

Universidad de la República

Facultad de Ingeniería



Analizador de Performance de la Red
Ceibal

Paula Aguirre

Elisa Gomez

Gabriela Pereyra

Tutor: Ing.Eduardo Cota

30 de abril de 2010

Resumen

En el año 2007 comienza a desarrollarse en el Uruguay la implementación a escala nacional de la iniciativa OLPC, más comúnmente conocida como Plan Ceibal. Hoy en día, con una red desplegada que cubre prácticamente todo el país, el Plan Ceibal se conduce hacia una etapa de Optimización.

Bajo este contexto, el principal objetivo de este proyecto ha sido desarrollar una aplicación capaz de realizar medidas que permitan estudiar el desempeño de la red en su tramo inalámbrico, teniendo en cuenta todas las particularidades que este tipo de redes presentan.

En este sentido se puede decir que se ha cumplido con el objetivo. Se ha logrado desarrollar una aplicación que retorna una serie de medidas que son indicadoras del desempeño de la red, en sus distintos aspectos. A nivel físico, *Zorzal* resulta una herramienta útil a la hora de determinar la cobertura de los APs instalados en los locales de enseñanza. A nivel de funcionamiento de la red, *Zorzal* brinda al usuario, por un lado, dos claros indicadores de la calidad en la comunicación percibida por el usuario: Throughput y Retardo, y por el otro, una serie de medidas más generales orientadas a conocer el estado del medio en el que viaja la información (o sea, el aire). Estas medidas, a grandes rasgos indican cómo se comparte entre las distintas redes, estaciones, tipos de tráfico, etc, y cuan “cargado” se encuentra.

En este documento se describen los detalles asociados a la implementación realizada.

Agradecimientos

A nuestras familias y amigos, por su apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de este proyecto.

A León Leibner por su contribución en el diseño y realización del logo y poster de *Zorzal*.

Al Plan Ceibal y a su personal técnico, muy especialmente a la Ing. Claudina Rattaro por su constante disposición. A la Ing. Albana Nogueira y a la Ing. Isabel Amigo por haber respondido con interés ante nuestra iniciativa de realizar un proyecto para el Plan Ceibal.

A los autores del proyecto de fin de carrera *Yacaré* por habernos inspirado a desarrollar este proyecto.

A las maestras de la escuela N°183 de Montevideo por habernos recibido en todas las instancias de prueba.

Al Ing. Andrés Ferragut y al Ing. Pablo Belzarena por su aporte en lo que respecta al cálculo de los parámetros de performance.

A nuestro tutor, el Ing. Eduardo Cota por haber formado parte del equipo de trabajo.

Acrónimos

AE	Address Extensions
AP	Access Point
BSA	Basic Service Area
BSS	Basic Service Set.
BSSID	Basic Service Set Identificator
CA	Collision Avoidance
CCK	Complementary Code Keying
CRC	Comprobación de Redundancia Cíclica
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CTS	Clear To Send
DA	Destination Address
DCF	Distribution Coordinated Function
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIFS	DCF Interframe Space
DS	Distribution System
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ECMR	Error Cuadrático Medio Relativo
ESA	Extended Service Area
ESS	Extended Service Set
ESSID	Extended Service Set Identificator
FCS	Frame Check Sequence
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FTP	File Transfer Protocol
HWMP	Hybrid Wireless Mesh Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Layer
MAC	Medium Access Control
MAE	Multi-hop management address extension
MAP	Mesh Access Point
MDNS	Multicast DNS
MP	Mesh Point
MPP	Mesh Portal Point
NAV	Network Allocation Vector
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OLPC	One Laptop Per Children
PCF	Point Coordination Function
PHY	Physical Layer
PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
PMD	Physical Medium Dependent
RA	Receiver Address
RREQ	Route Request
RREP	Route Reply
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTS	Request To Send
RTT	Round Trip Time
SA	Source Address
SCP	Secure Copy
SIFS	Short Interframe Space
SNR	Signal Noise Rate
SSH	Secure Shell Transfer Protocol
SSID	Service Set Identifier

STA	Station
TA	Transmitter Address
TCP	Transmission Control Protocol
TTL	Time To Live
UDP	User Datagram Protocol
WEP	Wired Equivalent Privacy
WLAN	Wireless LAN
WPA	Wifi Protect Access

Contenido

Resumen.....	3
Agradecimientos.....	4
Acrónimos.....	5
Contenido.....	8
1 Introducción.....	11
1.1 Motivación.....	12
1.2 Estado del Arte.....	13
1.3 Consideraciones.....	14
1.4 Resumen.....	14
1.5 Estructura del Documento.....	16
2 IEEE 802.11 - WiFi.....	18
2.1 Introducción.....	18
2.1.1 Descripción del estándar.....	18
2.1.2 Acceso al medio.....	20
2.1.3 Capa física.....	22
2.1.4 Encabezado MAC.....	23
2.1.5 Encabezado Radiotap.....	25
2.1.6 802.11s: Redes Mesh.....	25
2.2 La red Ceibal.....	29
2.2.1 Implementación de la red de Infraestructura.....	30
2.2.2 Implementación de la red mesh.....	33
3 Parámetros de interés.....	35
3.1 Introducción.....	35
3.2 Medidas de cobertura indoor.....	36
3.3 Medidas del estado de la red.....	36
4 Medida de Retardo.....	38
4.1 Introducción.....	38
4.2 Metodología.....	38
4.2.1 ICMP.....	39
4.2.2 Implementación.....	39
4.3 Pruebas realizadas.....	40
4.3.1 Prueba 1 - Medida de retardo en una red estable.....	40
4.3.2 Prueba 2 - Medida de retardo en una red no estable.....	41
4.3.3 Conclusiones.....	42

5 Medida del Estado del Aire.....	44
5.1 <i>Introducción.....</i>	44
5.1.1 <i>Parámetros del Estado del Aire.....</i>	45
5.2 <i>Implementación.....</i>	48
5.2.1 <i>Descubrimiento de redes.....</i>	49
5.2.2 <i>Captura de tráfico.....</i>	51
5.2.3 <i>Extracción de los campos de interés.....</i>	53
5.2.4 <i>Cálculo de porcentajes.....</i>	59
5.2.5 <i>Despliegue de resultados.....</i>	63
5.3 <i>Hipótesis y consideraciones.....</i>	64
5.4 <i>Pruebas realizadas y comentarios.....</i>	67
6 Medida de Throughput.....	79
6.1 <i>Introducción.....</i>	79
6.2 <i>Fundamentos teóricos.....</i>	80
6.2.1 <i>SSH - Secure Shell.....</i>	80
6.2.2 <i>SCP - Secure Copy.....</i>	80
6.3 <i>Implementación.....</i>	81
6.4 <i>Hipótesis y consideraciones.....</i>	83
6.5 <i>Pruebas realizadas.....</i>	83
6.5.1 <i>Tamaño de los archivos.....</i>	83
6.5.2 <i>Comparación XO vs Radio Mesh vs otras tarjetas.....</i>	88
6.5.3 <i>Conclusiones.....</i>	89
7 Medida de Cobertura Indoor.....	91
7.1 <i>Introducción.....</i>	91
7.2 <i>Wireless Tools de Linux.....</i>	92
7.2.1 <i>El comando iwlist.....</i>	92
7.3 <i>Implementación.....</i>	93
7.4 <i>Hipótesis y consideraciones.....</i>	97
7.5 <i>Pruebas realizadas.....</i>	97
7.5.1 <i>iwlist vs iwconfig.....</i>	97
7.5.2 <i>Variaciones del nivel de señal.....</i>	99
8 Software Zorzal.....	101
8.1 <i>Introducción.....</i>	101
8.2 <i>Módulos y estructura.....</i>	102
8.3 <i>Interfaz gráfica.....</i>	103
8.3.1 <i>Throughput.....</i>	104
8.3.2 <i>Retardo.....</i>	106
8.3.3 <i>Estado del aire - AP de interés.....</i>	107
8.3.4 <i>Cobertura indoor.....</i>	109
8.4 <i>Requerimientos de software y hardware.....</i>	110
8.4.1 <i>Hardware.....</i>	110

8.4.2 Software.....	110
9 Pruebas de validación.....	112
9.1 Introducción.....	112
9.2 Pruebas realizadas.....	113
9.2.1 Cobertura Indoor.....	113
9.2.2 Retardo.....	115
9.2.3 Throughput.....	117
9.2.4 Estado del aire.....	120
10 Plan de trabajo.....	124
10.1 Introducción.....	124
10.2 Dificultades presentadas.....	124
10.3 Metas alcanzadas.....	125
10.4 Tareas pendientes.....	127
10.5 Evaluación de la planificación del proyecto.....	127
10.6 Posibles mejoras a futuro.....	128
10.6.1 Mejoras al funcionamiento de la aplicación.....	128
10.6.2 Nuevas funcionalidades a futuro.....	128
11 Conclusiones.....	132
11.1 Trabajo realizado.....	132
11.2 Aprendizaje.....	133
Anexos.....	134
Tarjeta en modo monitor:.....	134
Referencias.....	136

1 Introducción

El objetivo de este documento es dar a conocer los detalles y fundamentos detrás de la aplicación *Zorzal*, resultado del proyecto de fin de carrera de los autores de este trabajo, en el marco de la implementación del proyecto OLPC a escala Nacional (Plan Ceibal) en la República Oriental del Uruguay.

