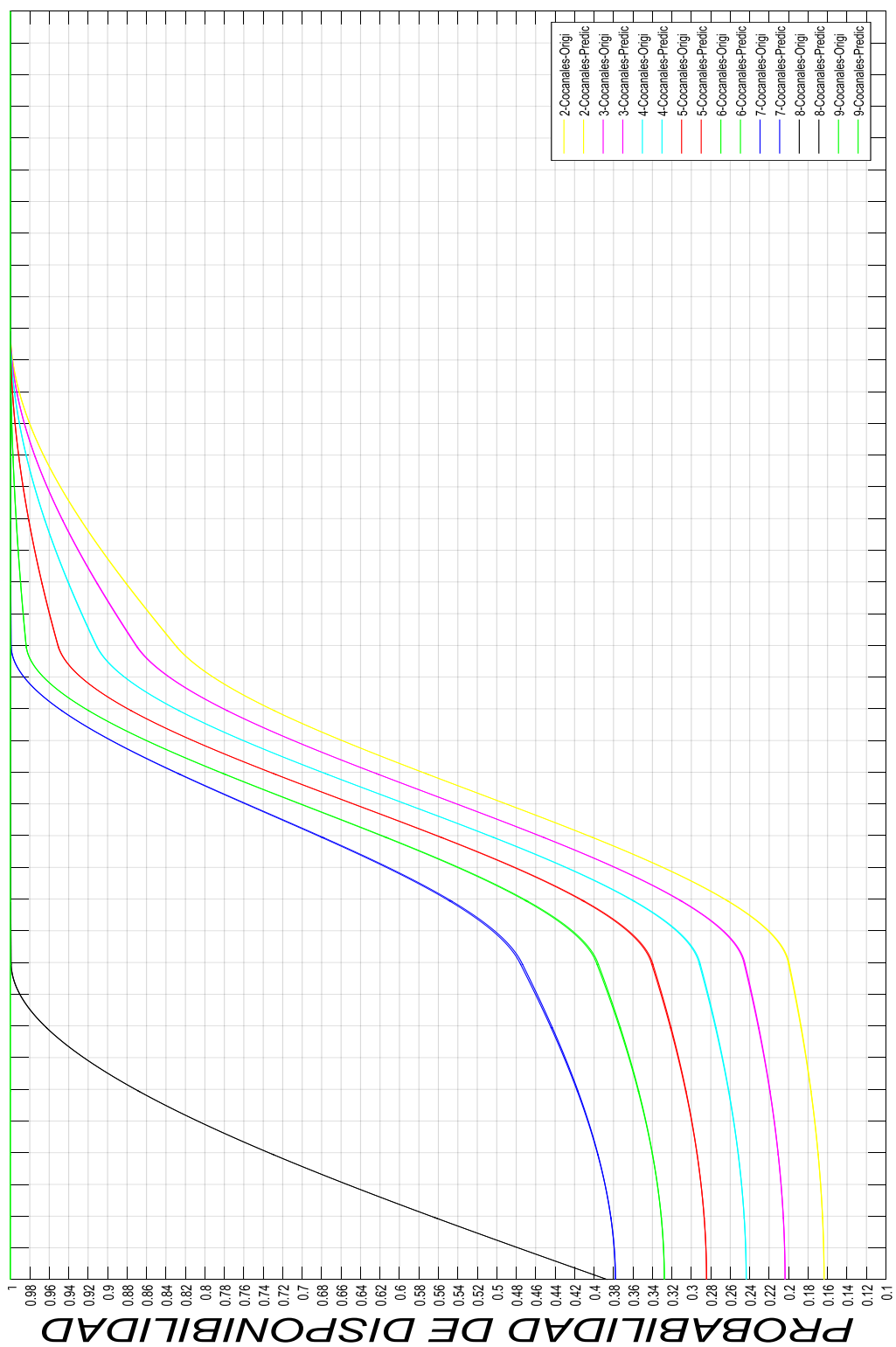
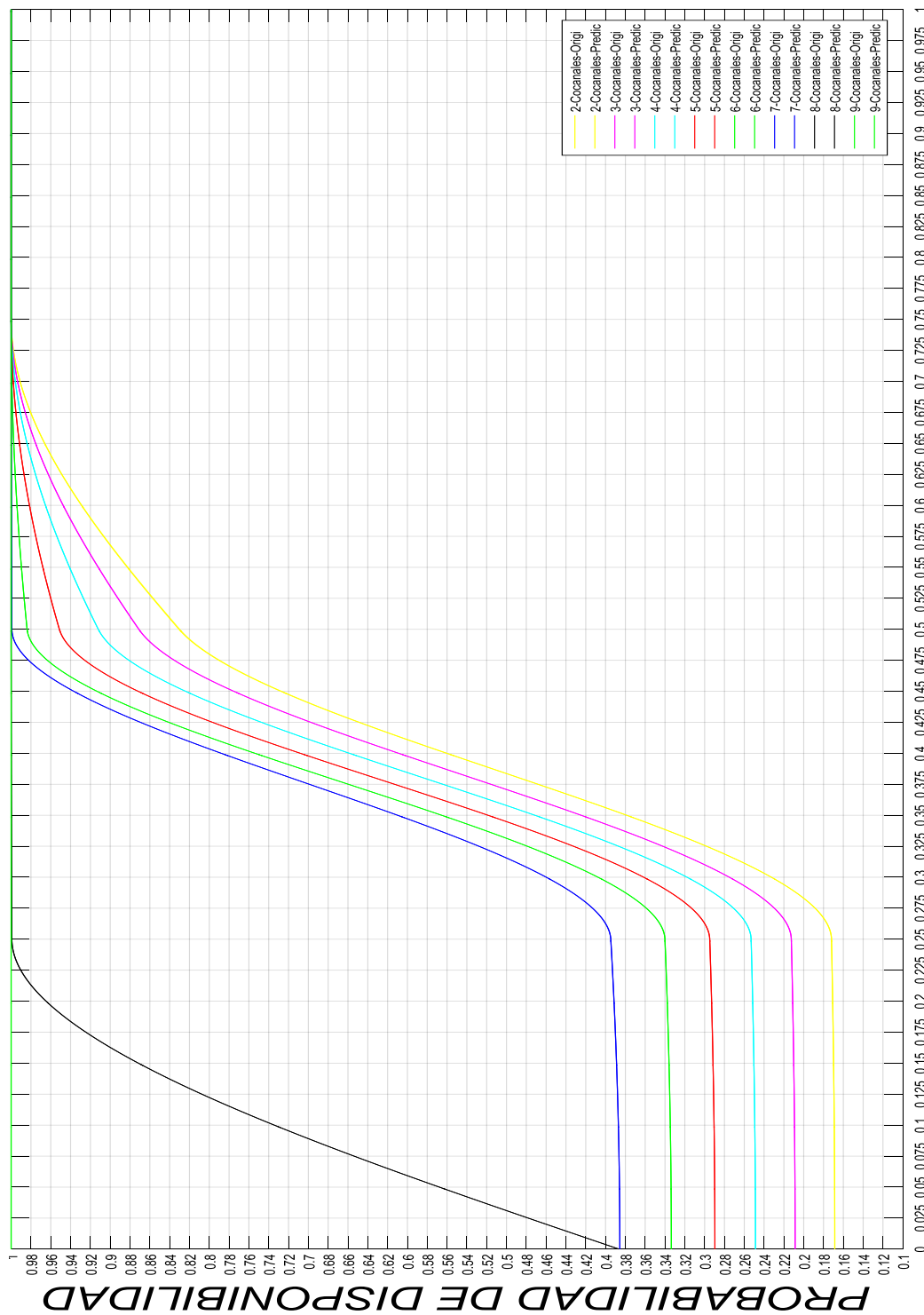


Figura 4.7: Probabilidade Acumulada (CDF) de ofrecer n-canales del Miércoles



DISPONIBILIDAD DÍA JUEVES

Figura 4.8: Probabilidade Acumulada (CDF) de oferecer n -canales do Jueves



DISPONIBILIDAD DÍA SÁBADO

Figura 4.9: Probabilidad Acumulada (CDF) de ofrecer n-canales del Sábado

Con respecto a la Figura 4.7 , 4.8 y 4.9 , se puede dar a notar el crecimiento de la probabilidad inicial que tiene mencionando que son los canales ocupados , tomando en cuenta con respecto a las otras graficas de disponibilidad se vuelve a indicar que a mayor número de canales conjuntos , comienzan a ver una mayor probabilidad de canales ocupados y existe menor probabilidad que hayan desocupados y esto se ve reflejado en las 3 figuras , sin embargo también se da a notar que por los días que tienen mayor disponibilidad comparado con las dos siguientes , se comprueba que en es los días Jueves y Sábado hay una mayor probabilidad de que hayan canales conjuntos ocupados y como se muestra en la figura 4.9 en el 6to canal conjunto se acerca y se asemeja mucho a la CDF del 7mo canal conjunto tanto que reduce su probabilidad de canales disponibles, esto se realiza una comparación con otros conjuntos de CDF de las anteriores Graficas, ya que como la disponibilidad es mucho menor el sábado se ve reflejado esa tendencia a estar ocupado dado que como se notaran las gráficas para el 9no Canal Conjunto la CDF es directamente su tendencia a que el 100% de los datos representaría 0 dado que no existe Disponibilidad en ese Canal conjunto y demostrando que persiste la falta de disponibilidad completa desde en el 9no Canal conjunto.

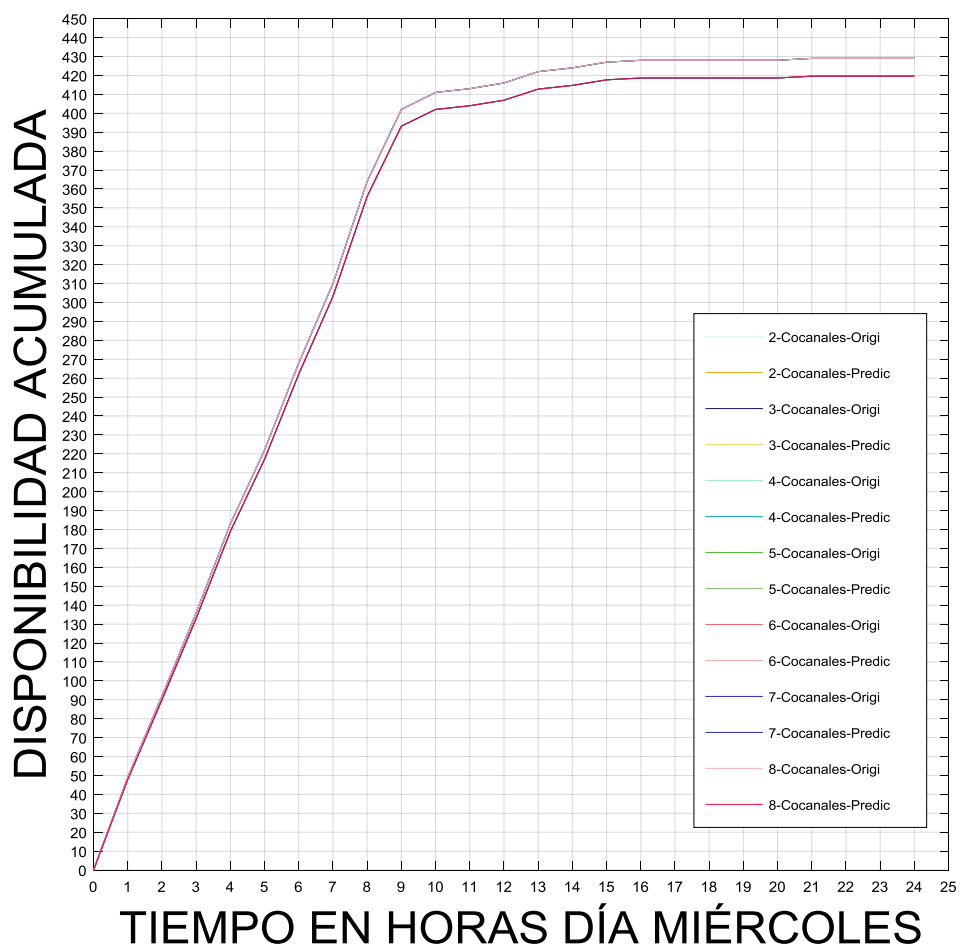


Figura 4.10: Disponibilidad Acumulada del Miércoles por 24 horas de los 9 cocanales

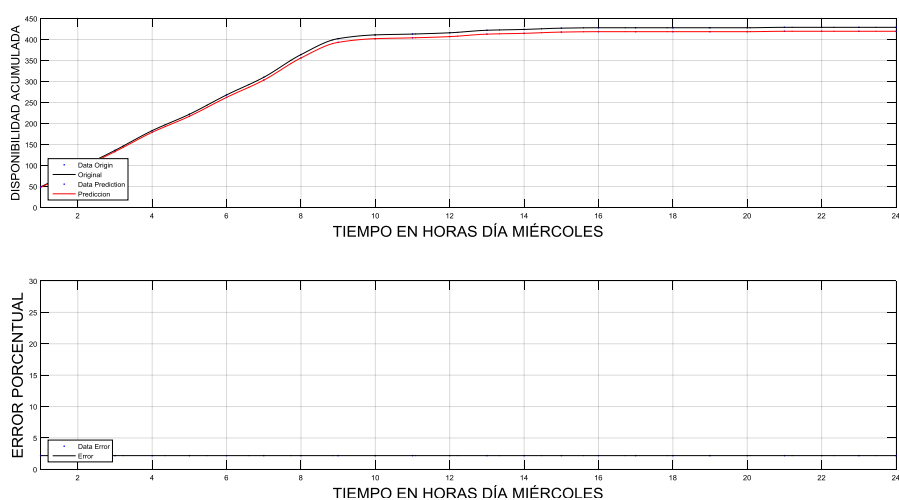


Figura 4.11: Error Porcentual de la Disponibilidad Acumulada del Miercoles por 24 horas de los 9 cocanales