Bajo este contexto, y desde sus comienzos, el presente trabajo planteó los siguientes objetivos:

- Proveer una aplicación que permita detectar posibles problemas de performance en la red Ceibal, brindando al usuario una forma de verificar su funcionamiento. La herramienta debe contar con las siguientes características:
 - Ser fácil de usar e intuitivo.
 - Representar los resultados de forma tal que se facilite su comprensión.
 - Presentarlos en un tiempo razonable.
 - Guardarlos en un formato conveniente.
 - Estar estructurado de forma tal de facilitar mejoras a futuro.
- Investigar la posibilidad de realizar mediciones de cobertura indoor de forma espacio-referenciada, representando los valores obtenidos en un mapa del local.
- Proveer al cliente de un manual de uso del software creado.
- Plasmar en un documento todo el trabajo realizado.
- Cumplir con todos los objetivos antes mencionados antes del 30 de abril del año 2010.

Es una gran satisfacción para los autores de este proyecto, anunciar que todos estos objetivos se han cumplido, llegando aún, más lejos de lo esperado:

- Actualmente *Zorzal* presenta una interfaz gráfica de usuario.
- Se ha logrado implementar una forma de realizar las mediciones de cobertura indoor, de forma espacio-referenciada, representando los valores obtenidos en un mapa del local.
- Se han implementado medidas a un nivel más profundo que el propuesto en una primera instancia, brindando así información adicional a la ya prometida en un principio.
- No sólo se ha construido una aplicación capaz de ser mejorada fácilmente en un futuro, sino que se han investigado las primeras posibles extensiones a las funcionalidades que actualmente presenta.

1.1 Motivación

Este proyecto surge de la necesidad del Plan Ceibal de contar con un software que permita a los técnicos realizar un diagnóstico rápido y completo del funcionamiento de la red en el tramo wireless.

Esta necesidad surge principalmente debido a que se han manifestado casos de escuelas en las que la cantidad de usuarios que efectivamente pueden acceder a la red, es menor a la estimada en la instancia de diseño.

En el marco de una etapa de Optimización de la red por parte del Plan Ceibal, *Zorzal* surge como software diseñado especialmente para ello, cuyos objetivos son conocer cómo se comparte el medio y brindar medidas indicadoras de la calidad en la comunicación percibida por el usuario.

A la fecha de inicio del proyecto, el Plan Ceibal ya contaba con un software capaz de medir nivel de señal de forma georeferenciada, también producto de un proyecto de fin de carrera llamado *Yacaré*. Una de las hipótesis de funcionamiento de esta aplicación, es que el equipo con el que se realizan las medidas de nivel de señal debe estar al aire libre, por lo que *Yacaré* resulta útil solamente para medidas outdoor. Esta idea motiva a los técnicos

de Ceibal a realizar scripts para obtener medidas de nivel de señal indoor, aunque no de forma espacio-referenciada. Considerando la gran importancia de conocer la capacidad de los equipos instalados para dar cobertura dentro de los locales de enseñanza, *Zorzal* acepta el reto de ser un programa que, además de brindar herramientas para diagnosticar el funcionamiento de la red, presenta una forma clara, intuitiva y automática de medir cobertura indoor de forma espacio-referenciada.

Finalmente, para completar la descripción del funcionamiento de la red, se planteó la idea de medir throughput y retardo, con el objetivo de contar con medidas que fueran indicadoras de la calidad en la comunicación percibida por el usuario, también en el marco de una etapa de optimización de la red del Plan Ceibal.

Este proyecto, en principio, surge como una continuación del proyecto *Yacaré*, cuyos resultados han sido de gran inspiración. Sin embargo, ambos proyectos persiguen objetivos distintos: *Zorzal* apunta a ser una herramienta para el estudio del comportamiento de la red.

1.2 Estado del Arte

Hasta el momento, el Plan Ceibal dispone de una serie de herramientas para medir: cobertura outdoor de forma georeferenciada (*Yacaré*), cobertura indoor de forma no referenciada (scripts implementados), throughput, y porcentaje de tiempo en el aire utilizado para transportar los distintos tipos de tráfico que se presentan en la red.

Zorzal pretende automatizar la medida de cobertura indoor, y por otro lado, realizar una serie de medidas orientadas a conocer en detalle el estado de la red, siendo este último el principal objetivo.

En cuanto a conocer el funcionamiento de la red, algunos de los equipos que son utilizados por el Plan Ceibal, poseen herramientas capaces de tomar algunas de las medidas que realiza *Zorzal*. El problema es que son sólo algunas mediciones, no todos los equipos presentan esta posibilidad, son tomadas del agregado de tráfico captado por una interfaz del equipo, y además, estas funcionalidades no siempre se obtienen de forma gratuita.

Por otra parte, los técnicos del Plan Ceibal motivados por los problemas observados ya en algunos de los locales instalados, han elaborado programas para estudiar el porcentaje de tiempo en el aire de los distintos tipos de tráfico que se presentan en la red. Además, han investigado un gran número de herramientas para medir el throughput que se puede obtener de la misma.

Zorzal aspira a llegar mucho más a fondo en el estudio del estado de la red de Ceibal, logrando determinar cuántas y qué estaciones están conectadas a un equipo, qué porcentaje del tiempo en el aire es utilizado para transportar su tráfico, de este, cuánto está siendo destinado a cada tipo de tráfico, qué modulaciones se están utilizando, cuánto tiempo se ha consumido para retransmitir tramas, etc. En este aspecto, *Zorzal* pretende ser una herramienta capaz de utilizarse tanto en instancias de relevamiento, como en el laboratorio, útil tanto a la hora de diagnosticar problemas de Performance en la red, como a la hora de investigar cómo se comporta y cómo mejorar su funcionamiento. Se busca que sea una herramienta única, capaz de reunir una serie de funcionalidades hasta ahora implementadas en scripts independientes, estructurando, completando y profundizando las medidas realizadas, desplegando finalmente los datos en una interfaz de usuario lo más clara e intuitiva posible.

1.3 Consideraciones

Una de las dificultades más importantes que se presentan a la hora de trabajar con redes inalámbricas es la falta de capacidad que existe para predecir su comportamiento.

Uno de los grandes compromisos en este trabajo fue el que se dio entre la cantidad de muestras tomadas a la hora de recolectar la información, y el tiempo dispuesto para ello. La mayoría de las medidas, sino todas, apuntan a brindar información a nivel de “media” del comportamiento de la red en un intervalo de tiempo, pero para que el promedio sea representativo de la media, es necesario tener suficiente información. Sin embargo, el tiempo de medida no puede extenderse indefinidamente.

1.4 Resumen

Zorzal es un software que apunta a brindar medidas indicadoras del funcionamiento de la red. A continuación se muestra un esquema de la red indoor de Ceibal.