Figura 4.13: Disponibilidad Acumulada del Jueves por 24 horas de los 9 cocanales

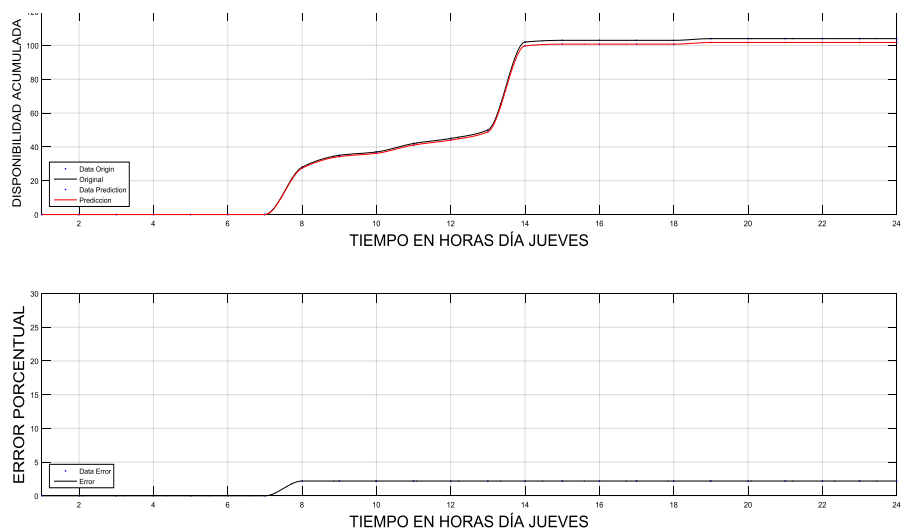


Figura 4.12: Error Porcentual de la Disponibilidad Acumulada del Jueves por 24 horas de los 9 cocanales

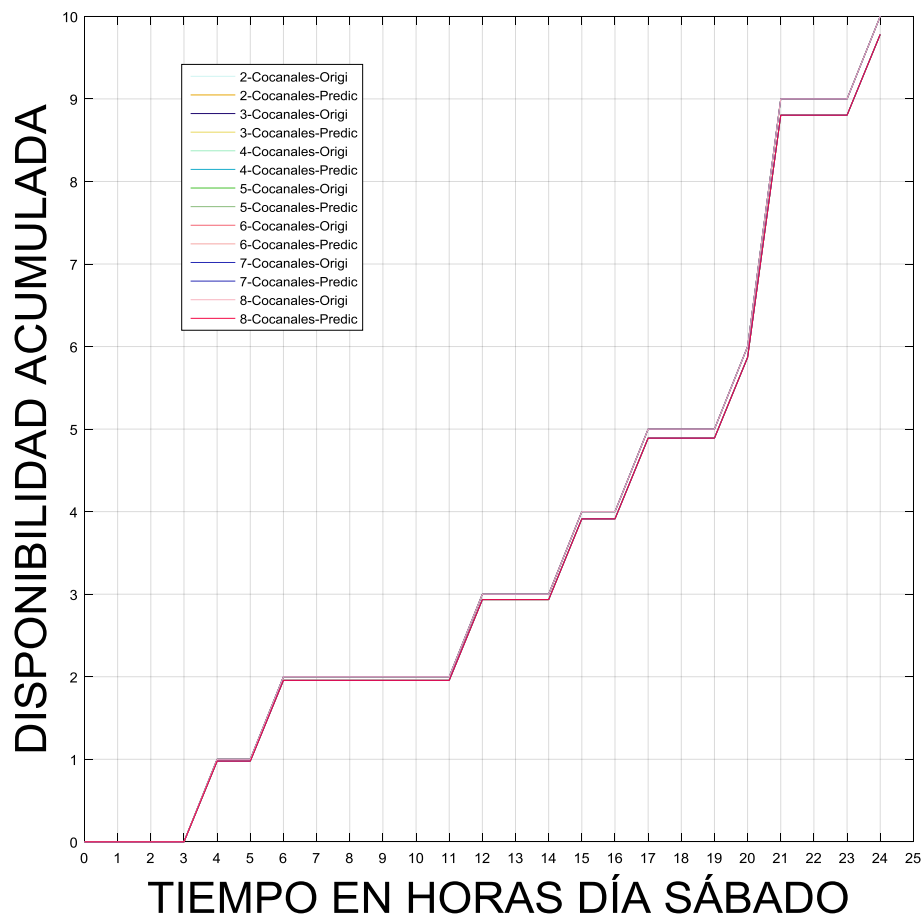


Figura 4.14: Disponibilidad Acumulada del Sábado por 24 horas de los 9 cocanales

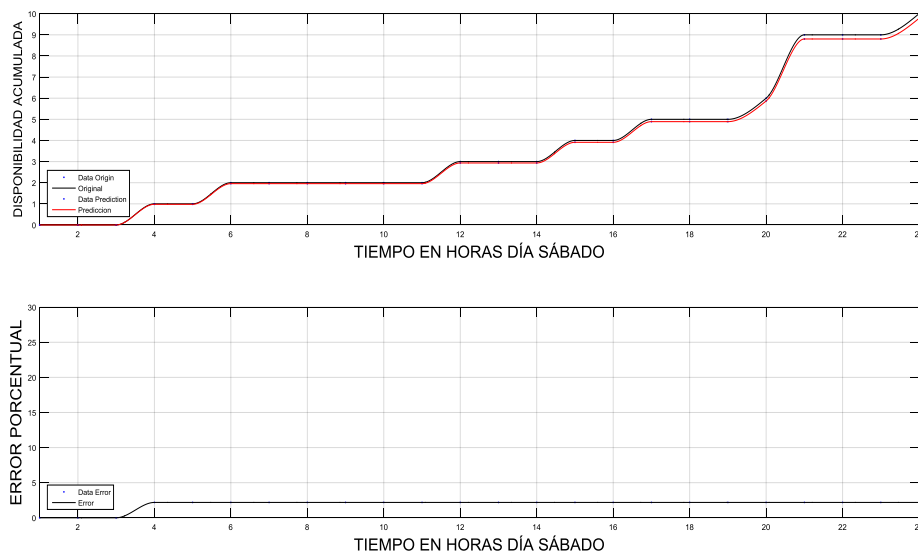


Figura 4.15: Error Porcentual de la Disponibilidad Acumulada del Sábado por 24 horas de los 9 cocanales

Se puede analizar que las gráficas de las figuras 4.10, 4.13, 4,15 como tiene el comportamiento creciente de la gráfica en vista que es una disponibilidad acumulada por todas las 24 horas teniendo en cuenta como referencias las gráficas anteriores mostradas en la tesis, el miércoles tendrá la mayor disponibilidad en el canal 6 que estamos analizando y con la combinación de canales conjuntos se vuelve a demostrar que a partir de 9 canales conjuntos ya no existe Disponibilidad dado que esto se vuelve a demostrar en las imágenes posteriores, también en la figura 4.11 , podemos apreciar con más claridad esta gráfica ya que al tener una mayor disponibilidad en el tiempo el Miércoles se puede apreciar una Disponibilidad acumulada por fracción de hora , también se recalca como en las anteriores graficas un porcentaje de error de predicción mostrado en las figuras 4.12, 4.14, 4.16 dando a notar que no va más allá de un error del 2.5 % que va a la par a la gráfica de los datos originales y los predichos