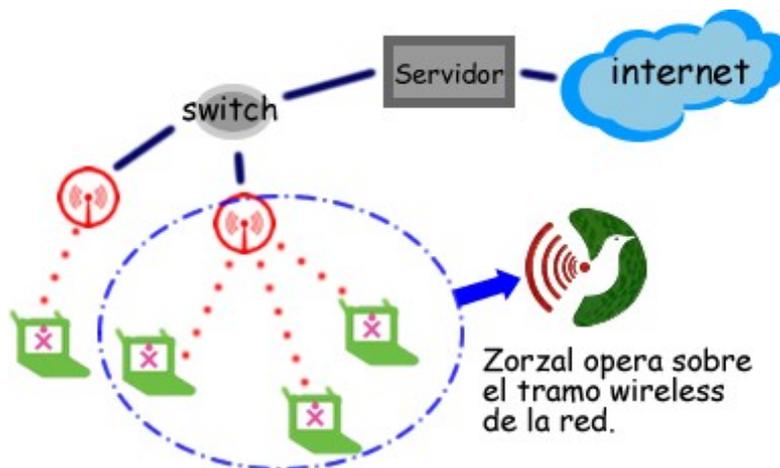


Fig 1.4-1: red Ceibal indoor

Se definen dos grupos de funcionalidades:

- Medidas de Cobertura Indoor
- Medidas del Estado de la Red

Dentro del segundo grupo, se pueden distinguir dos tipos de medidas:

- Medidas de calidad en la comunicación percibida por el usuario
- Medidas del Estado del Aire

Las medidas de Cobertura Indoor, se obtienen de la salida del comando *iwlist sc*, se realiza un número razonable de escaneos, y se toma como medida, el promedio de los valores obtenidos.

Las medidas de calidad en la comunicación percibida por el usuario, se realizan a nivel de la estación que corre la aplicación, esto es, se relevan parámetros de calidad en la comunicación percibida por la estación en la que se ejecuta *Zorzal*. Se prevé la conexión de la misma a la red que se busca analizar. Estas medidas incluyen throughput y retardo, en ambos casos se inyecta tráfico en la red.

En cuanto al throughput, la aplicación realiza un cálculo destinado a estimar el máximo throughput TCP que se puede obtener de la red. Para esto se transfiere una secuencia de archivos de gran tamaño. *Zorzal* permite obtener throughput uplink y downlink, siendo ambos medidos mediante scp.

El retardo, y dentro de este, la media, el porcentaje de paquetes perdidos y la desviación estándar se miden utilizando *ICMP*, básicamente haciendo *ping* a la dirección del servidor de Ceibal en cuestión.

Las medidas del Estado del Aire se realizan con una tarjeta de red distinta, realizando para ello capturas de tráfico con la misma operando en *modo*

monitor. De esta forma se captura todo el tráfico en el aire, en el canal en el que opera el equipo cuyo tráfico se quiere analizar. El programa guarda esas capturas y desglosa la información contenida en el encabezado de capa MAC y de *Radiotap* (encabezado que aporta información recolectada por el driver de la tarjeta de red en *modo monitor*). Posteriormente, esta información es procesada para obtener medidas como factor de carga de la red, porcentaje del tiempo en el aire ocupado por tráfico de la red de Ceibal, porcentaje de tiempo en el aire ocupado por tráfico mesh, cantidad y direcciones MAC de cada estación conectada al AP, porcentaje de tiempo en el aire que consume cada una, etc. Cabe notar que para este tipo de medidas no se inyecta tráfico en la red, sino que simplemente se “escucha” todo el tráfico que circula por el aire en un canal determinado.

Todos los resultados de las medidas mencionadas se despliegan de forma gráfica, en una interfaz de usuario creada con el objetivo de ser lo más clara e intuitiva posible.

1.5 Estructura del Documento

El presente trabajo se estructura de la siguiente forma:

Capítulo 1: Introducción. Presenta una breve descripción de los objetivos planteados y las metas alcanzadas en este trabajo. Menciona los motivos que llevaron a la realización del proyecto, así como las herramientas de las que se dispone actualmente para realizar algunas de las medidas que realiza la aplicación. Presenta de forma resumida, las principales ideas detrás del desarrollo de las funcionalidades que implementa *Zorzal*.

Capítulo 2: IEEE 802.11 - WiFi. Introduce algunos conceptos claves en la realización de este proyecto, comenzando con una breve introducción a los términos definidos por el estándar. Se recomienda a los lectores ya instruidos en estos tópicos, saltar la primera sección del capítulo, y concentrar su atención en lo que sigue del mismo, en donde se realiza una breve descripción de la implementación del estándar en la red de Ceibal.

Capítulo 3: Parámetros de interés. Contiene una breve introducción de los parámetros de performance calculados por *Zorzal*.

Capítulos 4 a 7: Se describen todos los conceptos relacionados con las medidas realizadas, así como las hipótesis en las que se basa su implementación, culminando con una exposición de los resultados obtenidos en algunas de las pruebas que se llevaron a cabo.

Capítulo 8: Software Zorzal. Describe las principales funcionalidades del software implementado, así como la estructura del mismo. Presenta una breve descripción de la interfaz gráfica implementada.

Capítulo 9: Pruebas de Validación. Se describen todas las pruebas llevadas a cabo con el objetivo de validar este trabajo, así como los resultados obtenidos, junto con una serie de conclusiones preliminares sobre el funcionamiento del software implementado.

Capítulo 10: Plan de Trabajo. Realiza una breve reflexión sobre el trabajo realizado, metas alcanzadas, metas que aún no se han alcanzado, y posibles mejoras a futuro.

Capítulo 11: Conclusiones. Este capítulo cierra el presente documento haciendo una exposición de las conclusiones finales sobre el trabajo realizado.

Anexo: Se adjuntan los pasos a seguir para setear la tarjeta de red inalámbrica en *modo monitor*.

2 IEEE 802.11 - WiFi

2.1 Introducción

2.1.1 Descripción del estándar

En este capítulo se expondrán los principales conceptos del estándar IEEE 802.11 o WiFi, a los cuales se hará referencia en el resto del documento.

El estándar define el uso de la capa física y de la capa de enlace de una red WLAN (red de área local inalámbrica), diferenciándose de una red Ethernet en cómo se transmiten las tramas. Las bandas de frecuencia utilizadas son 2.4GHz y 5GHz, las cuales son de uso libre en Uruguay y en muchas otras partes del mundo lo que lo hace un estándar muy popular.

El estándar describe la operación en la red según su estructura: infraestructura o ad-hoc. La diferencia entre ambas radica principalmente en que en el caso de las redes ad-hoc no existe un dispositivo que centralice la comunicación en el aire (AP), mientras que en el caso de las redes de infraestructura esto sí sucede.

Dentro de las redes de infraestructura se diferencian cuatro componentes básicos:

- Estación móvil (STA): dispositivo con interfaz inalámbrica.
- Medio (Aire): la transmisión de las tramas se realiza haciendo uso del espectro electromagnético.
- Access Point (AP): equipo encargado de agregar el tráfico wireless e interconectar redes con igual o distinta capa de enlace, modificando las tramas de forma pertinente.
- Distribution System (DS): interconecta distintos APs de forma de cubrir una gran área.

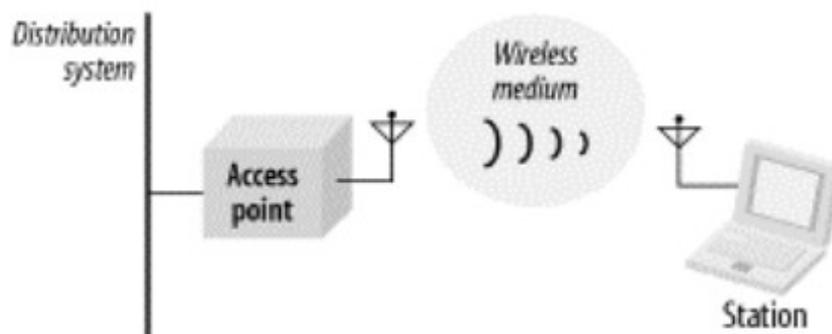


Fig 2.1.1.-1: Componentes básicos de una red de infraestructura

Además, se tienen las siguientes definiciones importantes dentro de lo que son las redes de infraestructura:

- Basic Service Set (BSS): conjunto de estaciones comunicadas entre sí.
- Basic Service Area (BSA): área dentro de la cual se comunican las estaciones pertenecientes a un mismo BSS, y que es determinada por las características de propagación del medio inalámbrico.
- Extended Service Set (ESS): conjunto de distintos BSS, permite la interconexión de los mismos a través de una estructura de backbone.

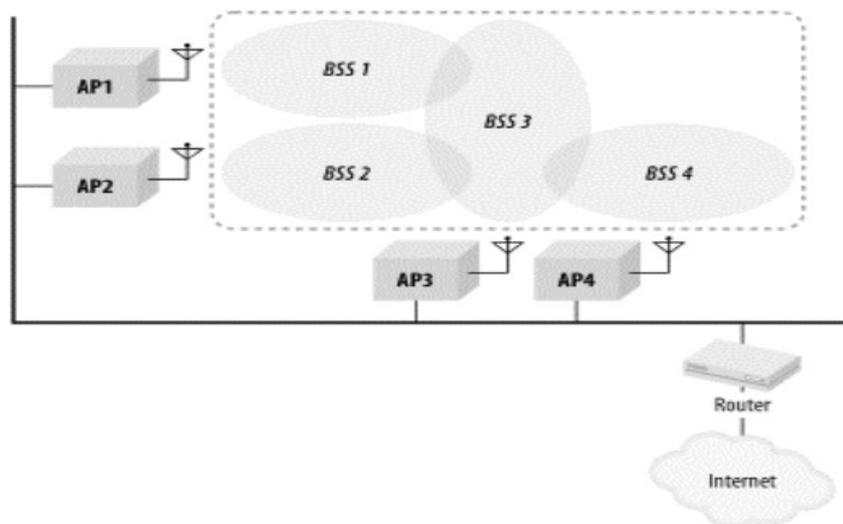


Fig 2.1.1.-2: Extended Service Set (ESS)

En la *Figura 2.1.1-2* se observa un ejemplo de un ESS. Las estaciones pueden comunicarse utilizando el medio como una simple conexión de capa 2: los APs actuando como bridges. Por lo tanto, una conexión a nivel de

capa MAC alcanzaría para que dos estaciones en distintas BSSs pero en la misma ESS se comuniquen.

Es importante destacar el hecho de que cuando dos estaciones dentro del mismo BSS se comunican entre sí, inevitablemente existe un salto intermedio y es el AP. Por esta razón se considera que el AP centraliza toda comunicación. Esta centralización puede verse también desde el punto de vista de las etapas por las que pasan las estaciones antes de poder hacer uso de los servicios ofrecidos por el AP en su correspondiente BSS: asociación y autenticación de los usuarios. De alguna manera, puede decirse que estos procesos son implementados por el AP.

En la actualidad las especificaciones más populares son 802.11b y 802.11g, ambas trabajando en la banda de 2.4GHz. La especificación básica de IEEE 802.11 incluye dos tipos de capas físicas: Frequency-Hopping Spread-Spectrum (FHSS) y Direct-Sequence Spread-Spectrum (DSSS). Revisiones posteriores del estándar agregan capas físicas adicionales: 802.11b especifica una capa High-Rate Direct-Sequence (HR/DSSS) que permite velocidades de hasta 11Mbps utilizando CCK, 802.11g describe una capa física basada en Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) alcanzando velocidades de hasta 54 Mbps. Se destaca que las modificaciones en el bit rate son producto de una combinación de modulación y codificación. El uso de distintas capas físicas implica diferentes velocidades de datos y esto afecta la performance de la red.

2.1.2 Acceso al medio

Dado que el medio es compartido existe un mecanismo que busca organizar el acceso al mismo. Consiste en censar si el aire está libre antes de transmitir, y posteriormente para evitar colisiones, las estaciones utilizan un algoritmo de backoff, siendo opcional utilizar RTS/CTS para reducir aún más la posibilidad de colisiones.

Como se indica en las especificaciones de la capa MAC del estándar 802.11, el censo del aire antes de transmitir se realiza mediante el algoritmo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access, Collision Avoidance).

El algoritmo de backoff utilizado para evitar colisiones consiste en manejar los espacios inter-trama. Entre ellos se distinguen dos casos:

1. Short Interframe Space (SIFS):

Es utilizado por transmisiones de alta prioridad como pueden ser el RTS/CTS y los reconocimientos. Estas transmisiones de alta prioridad pueden comenzar inmediatamente transcurrido el SIFS.

2. DCF Interframe Space (DIFS):

DIFS es el tiempo mínimo que debe transcurrir para que una estación pueda concluir que el canal está libre.

Existe otra función llamada PCF (Point Coordination Function), que provee servicios sin contención y que no es usualmente implementada.

DCF o "Distribution Coordinated Function" es la función utilizada por la mayoría del tráfico 802.11, proporcionando un estándar basado en contención (como Ethernet).

DCF permite que las distintas estaciones puedan acceder al medio sin la intervención de un controlador central. Esto es así ya que cada estación chequea que el medio este libre, si lo está por un período mayor a DIFS, transmite. Si el medio no está libre, las estaciones utilizan un algoritmo de backoff exponencial para evitar colisiones. Luego de finalizada la transmisión de la trama y de que el DIFS haya transcurrido, las estaciones deben tratar de transmitir datos, compitiendo por el uso del medio. Para esto a continuación viene un período llamado ventana de contención o de backoff. Esta ventana se divide en slots (ranuras), las estaciones sortean un slot y esperan hasta la llegada de ese slot para acceder al medio. Cuando hay varias estaciones intentando acceder al medio, la que sortea el menor número será la que efectivamente acceda al medio. Si la transmisión llegase a fallar, al igual que en Ethernet, la ventana de contención crecerá, hasta llegar a su tamaño máximo y allí se mantendrá.

A continuación se observa la relación que guardan los tiempos DIFS y SIFS entre sí.

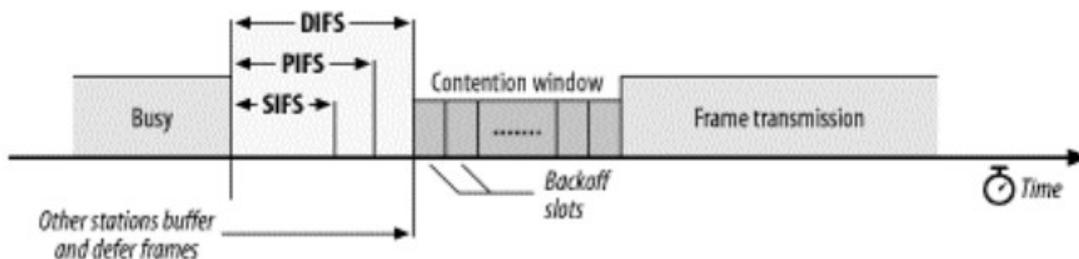


Fig 2.1.2-1: Relación entre los espacios inter-trama

Como se puede observar en la *Figura 2.1.2-1*, el SIFS es menor que el DIFS. Esto último es justamente lo que permite asegurar que toda trama que llegue a destino pueda ser reconocida antes de que otra estación acceda al medio, ya que los reconocimientos son enviados después del SIFS. En los casos en que se use fragmentación de una trama, una vez que se gane

acceso al medio se podrán transmitir las tramas subsecuentes utilizando SIFS como inter-espaciado en vez de DIFS. En estos casos no se utiliza el algoritmo de backoff.

Continuando con la introducción del estándar IEEE 802.11, en la sección siguiente se presentan las principales especificaciones de la capa física.

2.1.3 Capa física

La capa física está dividida en dos subcapas: PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) y PMD (Physical Medium Dependent). La PLCP es la interfaz que acondiciona las tramas MAC a transmisiones de radio, y viceversa. Adiciona su propio encabezado y preámbulo para ayudar a sincronizar las transmisiones. La PMD es responsable de transmitir los bits recibidos de la PLCP al aire utilizando la antena. Para el caso de 802.11b hay dos opciones para la trama PLCP, el formato largo y el corto. El primero debe ser soportado por todas las estaciones, mientras que el segundo es opcional y puede ser usado sólo en el caso de que todas las estaciones lo soporten. Cabe destacar que aunque la BSS esté configurada para usar el formato corto, si una estación que sólo soporta el formato largo pasa a ser parte de dicha BSS el Access Point deberá contestarle a esta estación en particular utilizando el formato largo. Esta diferencia no ocurre cuando se usa OFDM, si bien también existe el encabezado de la subcapa PLCP y su preámbulo, la duración de estos es fija y conocida, no existen dos formatos.