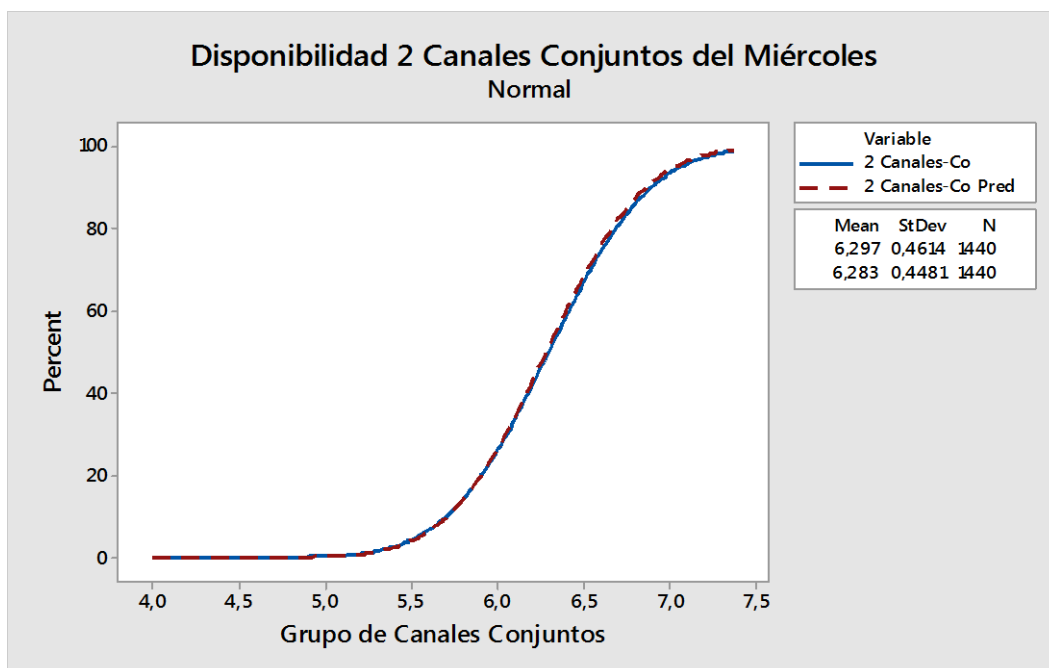


Figura 4.16: Disponibilidad de 2 Canales Conjuntos del miércoles según el grupo de canales disponibles

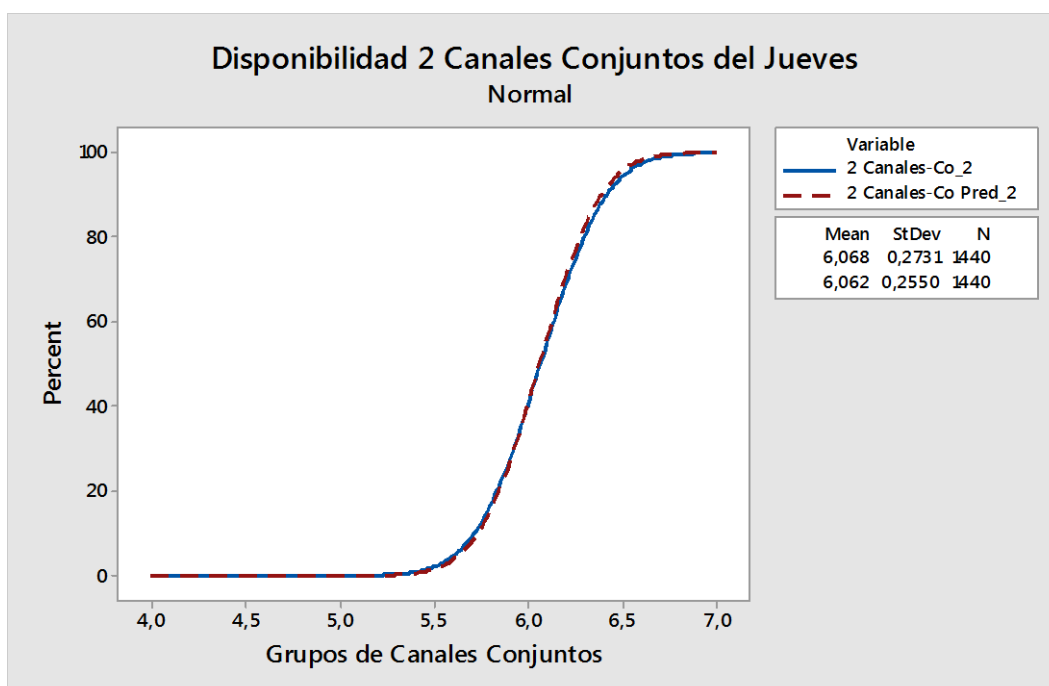


Figura 4.17: Disponibilidad de 2 Canales Conjuntos del jueves según el grupo de canales disponibles

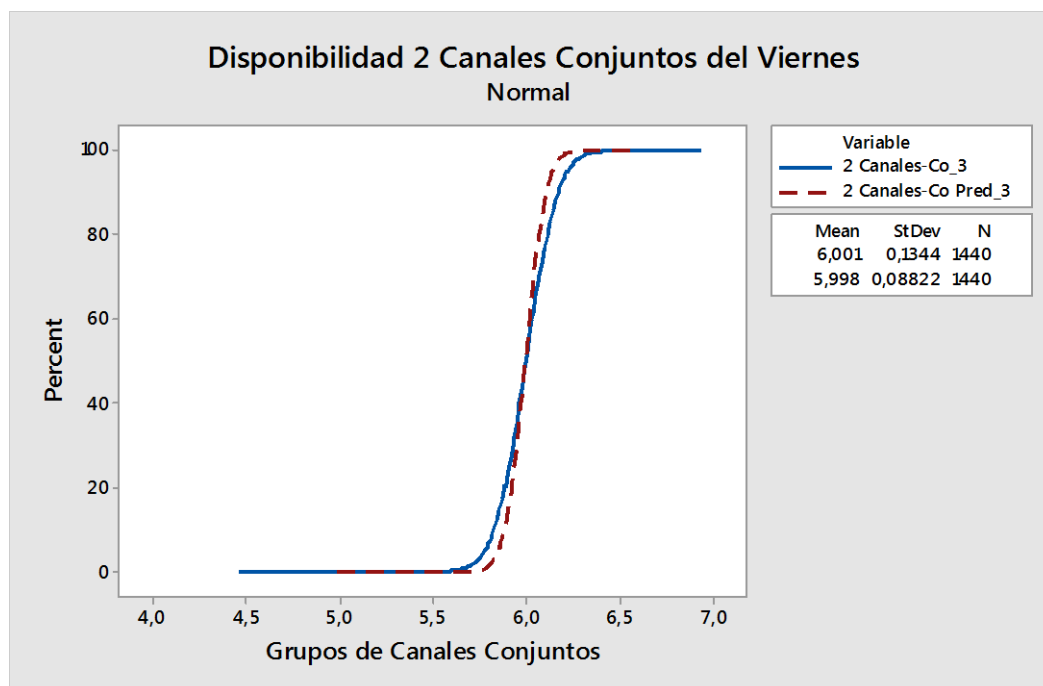


Figura 4.18: Disponibilidad de 2 Canales Conjuntos del Jueves según el grupo de canales disponibles

En las gráficas mostradas realizadas en el programa de minitab se puede observar que para la Figura 4.16 que existe una probabilidad del 20% que existan 6 grupos de canales cuando se realizan para 2 canales conjuntos del miércoles y se indica cómo crece la portabilidad acumulada de los siguientes grupos de canales, en cambio en la Figura 4.17 se notan un decaimiento para el día Jueves siendo que para que existan 6 grupos de canales es menor al 20% y por último para el día Sábado para que exista 6 grupos de canales tiende al 0%, cada una de las gráficas tal como se ha observado pertenecen a los días anteriormente analizados y hemos comprobado nuevamente que para el día Miércoles es el día que contaremos con mayor probabilidad de encontrar canales disponibles en los grupos de canales conjuntos, además de demostrar que el día Sábado es la que tendrá menor Disponibilidad de encontrar canales conjuntos en comparación a los otros días.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se utilizó la red de Perceptrón Multicapa que es el tipo de red neuronal más utilizado y el algoritmo empleado tiene como base al código de predicción de la función xor así como también a las ecuaciones recursivas que se encuentran en el capítulo 3, con todas las modificaciones adecuadas para el manejo óptimo de todas las matrices de disponibilidad de los N canales adyacentes , y se estableció solo con 100 iteraciones para obtener la matriz de pesos sinápticos ya entrenados que se necesitan para realizar la predicción.

Se logró realizar una predicción muy precisa de los canales libres o subutilizados de la banda UHF-TV con un error porcentual de 2.5% mediante el algoritmo basado en el modelo de redes neuronales artificiales. Lo que hace factible esta predicción precisa es el método de aprendizaje de retro propagación que usa la red del perceptrón multicapa para ajustar los pesos sinápticos de la red, consiguiendo predecir eventos futuros certeramente.

Se ha reflejado por medio de los resultados mostrado que el máximo número de canales adyacentes posibles es 9, ya que a partir de aquí la disponibilidad de un mayor número de canales conjuntos tiende a 0. Aunque dependiendo del día el número de canales adyacentes puede variar, generalmente los fines de semana se reduce ligeramente la cantidad de co-canales con respecto a otros días de la semana.

Se observó que existe un canal dentro del rango de frecuencias en cuestión que presenta variaciones de disponibilidad en el tiempo, y este canal es el 6^{to} canal. Por ejemplo, el miércoles presenta una disponibilidad co-canal mayor a la que se obtiene el sábado, esto se puede observar en las gráficas de disponibilidad acumulada presentes en el capítulo 4.

Se comprobó que en la parte baja del interior de un edificio existe mayor disponibilidad de canales, y que esta disponibilidad disminuye según aumente el número de co-canales.

Se analizó que la cantidad de canales que existen disponibilidad en canales conjuntos ofrecerán una gran ayuda para nuevas aplicaciones, al tener de 5 a 6 grupos de canales conjuntos contamos en total entre 30 a 36 MHz disponibles, para el estándar IEEE 802.11g siendo el ancho de banda de un canal para cliente 20 MHz nos beneficiaría para este tipo de tecnologías.

Recomendaciones

Se debe considerar el tipo de sistema a implementar en el ancho de banda que se encuentre disponible de acuerdo con el pronóstico de la disponibilidad de n canales conjuntos y respecto a las cualidades que presenta el algoritmo puede ser empleado para analizar diferentes entornos de población densa ya sean urbanos o rurales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. N. Alvear, « Espectro abierto para el desarrollo Estudio de caso,» Ecuador, 2011.
- [2] «Ericsson Mobility Report,» ERICSSON, June 2017.
- [3] «Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast 2016-2021,» CISCO, Feb 7, 2017.
- [4] D. Talbot, «The Spectrum Crunch That Wasn't,» *MIT Technology Review*, Nov 26, 2012.
- [5] L. F. Pedraza, F. Forero, I. P. Páez, «Evaluación de ocupación del espectro radioeléctrico en Bogotá-Colombia,» *Ing. Cienc.*, vol. 10, nº 19, pp. 127-143, Enero-Junio, 2014.
- [6] J. M. Diez, M. Vélez, R. Sancho, C. Regueiro, «Detección de White Spaces en redes cognitivas en entornos Indoor,» en XXVIII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI), Santiago de Compostela, España, 2013.
- [7] N. S. Torres, C. Hernández, L. F. Pedraza, «Redes neuronales y predicción de tráfico,» *Tecnura*, vol. 15, nº 29, pp. 90-97, 2011.
- [8] M. S. Ghanim, G. Abu-Lebdeh, «Real-Time Dynamic Transit Signal Priority Optimization for Coordinated Traffic Networks Using Genetic Algorithms and Artificial Neural Networks,» 2008.
- [9] S. Zapata, J. Valdes, «Redes neuronales artificiales en predicción de series de tiempo: Una aplicación a la Industria,» *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, pp. 56-85, Julio 2014.
- [10] A. G. Quintero, «Acceso Dinámico al Espectro; estado actual, tendencias y retos,» Univ. Pontificia Bolivariana, Medellín, Nov. 24, 2008.

- [11] J. Mitola, «Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio,» Ph.D. dissertation, KTH Royal Inst. of Technol., Stockholm, Sweden, 2000.
- [12] M. Nekovee, «A Survey of Cognitive Radio Access to TV White Spaces,» Hindawi Publishing Corporation - International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, 2010.
- [13] J. Huidrobo, «Uso Eficiente del Espectro y “White Space”,» octubre, 2014.
- [14] Q. Zhao y B. M. Sadler, «A survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing, Networking, and Regulatory Policy,» *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 24, nº 3, pp. 79-89, mayo de 2007.
- [15] Akyildiz, Ian F, LEE, Won-Yeol; VURAN, Mehmet C, «NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey,» School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA, May 2006.
- [16] BERLEMANN, Lars; DIMITRAKOPOULOS, George; MOESSNER, Klaus; HOFFMEYER, Jim, «COGNITIVE RADIO AND MANAGEMENT OF SPECTRUM AND RADIO RESOURCES IN RECONFIGURABLE NETWORKS,» Wireless World research Forum, Working Group 6 (WG6). White paper.
- [17] WANG, B. AND K. J. R. LIU, «Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey,» *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol. 5, nº 1, pp. 5-22, 2011.
- [18] P. Yadav, S. Chatterjee y P. Bhattacharya, «A SURVEY ON DYNAMIC SPECTRUM ACCESS TECHNIQUES IN COGNITIVE RADIO,» Diciembre 2012.
- [19] 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.
- [20] J. Gomez, «Modelado de la Disponibilidad De Canales de la Banda UhfTv para el uso Potencial De Sistemas con Acceso Oportunista Al Espectro (Osa) En Una Zona Urban».

- [21] Qing Zhao and Ananthram Swami, «Chapter 4 - Spectrum sensing and identification, In *Cognitive Radio Communications and Networks*,» *Academic Press, Oxford*, nº 85-111, 2010.
- [22] F. Novillo, «Proposal and Evaluation of Channel Assignment Algorithms for Wireless Local Area Networks with Opportunistic Spectrum Access Capabilities,» Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions – Universitat Politècnica de Catalunya, mayo 2013.
- [23] H. Zheng and C. Peng, «Collaboration and fairness in opportunistic spectrum access,» *Proc. IEEE Int. Conf. Communications (ICC)*, pp. 3132-3136, 2005.
- [24] R. Urgaonkar y M. Neely, «Opportunistic scheduling with reliability guarantees in cognitive radio networks,» *Proc. IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, pp. 1301-1309, 2008.
- [25] P. Pawelczak y otros, «State of the art in opportunistic spectrum access medium access control design,» *Proc. IEEE International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom)*, pp. 1-6, mayo 2008.
- [26] Q. Zhao, «Spectrum opportunity and interference constraint in opportunistic spectrum access,» *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing (ICASSP)*, April 2007.
- [27] S. Haykin, «Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications,» *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 23, nº 2, p. 201–220, febrero 2005.
- [28] J. Mitola, «Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications,» *Proc. IEEE Int. Workshop Mobile Multimedia Communications*, 1999.
- [29] Akyildiz, I., Lee, W., Vuran, M., Mohanty, S., «A survey on spectrum management in cognitive radio networks,» *Communications Magazine IEEE*, vol. 46, nº 4, pp. 40-48, abril 2008.