El estándar IEEE 802.11 divide las bandas de frecuencia en canales. En particular, interesa saber cuáles son estos canales en la banda de 2.4GHz, ya que esta es la banda utilizada en los APs de Ceibal para dar cobertura a los usuarios. La razón del uso de la banda de 2.4GHz en lugar de la de 5GHz es debido a que esta última tiene una longitud de onda mucho menor, la cual es absorbida fácilmente por objetos del entorno, haciendo que para utilizarla se requiera línea de vista. A continuación se observan los 14 canales definidos en la banda de 2.4GHz. Se puede apreciar que la mayoría no son disjuntos, pudiéndose distinguir 3 canales que sí lo son entre sí: el 1,6 y 11, por lo que son los preferidos por el plan Ceibal para desplegar su red.

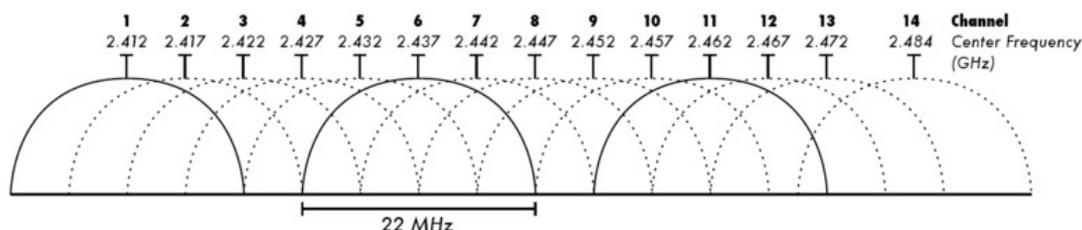


Fig 2.1.3.-1: Canales IEEE 802.11 en la banda de 2.4GHz

2.1.4 Encabezado MAC

Interesa conocer en detalle el encabezado MAC, ya que como se mencionó anteriormente muchos de los atributos de las tramas, utilizados por Zorzal, son extraídos del mismo.

En la siguiente figura se observa la trama MAC definida por el estándar IEEE 802.11.



Fig 2.1.4.-1: Trama MAC definida por el estándar IEEE 802.11



Fig 2.1.4-2: Campo Frame Control

Los campos y sub-campos que interesa destacar son los siguientes:

- Type: los dos bits de este campo indican el tipo “general” de trama.
 - (10): Datos
 - (01): Control (ejemplo: Beacon, Probe Request, Probe Response)
 - (00): Management (ejemplo: Acknowledgment, RTS/CTS)

Las tramas de datos cumplen la función de transportar la información que llega de capas superiores. Las tramas de control se utilizan para dar confiabilidad a la transferencia de datos de estación a estación (un ejemplo son las tramas de reconocimiento a nivel de capa MAC). Por último, las tramas de management permiten implementar funciones de supervisión (por ejemplo, cuando una estación ingresa o

abandona la red, se asocia a un AP, cambia la asociación a otro AP, etc).

- **Retry:** se setea en '1' cuando la trama es una trama retransmitida.
- **Duration/ID:** se utiliza muchas veces para informar el valor del NAV (Network Allocation Vector) como forma de “reservar” el medio, al informar cuanto tiempo resta para que culmine la operación que se está llevando a cabo.
- **Address:** el estándar prevé la utilización de hasta cuatro campos de direcciones, las cuales se utilizan de distintas formas según el tipo de trama.

To DS	From DS	Address 1	Address 2	Address 3	Address 4
0	0	RA = DA	TA = SA	BSSID	N/A
0	1	RA = DA	TA = BSSID	SA	N/A
1	0	RA = BSSID	TA = SA	DA	N/A
1	1	RA	TA	DA	SA

Fig 2.1.4-3: Campos de direcciones de capa MAC

Cabe notar que transmisor no tiene porqué coincidir con origen, y receptor no tiene porqué coincidir con destino. Las direcciones siguen las reglas típicas de Ethernet. La cantidad de direcciones utilizadas depende del tipo de trama. En la mayoría de los casos se usan sólo tres campos de dirección: origen, destino y BSSID. Esta última es una dirección MAC asociada a la interfaz wireless utilizada por el AP, en el caso de redes de infraestructura. El BSSID permite distinguir entre distintas WLANs en la misma área.

- **Sequence Control:** las tramas MAC llevan en este campo un número de secuencia y de fragmento, entre cuyas funciones se destacan la de-fragmentación de tramas y la identificación de tramas repetidas. De los 16 bits destinados al campo, 4 son para identificar el número de fragmento, y los 12 que restan son para el número de secuencia de la trama. Los paquetes que llegan de capas superiores se fragmentan, llevando cada trama correspondiente al mismo paquete un número de secuencia, igual para todas las tramas en las que se fragmentó el paquete, y un número de fragmento asociado al fragmento que se transmitió.

- **Frame Body:** este campo transporta la carga que llega de capas superiores para ser transferida de estación a estación. El estándar IEEE 802.11 prevé un largo máximo para este campo de 2304 bytes, aunque algunas implementaciones pueden soportar hasta 2312 bytes.
- **Frame Check Sequence (FCS):** este campo se utiliza para chequear la integridad de las tramas recibidas.

2.1.5 Encabezado *Radiotap*

Se utiliza este término para referirse a la información que agrega el driver de la tarjeta a la obtenida del encabezado MAC, cuando se captura en *modo monitor*. Esta información refiere a la capa física en las tramas capturadas. En particular, interesa destacar dos campos que se utilizan en *Zorzal*: el campo Data Rate, en donde se aloja la información de la modulación usada al transmitir la trama, y el campo DBM Antenna Signal que muestra el nivel de señal con el que se ve el transmisor de cada trama capturada.

2.1.6 802.11s: Redes Mesh

Las computadoras portátiles utilizadas por los niños en el Plan Ceibal (XO) cuentan con la capacidad de formar redes mesh.

En esta sección, se pretende dar una introducción al draft de la versión s del estándar IEEE 802.11, que define la interoperabilidad entre equipos que soportan esta tecnología.

CONCEPTOS GENERALES:

Una red mesh es aquella en la cual existe una estructura de malla que comunica los nodos de la misma. Esta tecnología permite aplicaciones en redes de distintas topologías. Por ejemplo, permite interconectar redes ad-hoc con redes de infraestructura. Puede implementarse a nivel de estaciones pertenecientes al área de servicio de un AP, y estaciones que quedan fuera de esta, pudiendo así extender la cobertura de los Access Points. La comunicación bajo una red mesh se realiza gracias a que las estaciones pueden reenviar tráfico destinado a otra estación.

A continuación se expone un esquema representativo del funcionamiento de la mesh en sus casos posibles.

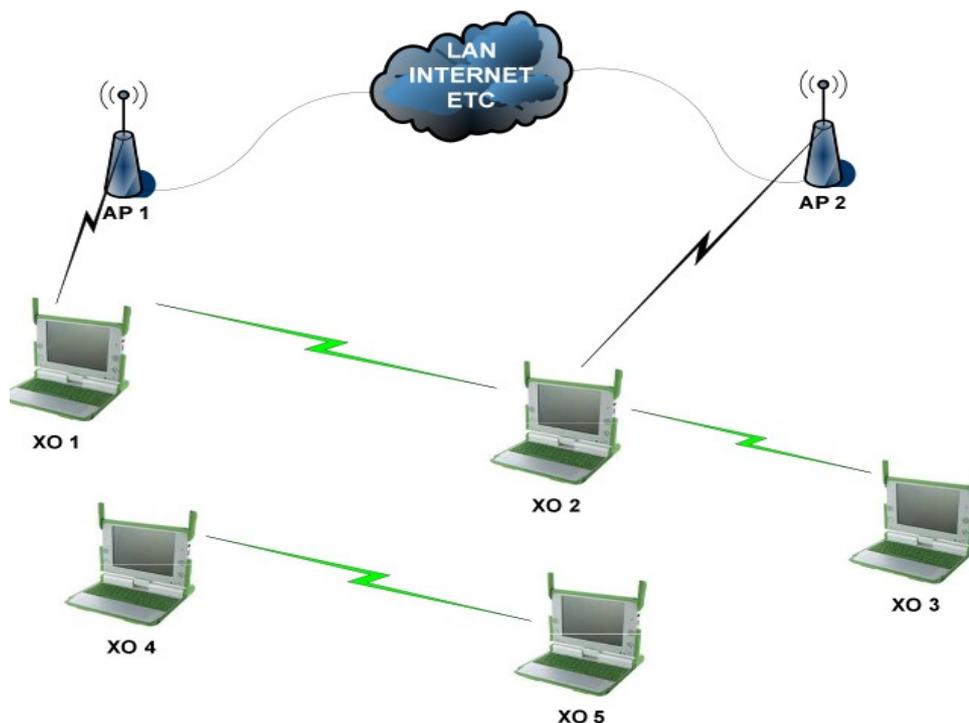


Fig 2.1.6-1: Esquema de una red mesh

En la figura anterior se puede ver por ejemplo, que XO1 y XO2 pueden comunicarse entre ellos a través de la mesh. XO3 puede comunicarse tanto con XO2 (con un sólo salto), como con XO1 (con dos saltos intermedios). XO4 se puede comunicar con XO5, estando fuera del área de servicio del AP. También se puede ver que XO3 puede comunicarse con el AP a través de la mesh con XO2, por ejemplo. Si la XO2 tiene la capacidad de funcionar como portal mesh, la XO3 podrá acceder a Internet a través de la XO2, debido a la existencia de la mesh.

En este momento resulta interesante definir los actores presentes en esta red:

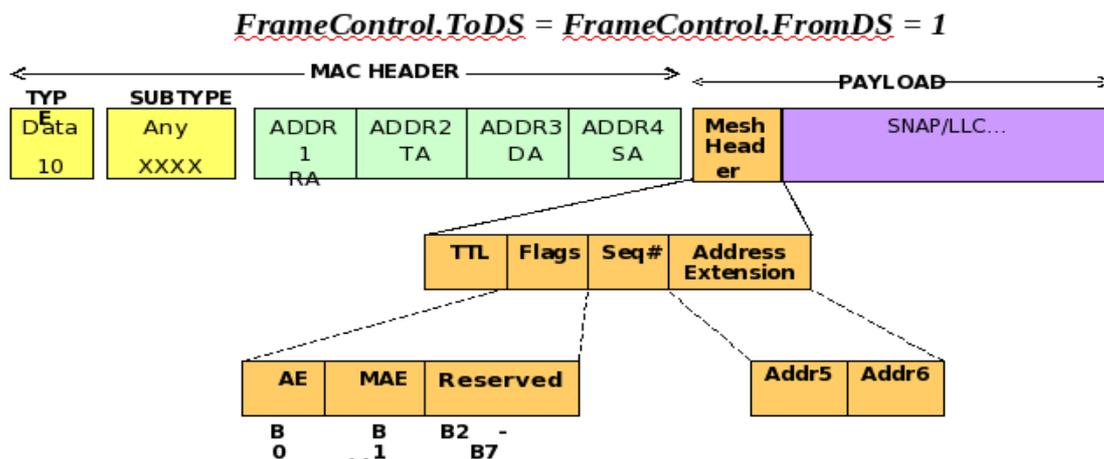
- Mesh Point (MP): En este caso son todas las XO que tienen la capacidad de formar enlaces mesh con otras XO
- Mesh Portal Point (MPP): Son todas las estaciones que tienen la capacidad de conectar la red mesh con otras redes. En particular, en este caso se le llamarán portales mesh a los MPs que tengan la capacidad de conectar otros MPs a la red de infraestructura. Esta funcionalidad permite por ejemplo, brindar conexión a Internet a XOs que queden fuera del área de servicio de los APs, a través de la formación de caminos mesh hasta llegar al portal. Cabe notar que actualmente en la red del Plan Ceibal esta función no es implementada.

IMPLEMENTACIÓN OLPC:

La implementación que realiza la OLPC del draft 802.11s, plantea las siguientes funciones:

- **Association:** En esta etapa los MPs realizan el descubrimiento de vecinos para formar enlaces, que constituirán caminos para llegar a los MPs que no se ven directamente, incluyendo los MPPs. Las XO básicamente se asociarán a una red mesh de la siguiente forma: realizará un pedido DHCP seguido de un pedido de ruta (RREQ) a una dirección Anycast buscando un portal, y esperará por la respuesta (RREP) en los tres canales propuestos para la mesh, 1, 6, y 11. Se selecciona el canal que proponga la menor cantidad de saltos hasta el portal, siempre que el nivel de señal no sea demasiado bajo. Si todos los canales reportan la misma cantidad de saltos, se elige una de forma aleatoria. Cabe notar que no se implementa ningún procedimiento de autenticación entre vecinos.
- **Path Selection y Forwarding:** El protocolo de ruteo implementado por la OLPC es una versión simplificada de HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol), propuesto en el draft. En este caso los caminos se construyen usando tramas de management denominadas Route Request (RREQ) y Route Reply (RREP). Cuando un MP necesita transmitir una trama a un destino para el que no hay camino, envía un RREQ en Broadcast a la mesh. A medida que estos pedidos se van propagando, los nodos intermedios van creando rutas al origen en sus tablas de ruteo, estas asumen la calidad de "reverse routes" y solo se usarán para enviar tramas de management. Cuando un MP recibe un RREQ dirigido a sí mismo, envía un RREP en Unicast que irá de regreso al origen a través de las "reverse routes". Los MPs intermedios que envían el RREP al origen van creando rutas al MP destino. Estas son las que se denominan "forward routes", y son las que se usarán para enviar los datos. Este mecanismo funciona sólo para tráfico Unicast. Cabe notar que este ruteo, se hace a nivel de capa MAC.

Los mensajes que se intercambian en las redes mesh utilizan el formato estándar de IEEE 802.11 de cuatro direcciones más información adicional, específica de las redes mesh. A continuación se muestra el formato de una trama típica de datos:



AE: Address Extensions

MAE: Multi-hop management address extension

Fig 2.1.6-2: Trama de datos mesh

En una red mesh, las tramas de datos son reenviadas por los MPs intermedios utilizando la información de las cuatro direcciones del encabezado de capa MAC.

Las direcciones 5 y 6 se usan cuando están activados los campos de modalidad de dirección extendida (AE), lo que ocurre cuando se tienen MAPs (Mesh Access Points, MPs que funcionan como APs), para direccionar dentro del conjunto de estaciones que usan los servicios de ese MAP. También se usan en el caso de haber estaciones externas a la mesh, que usen MPPs como proxy. En la red de ceibal, no se implementan MAPs.

El número de secuencia se utiliza para asegurarse de que las tramas lleguen a capas superiores de forma ordenada en el destino. Este dato junto con la dirección de origen se usa para detectar tramas repetidas o desordenadas en el destino.

A continuación se muestra el formato de una típica trama de management:

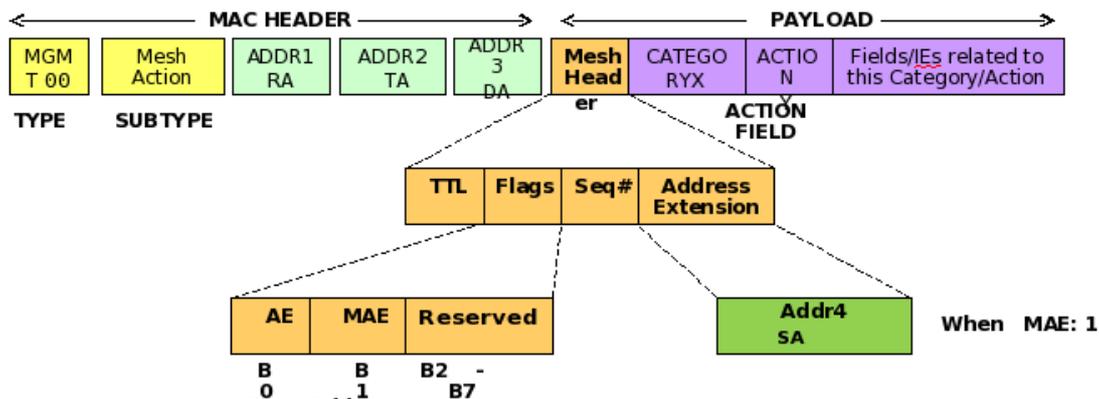


Fig 2.1.6-3: Trama de management mesh

2.2 La red Ceibal

En esta sección se pretende realizar una breve descripción de la red implementada por el Plan Ceibal.

En la siguiente figura se muestra un esquema de la implementación típica de la red Ceibal, en un local de enseñanza.