- [30] Ghasemi, A., Sousa, E., «Collaborative Spectrum Sensing for Opportunistic Access in Fading Environments,» University of Toronto, 2005.
- [31] Wang, B., Liu, K., «Advances in cognitive radio networks: A survey, Selected Topics in Signal Processing,» *IEEE Journal*, vol. 5, nº 1, pp. 5-23, febrero 2011.
- [32] Krishnamurthy. S., entre otros, «Control Channel Based MAC Layer Configuration, Routing and Situation Awareness for Cognitive Radio Networks,» Proc. IEEE MILCOM, octubre 2005.
- [33] Zhao, Q., Tong, L., Swami, A., Chen, Y., «Decentralized cognitive MAC for opportunistic spectrum access in ad hoc networks: A POMDP framework, Selected Areas in Communications,» *IEEE Journal*, vol. 25, nº 3, pp. 589-600, abril 2007 .
- [34] Ileri, O., Samardzija, D., Mandayam, N., «Demand Responsive Pricing and Competitive Spectrum Allocation via Spectrum Server,» Proc. IEEE DySPAN, noviembre 2005 .
- [35] Zheng, H., Cao, L., «Device-centric Spectrum Management,» Proc. IEEE DySPAN, noviembre 2005.
- [36] Menon, R., Buehrer, R., Reed, J., «Outage Probability Based Comparison of Underlay and Overlay Spectrum Sharing Techniques,» Proc. IEEE DySPAN, noviembre 2005.
- [37] F. Jondral, «Software-Defined Radio – Basics and Evolution to Cognitive Radio,» *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, abril 2005.
- [38] Broadband Center of Excellence, «TV White Space: Ready for prime time?,» University of New Hampshire, New Hampshire, Estados Unidos, 2014.
- [39] S. Jayavalan, H. Mohamad, N. M. Aripin, A. Ismail, N. R. Ramli, A. Yaacob, M. A. Ng, «Measurements and Analysis of Spectrum Occupancy

in the Cellular and TV Bands,» *Software Engineering*, vol. 2, nº 2, Mayo, 2014.

- [40] X. Ying, J. Zhang, L. Yan, G. Zhang, M. Chen, and R. Chandra, «Exploring Indoor White Spaces in Metropolises,» *The 19th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Miami, Florida, Estados Unidos*, pp. 255-266, 2013.
- [41] M. Nekovee, «Quantifying the TV White Spaces Spectrum Opportunity for Cognitive Radio Access,» *Communications Infrastructure. Systems and Applications in Europe, Berlín, Alemania: Springer Berlin Heidelberg*, pp. 46-57, 2009.
- [42] HU, Fei; XIAO, Yang, «COGNITIVE RADIO NETWORKS,» CRC Press. Boca Raton, FL. USA, 2009.
- [43] S. Haykin, *Neuronal Networks*, New Yersey, USA: Prentice-Hall, 1999.

ANEXOS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
-0.2748	-0.2748	-0.2748	-0.2748	-0.2748	-0.2748	-0.2748	-0.2782	-0.2787	-0.2789	-0.2791	-0.2791	-0.2791
-0.3370	-0.3370	-0.3370	-0.3370	-0.3370	-0.3370	-0.3370	-0.3329	-0.3324	-0.3320	-0.3318	-0.3319	-0.3319
-0.0491	-0.0491	-0.0491	-0.0491	-0.0491	-0.0491	-0.0491	-0.0459	-0.0455	-0.0452	-0.0450	-0.0451	-0.0451
-0.5772	-0.5772	-0.5772	-0.5772	-0.5772	-0.5772	-0.5772	-0.5766	-0.5765	-0.5765	-0.5764	-0.5764	-0.5764
-0.3255	-0.3255	-0.3255	-0.3255	-0.3255	-0.3255	-0.3255	-0.3251	-0.3251	-0.3250	-0.3250	-0.3250	-0.3250
0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0046	0.0028	0.0026	0.0024	0.0023	0.0024	0.0024
0.5297	0.5297	0.5297	0.5297	0.5297	0.5297	0.5297	0.5326	0.5330	0.5332	0.5334	0.5334	0.5333
0.0281	0.0281	0.0281	0.0281	0.0281	0.0281	0.0281	0.0250	0.0245	0.0243	0.0241	0.0241	0.0242
-0.9159	-0.9159	-0.9159	-0.9159	-0.9159	-0.9159	-0.9159	-0.9169	-0.9171	-0.9172	-0.9172	-0.9172	-0.9172
-0.9722	-0.9722	-0.9722	-0.9722	-0.9722	-0.9722	-0.9722	-0.9733	-0.9734	-0.9735	-0.9736	-0.9736	-0.9736
-0.3531	-0.3531	-0.3531	-0.3531	-0.3531	-0.3531	-0.3531	-0.3522	-0.3520	-0.3519	-0.3519	-0.3519	-0.3519
-0.3102	-0.3102	-0.3102	-0.3102	-0.3102	-0.3102	-0.3102	-0.3129	-0.3132	-0.3135	-0.3136	-0.3136	-0.3136
0.3994	0.3994	0.3994	0.3994	0.3994	0.3994	0.3994	0.3978	0.3976	0.3974	0.3973	0.3974	0.3974
0.3995	0.3995	0.3995	0.3995	0.3995	0.3995	0.3995	0.3985	0.3984	0.3983	0.3982	0.3983	0.3983
0.0546	0.0546	0.0546	0.0546	0.0546	0.0546	0.0546	0.0531	0.0529	0.0527	0.0526	0.0526	0.0527
-0.7532	-0.7532	-0.7532	-0.7532	-0.7532	-0.7532	-0.7532	-0.7525	-0.7524	-0.7523	-0.7523	-0.7523	-0.7523
-0.2135	-0.2135	-0.2135	-0.2135	-0.2135	-0.2135	-0.2135	-0.2169	-0.2173	-0.2176	-0.2178	-0.2178	-0.2178
0.0538	0.0538	0.0538	0.0538	0.0538	0.0538	0.0538	0.0514	0.0510	0.0508	0.0507	0.0507	0.0507
0.0950	0.0950	0.0950	0.0950	0.0950	0.0950	0.0950	0.0994	0.1000	0.1003	0.1006	0.1006	0.1005
-0.0960	-0.0960	-0.0960	-0.0960	-0.0960	-0.0960	-0.0960	-0.0999	-0.1005	-0.1008	-0.1011	-0.1010	-0.1010
0.8136	0.8136	0.8136	0.8136	0.8136	0.8136	0.8136	0.8133	0.8133	0.8133	0.8133	0.8133	0.8133
0.3745	0.3745	0.3745	0.3745	0.3745	0.3745	0.3745	0.3748	0.3749	0.3749	0.3749	0.3749	0.3749
-0.8282	-0.8282	-0.8282	-0.8282	-0.8282	-0.8282	-0.8282	-0.8237	-0.8231	-0.8227	-0.8224	-0.8225	-0.8225
0.7696	0.7696	0.7696	0.7696	0.7696	0.7696	0.7696	0.7705	0.7706	0.7707	0.7707	0.7707	0.7707
1.0037	1.0037	1.0037	1.0037	1.0037	1.0037	1.0037	1.0084	1.0091	1.0095	1.0098	1.0097	1.0097
0.0708	0.0708	0.0708	0.0708	0.0708	0.0708	0.0708	0.0760	0.0767	0.0771	0.0774	0.0774	0.0773
0.5527	0.5527	0.5527	0.5527	0.5527	0.5527	0.5527	0.5533	0.5534	0.5534	0.5534	0.5534	0.5534
-0.5144	-0.5144	-0.5144	-0.5144	-0.5144	-0.5144	-0.5144	-0.5154	-0.5156	-0.5157	-0.5157	-0.5157	-0.5157
0.0649	0.0649	0.0649	0.0649	0.0649	0.0649	0.0649	0.0657	0.0658	0.0658	0.0659	0.0659	0.0659
0.6747	0.6747	0.6747	0.6747	0.6747	0.6747	0.6747	0.6752	0.6753	0.6753	0.6753	0.6753	0.6753
-0.0812	-0.0812	-0.0812	-0.0812	-0.0812	-0.0812	-0.0812	-0.0789	-0.0786	-0.0784	-0.0783	-0.0783	-0.0783
-0.6057	-0.6057	-0.6057	-0.6057	-0.6057	-0.6057	-0.6057	-0.6051	-0.6050	-0.6049	-0.6049	-0.6049	-0.6049