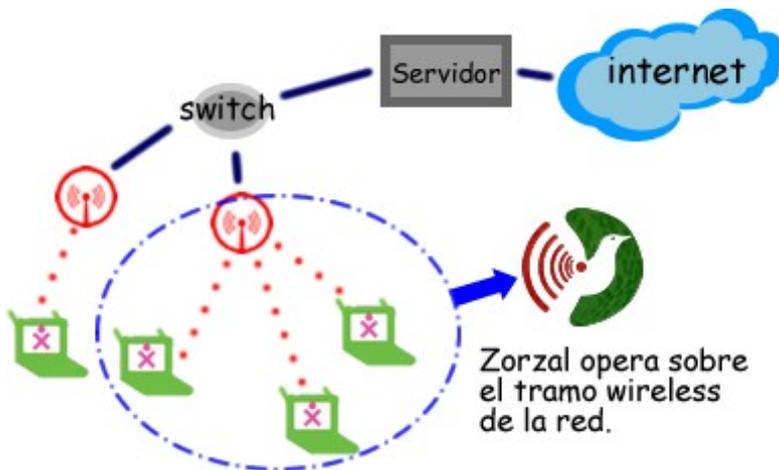


Fig 2.2-1: red Ceibal indoor

Zorzal opera sobre el tramo wireless de esta red. De aquí en más, cuando se hable de la red de Ceibal, se estará haciendo referencia a este tramo.

En la red de Ceibal están presentes dos arquitecturas: infraestructura y mesh. La red de infraestructura a nivel de capa MAC funciona siguiendo los principios del estándar IEEE 802.11. Las redes mesh implementadas por las XO, en principio, funcionan según se describe en el draft 802.11s, sólo que con algunas variaciones.

Actualmente en la red de Ceibal, las XO no implementan la funcionalidad de portales mesh (MPP), por lo que no se presenta una clara interconexión entre la red ad-hoc y la de infraestructura. Lo que ocurre es que las redes mesh se forman paralelamente a las de infraestructura. Esta es una de las razones por las que resulta de interés para la aplicación calcular el porcentaje de tiempo en el aire ocupado por tráfico mesh.

En las siguientes dos secciones se realiza una breve descripción de la red Ceibal, orientada a los distintos tipos de tramas presentes en la red, debido a la importancia que esto último ha cobrado en el desarrollo de la aplicación.

2.2.1 Implementación de la red de Infraestructura

A continuación se describen los principales tipos de tramas que se intercambian en la red de Ceibal, junto con sus respectivos usos, sumado a algunos detalles que fueron considerados en el desarrollo de la aplicación.

- Beacon: Se usan para promocionar la red administrada por el AP que los envía.

Son siempre dirigidos a Broadcast, y la dirección de origen siempre es la de un AP. Como son siempre enviados por el AP, la dirección de transmisor coincide con la del origen, aunque no aparezca en el encabezado.

Dada la función que cumplen estas tramas, contienen información de gestión útil a las estaciones a la hora de querer conectarse a un AP, como por ejemplo: el SSID de la red, las modulaciones soportadas, etc.

- Probe Request: Los emite una estación para descubrir las redes visibles.

Siempre son originadas por estaciones y se dirigen a Broadcast. Cuando una estación no ha recibido información de ninguna red a la que pueda conectarse, para intentar asociarse a alguna de ellas emite este tipo de tramas con SSID Broadcast. Cuando la estación posee información de la red, ya sea por haber recibido un Beacon

previamente, o por tener la red configurada como preferida, envía estas tramas con el SSID del AP.

Contienen información de gestión, análoga a las de los Beacon pero referido a la estación que los envía.

- Probe Response: Son las respuestas de parte del AP al Probe Request de las estaciones. Se encargan básicamente de cerrar el trato para conectarse al AP. Efectivamente, el trato queda totalmente cerrado cuando el AP recibe el ACK de la estación, por esta trama.

Siempre son originadas por el AP, y se dirigen a la estación que originó el Probe Request que contestan, siempre son Unicast. Además tienen BSSID y SSID el del AP que contesta.

También contienen información de gestión útil para toda la comunicación.

- Data: Este tipo de tramas transportan en su carga útil los bytes que llegan de capas superiores. Se puede decir que transportan lo que se puede llamar datos a nivel de capa 2 (que no es totalmente tráfico útil a nivel de aplicaciones).

Pueden dirigirse tanto a estaciones como al servidor. El origen no tiene porqué coincidir con el transmisor, igual pasa con el destino y el receptor. Transmisor y receptor hacen referencia a la comunicación wireless directa. El origen se asocia a la estación que crea la trama y el destino es el que hace uso de la trama, es decir transmisor o receptor pueden ser saltos intermedios en la comunicación. En general cuando el bit from DS esta encendido, la trama va del AP (transmisor) a la estación destino (receptor), y cuando el bit to DS está prendido, la trama va de la estación origen (transmisor) al AP (receptor). El BSSID y el SSID son siempre los del AP bajo el cual está operando la estación.

A la hora de calcular como se comparte el medio entre las estaciones que trafican bajo un AP, *Zorzal* trata las tramas Unicast como tráfico de la estación que las transmite o las recibe, según sea el caso (suba o baje del DS).

También pueden ser dirigidas a Broadcast o a Multicast. En estos casos, cuando las tramas fueron originadas por el servidor, en la aplicación se reconocen simplemente como tramas de Broadcast o Multicast (como si esas direcciones fuesen estaciones aparte). Cuando la trama fue originada por una XO se trata como parte del tráfico de esa XO. Un caso particular de estas tramas de datos son las tramas MDNS. Estas tramas son generadas por una aplicación especial de las XO, por medio de la cual se hace el descubrimiento de integrantes del vecindario, intercambiándose toda la información necesaria para ello. Estas tramas son siempre originadas por una XO,

y dirigidas a una dirección de Multicast. Cuando este intercambio de información se hace a través del AP, el BSSID es el del AP. Las tramas suben o bajan, según esté encendido el bit To DS o From DS del encabezado de capa MAC. Las tramas MDNS se tratan como un tipo especial de trama de datos, dado que es de interés de Ceibal conocer qué porcentaje de tiempo ocupan en el aire.

Dentro de las tramas de datos se encuentran también las Null Function. Estas tramas se usan para el control de potencia. Son originadas por una estación, dirigidas al AP, con el BSSID del AP, o bien, originadas por un AP, dirigidas a una estación, con BSSID del AP. En *Zorzal* se tratan como tráfico de la estación que las genera o las recibe, según sean hacia o desde el DS.

- ACK: Son tramas de reconocimiento a nivel de capa 2. Según se especifica en el estándar IEEE 802.11, toda trama Unicast debe ser reconocida una vez que llegue al receptor. En ese momento envía al transmisor, una trama que solo contiene encabezado, inmediatamente luego de recibida la trama a reconocer.

En el campo de direcciones dentro del encabezado de capa MAC, estas tramas simplemente contienen dirección de receptor, porque en principio es todo lo que necesitan.

Como se mencionó en la *Sección 2.1.2*, los reconocimientos se envían luego del intervalo SIFS, por lo que se puede afirmar que en una captura, si se encuentra un reconocimiento, para ver la trama que lo origina basta ver la trama anterior. Como la estación que captura puede no haber visto la trama que genera un reconocimiento visible (por ejemplo en el caso de que quien genera la primer trama sea una estación oculta) no siempre se puede determinar la trama que origina un ACK mirando la trama anterior.

- RTS/CTS: Estas tramas se usan como medida preventiva para evitar colisiones ocasionadas por el problema de las estaciones ocultas, típico de las redes inalámbricas. Al momento de transmitir, una estación envía un RTS a la estación con la cual desea comunicarse. Dicha trama tiene como dirección de transmisor aquella correspondiente a la estación que lo origina, y tiene como receptor la dirección de la estación a la cual se desea transferir. Todas las estaciones que puedan escuchar al transmisor, reciben la trama RTS, momento en el cual detectan que el medio está ocupado y por lo tanto se abstienen de utilizarlo. Una vez el destinatario del RTS lo reciba, contesta con una trama CTS. Una vez que el transmisor de la trama RTS reciba el CTS, puede empezar a transmitir. Este mecanismo ayuda a evitar colisiones debidas a la presencia de estaciones ocultas, dado que las estaciones que escuchan el RTS del transmisor (estén en su alcance de radio) no intentarán transmitir. Además, las que estén al alcance del receptor tampoco, porque si

bien pueden no haber escuchado el RTS (por ser ocultas al transmisor), tienen que haber oído el CTS.