Anexo 1: Pesos sinápticos correspondiente a la primera capa con agrupación de los primeros 12 canales correspondientes a los Dos Canales Conjuntos conformando 300 filas datos por cada canal

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
-0.8872	0.8646	0.7141	0.1032	0.0695	-0.3553	0.5005	-0.5189	-0.8360	-0.1868	0.6124	-0.5904	-0.2768	-0.1671	-0.3344	0.1345	-0.8630	-0.4449
-0.8872	0.8646	0.7141	0.1032	0.0695	-0.3553	0.5005	-0.5189	-0.8360	-0.1868	0.6124	-0.5904	-0.2768	-0.1671	-0.3344	0.1345	-0.8630	-0.4449
-0.8872	0.8646	0.7141	0.1032	0.0695	-0.3553	0.5005	-0.5189	-0.8360	-0.1868	0.6124	-0.5904	-0.2768	-0.1671	-0.3344	0.1345	-0.8630	-0.4449
-0.8872	0.8646	0.7141	0.1032	0.0695	-0.3553	0.5005	-0.5189	-0.8360	-0.1868	0.6124	-0.5904	-0.2768	-0.1671	-0.3344	0.1345	-0.8630	-0.4449
-0.8822	0.8628	0.7113	0.1031	0.0690	-0.3532	0.4990	-0.5149	-0.8319	-0.1863	0.6113	-0.5862	-0.2757	-0.1663	-0.3330	0.1338	-0.8613	-0.4418
-0.8859	0.8658	0.7145	0.1053	0.0675	-0.3507	0.4977	-0.5158	-0.8373	-0.1871	0.6060	-0.5893	-0.2768	-0.1669	-0.3360	0.1318	-0.8577	-0.4398
-0.8865	0.8663	0.7149	0.1056	0.0672	-0.3503	0.4976	-0.5159	-0.8381	-0.1872	0.6053	-0.5898	-0.2770	-0.1670	-0.3364	0.1315	-0.8571	-0.4395
-0.8868	0.8665	0.7152	0.1058	0.0671	-0.3501	0.4975	-0.5160	-0.8386	-0.1872	0.6049	-0.5901	-0.2771	-0.1671	-0.3366	0.1314	-0.8568	-0.4393
-0.8870	0.8667	0.7154	0.1059	0.0670	-0.3499	0.4974	-0.5161	-0.8389	-0.1873	0.6045	-0.5903	-0.2772	-0.1671	-0.3368	0.1313	-0.8566	-0.4392
-0.8870	0.8667	0.7154	0.1059	0.0670	-0.3499	0.4974	-0.5161	-0.8388	-0.1873	0.6046	-0.5902	-0.2772	-0.1671	-0.3368	0.1313	-0.8567	-0.4392
-0.8869	0.8666	0.7153	0.1059	0.0671	-0.3500	0.4974	-0.5160	-0.8388	-0.1873	0.6047	-0.5902	-0.2771	-0.1671	-0.3367	0.1313	-0.8567	-0.4392

Anexo 2: Pesos sinápticos correspondiente a la tercera capa con agrupación de los primeros 12 canales correspondientes a los Dos Canales Conjuntos conformando 300 columnas datos por cada canal

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-0.4374	-0.4374	-0.4374	-0.4374	-0.4374	-0.4383	-0.4417	-0.4421	-0.4424	-0.4426	-0.4426	-0.4425
0.8706	0.8706	0.8706	0.8706	0.8706	0.8699	0.8740	0.8745	0.8749	0.8751	0.8750	0.8750
0.6175	0.6175	0.6175	0.6175	0.6175	0.6166	0.6198	0.6202	0.6205	0.6207	0.6207	0.6206
0.9497	0.9497	0.9497	0.9497	0.9497	0.9470	0.9476	0.9477	0.9477	0.9477	0.9477	0.9477
0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0734	0.0728	0.0732	0.0733	0.0733	0.0733	0.0733	0.0733
0.4519	0.4519	0.4519	0.4519	0.4519	0.4496	0.4478	0.4476	0.4475	0.4473	0.4474	0.4474
-0.7439	-0.7439	-0.7439	-0.7439	-0.7439	-0.7416	-0.7387	-0.7383	-0.7381	-0.7379	-0.7379	-0.7379
-0.1727	-0.1727	-0.1727	-0.1727	-0.1727	-0.1721	-0.1752	-0.1756	-0.1758	-0.1760	-0.1760	-0.1760
-0.5066	-0.5066	-0.5066	-0.5066	-0.5066	-0.5070	-0.5080	-0.5082	-0.5083	-0.5083	-0.5083	-0.5083
0.8485	0.8485	0.8485	0.8485	0.8485	0.8456	0.8445	0.8443	0.8442	0.8442	0.8442	0.8442
-0.9476	-0.9476	-0.9476	-0.9476	-0.9476	-0.9457	-0.9447	-0.9446	-0.9445	-0.9445	-0.9445	-0.9445
-0.2615	-0.2615	-0.2615	-0.2615	-0.2615	-0.2609	-0.2635	-0.2639	-0.2641	-0.2642	-0.2642	-0.2642
-0.5932	-0.5932	-0.5932	-0.5932	-0.5932	-0.5904	-0.5920	-0.5922	-0.5924	-0.5925	-0.5925	-0.5924
-0.5081	-0.5081	-0.5081	-0.5081	-0.5081	-0.5052	-0.5062	-0.5064	-0.5064	-0.5065	-0.5065	-0.5065
-0.5878	-0.5878	-0.5878	-0.5878	-0.5878	-0.5852	-0.5868	-0.5870	-0.5871	-0.5872	-0.5872	-0.5872
0.4229	0.4229	0.4229	0.4229	0.4229	0.4203	0.4210	0.4211	0.4212	0.4212	0.4212	0.4212
0.9011	0.9011	0.9011	0.9011	0.9011	0.9002	0.8968	0.8963	0.8961	0.8959	0.8959	0.8959
0.2883	0.2883	0.2883	0.2883	0.2883	0.2869	0.2844	0.2841	0.2839	0.2838	0.2838	0.2838
0.1795	0.1795	0.1795	0.1795	0.1795	0.1797	0.1841	0.1847	0.1851	0.1853	0.1853	0.1852
0.5124	0.5124	0.5124	0.5124	0.5124	0.5121	0.5081	0.5076	0.5072	0.5070	0.5070	0.5071
0.7640	0.7640	0.7640	0.7640	0.7640	0.7611	0.7609	0.7608	0.7608	0.7608	0.7608	0.7608
0.5773	0.5773	0.5773	0.5773	0.5773	0.5742	0.5745	0.5745	0.5746	0.5746	0.5746	0.5746
0.4632	0.4632	0.4632	0.4632	0.4632	0.4636	0.4681	0.4688	0.4691	0.4694	0.4694	0.4693
-0.1820	-0.1820	-0.1820	-0.1820	-0.1820	-0.1807	-0.1799	-0.1797	-0.1797	-0.1796	-0.1796	-0.1796
-0.5431	-0.5431	-0.5431	-0.5431	-0.5431	-0.5441	-0.5394	-0.5387	-0.5383	-0.5381	-0.5381	-0.5382
-0.4353	-0.4353	-0.4353	-0.4353	-0.4353	-0.4368	-0.4316	-0.4309	-0.4304	-0.4301	-0.4302	-0.4302
0.0139	0.0139	0.0139	0.0139	0.0139	0.0138	0.0144	0.0145	0.0145	0.0145	0.0145	0.0145
-0.3303	-0.3303	-0.3303	-0.3303	-0.3303	-0.3284	-0.3295	-0.3296	-0.3297	-0.3298	-0.3297	-0.3297
-0.3009	-0.3009	-0.3009	-0.3009	-0.3009	-0.2988	-0.2980	-0.2979	-0.2978	-0.2978	-0.2978	-0.2978
-0.4543	-0.4543	-0.4543	-0.4543	-0.4543	-0.4514	-0.4509	-0.4509	-0.4508	-0.4508	-0.4508	-0.4508
0.9059	0.9059	0.9059	0.9059	0.9059	0.9044	0.9067	0.9070	0.9072	0.9073	0.9073	0.9073
-0.9443	-0.9443	-0.9443	-0.9443	-0.9443	-0.9426	-0.9420	-0.9419	-0.9418	-0.9418	-0.9418	-0.9418

Anexo 3: Pesos sinápticos correspondiente a la segunda capa con agrupación de los primeros 12 canales correspondientes a los Dos Canales Conjuntos conformando 300 filas datos por cada canal

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-0.8088	-0.8088	-0.8088	-0.8088	-0.8088	-0.8087	-0.8026	-0.8017	-0.8012	-0.8009	-0.8009	-0.8010

Anexo 4: Pesos sinápticos correspondiente a la cuarta capa con agrupación de los primeros 12 canales correspondientes a los Dos Canales Conjuntos conformando una sola fila datos por cada canal

2 Co-Canales	3 Co-Canales	4 Co-Canales	5 Co-Canales	6 Co-Canales	7 Co-Canales	8 Co-Canales	9 Co-Canales	10 Co-Canales	11 Co-Canales	12 Co-Canales	13 Co-Canales
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0,2914	0,2914	0,2914	0,2914	0,2914	0,2914	0,2914	0,2914				
0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,9981	0,9978	0,9978					
0,9986	0,9986	0,9986	0,9984	0,9984							
0,9989	0,9989	0,9986	0,9986								
0,999	0,9988	0,9988									
0,9988	0,9988										
0,9987											

Tabla 1: Promedio de Disponibilidad del miércoles de cada canal perteneciente a su respectivo canal conjunto predicho

2 Co-Canales	3 Co-Canales	4 Co-Canales	5 Co-Canales	6 Co-Canales	7 Co-Canales	8 Co-Canales	9 Co-Canales	10 Co-Canales	11 Co-Canales	12 Co-Canales	13 Co-Canales
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	0			
0,0706	0,0706	0,0706	0,0706	0,0706	0,0706	0,0706	0,0706				
0,9981	0,9981	0,9981	0,9978	0,9975	0,9969						
0,9986	0,9986	0,9984	0,9981	0,9976							
0,9989	0,9986	0,9984	0,9979								
0,9988	0,9986	0,9982									
0,9986	0,9981										
0,9983											

Tabla 2: Promedio de Disponibilidad del jueves de cada canal perteneciente a su respectivo canal conjunto predicho

2 Co-Canales	3 Co-Canales	4 Co-Canales	5 Co-Canales	6 Co-Canales	7 Co-Canales	8 Co-Canales	9 Co-Canales	10 Co-Canales	11 Co-Canales	12 Co-Canales	13 Co-Canales
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068				
0,9981	0,9981	0,9972	0,9969	0,9969	0,9969						
0,9986	0,9979	0,9976	0,9976	0,9976							
0,9982	0,9979	0,9979	0,9979								
0,9982	0,9982	0,9982									
0,9988	0,9988										
0,999											

Tabla 3: Promedio de Disponibilidad del sábado de cada canal perteneciente a su respectivo canal conjunto predicho

2 Co-Canales	3 Co-Canales	4 Co-Canales	5 Co-Canales	6 Co-Canales	7 Co-Canales	8 Co-Canales	9 Co-Canales	10 Co-Canales	11 Co-Canales	12 Co-Canales	13 Co-Canales
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47,92812234	47,92812234	47,92812234	47,92812234	47,92812234	47,92812234	47,92812234	47,92812234	0	0	0	0
89,98749501	89,98749501	89,98749501	89,98749501	89,98749501	89,98749501	89,98749501	89,98749501	0	0	0	0
133,0249926	133,0249926	133,0249926	133,0249926	133,0249926	133,0249926	133,0249926	133,0249926	0	0	0	0
178,9968651	178,9968651	178,9968651	178,9968651	178,9968651	178,9968651	178,9968651	178,9968651	0	0	0	0
217,143738	217,143738	217,143738	217,143738	217,143738	217,143738	217,143738	217,143738	0	0	0	0
262,1374855	262,1374855	262,1374855	262,1374855	262,1374855	262,1374855	262,1374855	262,1374855	0	0	0	0
303,2187332	303,2187332	303,2187332	303,2187332	303,2187332	303,2187332	303,2187332	303,2187332	0	0	0	0
356,0374803	356,0374803	356,0374803	356,0374803	356,0374803	356,0374803	356,0374803	356,0374803	0	0	0	0
393,2062282	393,2062282	393,2062282	393,2062282	393,2062282	393,2062282	393,2062282	393,2062282	0	0	0	0
402,0093527	402,0093527	402,0093527	402,0093527	402,0093527	402,0093527	402,0093527	402,0093527	0	0	0	0
403,9656026	403,9656026	403,9656026	403,9656026	403,9656026	403,9656026	403,9656026	403,9656026	0	0	0	0
406,8999774	406,8999774	406,8999774	406,8999774	406,8999774	406,8999774	406,8999774	406,8999774	0	0	0	0
412,7687271	412,7687271	412,7687271	412,7687271	412,7687271	412,7687271	412,7687271	412,7687271	0	0	0	0
414,724977	414,724977	414,724977	414,724977	414,724977	414,724977	414,724977	414,724977	0	0	0	0
417,6593518	417,6593518	417,6593518	417,6593518	417,6593518	417,6593518	417,6593518	417,6593518	0	0	0	0
418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	0	0	0	0
418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	0	0	0	0
418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	0	0	0	0
418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	0	0	0	0
418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	0	0	0	0
418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	418,6374768	0	0	0	0
419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	0	0	0	0
419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	0	0	0	0
419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	0	0	0	0
419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	0	0	0	0
419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	419,6156017	0	0	0	0

Tabla 4: Datos de Disponibilidad Acumulada del miércoles en el canal con más alteraciones para cada uno de sus canales conjuntos