Este mecanismo es rara vez implementado. Sin embargo, en la red de Ceibal, algunos de los APs utilizados hacen uso de las tramas RTS/CTS. Algunos equipos implementan una versión particular de tramas CTS denominadas CTS to Self. Se usan básicamente para reservar el canal al momento de transmitir una trama: la estación primero envía un CTS con su propia dirección como receptor, y luego transmite. En una red en la que funcionan paralelamente las versiones b y g del estándar, como es el caso de la red de Ceibal, las tramas CTS to Self cumplen con la función de alertar a las estaciones que transmiten en b, que se realizarán transferencias en la versión g. La necesidad de esta alerta radica en que las estaciones que operan en b no pueden interpretar g, por lo que debe existir alguna manera de que se enteren de que no pueden transmitir durante un determinado tiempo, mientras el cual el medio será utilizado por aquellas estaciones que utilicen la versión g.

2.2.2 Implementación de la red mesh

Paralelamente a la red de infraestructura, en la red de ceibal las XO tienen la capacidad de formar redes mesh. Por lo tanto, al formarse una red de este tipo, el aire es compartido por el tráfico de la red mesh y el tráfico de la red de infraestructura. En la implementación de la red mesh realizada por el Plan Ceibal, solamente intervienen las XO, sin participación alguna de los APs.

Las XO emiten tráfico que apunta a la formación de redes mesh. Si bien este tráfico no siempre resulta en el establecimiento de una red mesh, Zorzal lo considera como parte del tráfico mesh.

Tipos de trama presentes en una red mesh:

- Beacon: Análogamente a las redes de infraestructura, el objetivo de estas tramas es promocionar la red, y dar suficiente información a las estaciones que desean conectarse. La diferencia es que en este caso el SSID es `olpc-mesh`, y el BSSID es el que se generó para la red mesh en el momento en que se formó (no es el de ninguna de las estaciones participantes).

En una red mesh los Beacons llevan información de management mesh como por ejemplo el protocolo de selección de caminos a utilizar y la métrica.

En este caso, la métrica a utilizar es la de tiempo en el aire y el protocolo de selección de caminos es el HWMP, el cual se define en el draft de 802.11s.

Otros Beacons algo particulares presentes en el aire, cuando hay XO activas, tienen BSSID "00:00:00:00:00:00", SSID Broadcast, y son generados por las XO. Estas tramas si bien no son tráfico mesh, ya que no transportan datos que se intercambian sobre una red mesh, se clasifican como tales en la aplicación, dado que son generadas debido a la capacidad de las XO para la formación de redes de este tipo.

- Probe Request: De la misma forma que en las redes de infraestructura, son generados por estaciones para anunciar su intención de conectarse a una red. En una red mesh las estaciones que poseen información sobre la misma y deseen conectarse, envían a Broadcast una de estas tramas con SSID olpc-mesh.
- Probe Response: Estas serán las respuestas a las tramas anteriores, enviadas por una estación partícipe de la mesh, hacia la estación que originó el Probe Request. El Probe Response contendrá el BSSID de la red mesh, SSID olpc-mesh, más información de la red mesh que lo envía, protocolo de selección de caminos, métrica, etc.

Las XO suelen enviar estos mensajes no solo a otras XO, sino también a cualquier otra estación que mande un Probe Request, sólo que en este caso las otras estaciones no se integrarán a la mesh. En algunos de estos casos el BSSID es 00:00:00:00:00:00, y el SSID es Broadcast.

- Action: Estas tramas aparecen solamente en presencia de redes mesh. Son tramas de management mesh. Son utilizadas por el protocolo de selección de caminos para realizar los pedidos y respuestas de rutas. Entre la información que viaja en estas tramas se encuentra qué tipo de trama de este protocolo es (RREQ, RREP), el origen, y el destino (MAC de la estación cuya ruta se quiere determinar).
- Data: En este caso las tramas siempre son originados por una XO, por lo que la aplicación las considera tráfico correspondiente a la misma.

3 Parámetros de interés

3.1 Introducción

En este capítulo se presentan todos los parámetros que son calculados por *Zorzal*. El objetivo es introducir al lector en lo que son los capítulos siguientes, en donde se detallan y explican los fundamentos y metodologías utilizadas para calcular cada uno de los parámetros de performance reportados por *Zorzal*.

El cálculo de los parámetros realizado por *Zorzal* tiene como objetivo proporcionar al Plan Ceibal una serie de herramientas para analizar posibles problemas de performance en el tramo wireless de su red.

Para ello se realizan las siguientes medidas:

- Cobertura Indoor espacio-referenciada
- Estado de la Red:
 - calidad en la comunicación percibida por el usuario
 - Estado del Aire

Es importante destacar las ventajas que aportan los parámetros calculados, desde el punto de vista de la gran información que proporcionan y desde el punto de vista de cómo son implementados y presentados. *Zorzal* no solamente permite obtener y reportar información sobre la red que actualmente no son llevadas a cabo por el Plan Ceibal, sino que además automatiza e integra en una sola aplicación las ya existentes.

Dentro de las Medidas de Cobertura Indoor, es importante destacar la gran utilidad y practicidad que aporta la forma en la que *Zorzal* permite estimar este parámetro. Actualmente el Plan Ceibal no cuenta con una forma de automatizar esta medida. Es decir, la forma en la que se estima la cobertura indoor, es mediante scripts, sin tener la posibilidad de realizar espacio-referenciamiento, lo cual es un aporte considerado de suma importancia, y es implementado por *Zorzal*.

En lo que se refiere a las medidas del estado de la red, es importante destacar la enorme cantidad de información que se obtiene, permitiendo tener dos miradas bien distintas del funcionamiento de la red. Por un lado, se tiene la posibilidad de estudiar con qué calidad un usuario cualquiera puede hacer uso de la red, y por otro lado, se brinda la mayor cantidad de

información del estado del medio sin distorsionar el funcionamiento de la misma.

Además de proporcionar la posibilidad de medir parámetros ya implementados, de incorporar algunos nuevos, *Zorzal* realiza todo esto proporcionando al usuario una única herramienta, de fácil uso y orientada a la comprensión de los resultados. Una de las principales ventajas de la aplicación es que permite que los técnicos, futuros usuarios de la misma, cuenten con una herramienta orientada a sus necesidades, pensada y creada a tales efectos.

En lo que sigue del capítulo cada sección es orientada a presentar cada uno de los parámetros de performance calculados y reportados por *Zorzal*.

3.2 Medidas de cobertura indoor

Se apunta a que el usuario pueda conocer la cobertura de los APs del Plan Ceibal dentro de un local. La aplicación ofrece dos opciones: por un lado mostrar un mapa general de cobertura del local (considerando todos los APs de Ceibal instalados), y por otro mostrar un mapa de cobertura de un AP dado (considerando solamente un AP en particular elegido por el usuario).

El mapa general de cobertura de un local apunta a brindar información de la cobertura de la red de Ceibal en el mismo. En algunos puntos se detecta señal de más de un AP de Ceibal, en esos casos *Zorzal* despliega el resultado correspondiente al AP que se ve con mayor intensidad.

3.3 Medidas del estado de la red

El objetivo de estas medidas es obtener indicadores del funcionamiento de la red, ya sea traficando y obteniendo medidas de la calidad en la comunicación percibida por el usuario (throughput, retardo), o simplemente “escuchando” el tráfico que circula por el aire. En este último caso, el objetivo es dar a conocer como se reparte el medio entre las distintas redes, tipos de tráfico, estaciones conectadas, etc.

Medidas de la calidad en la comunicación percibida por el usuario:

A la hora de conocer el funcionamiento de una red de forma completa, es indispensable tener algún indicador de cómo el usuario se ve afectado por el estado de la misma. Para ello se analizan dos indicadores: por un lado el throughput que se puede obtener al conectarse a la red, y por el otro el retardo que sufren los paquetes al transportarse por esta. Ambas son medidas que de alguna forma traducen el estado de la red, pero desde el punto de vista de lo que se le puede ofrecer al usuario. El throughput como indicador del rendimiento que se está obteniendo de la red, y el retardo, más precisamente la variación del mismo, como medida de la estabilidad.

Se realizan dos medidas complementarias: throughput TCP y el retardo a nivel de capa 3. Estas medidas implican que la estación se conecte a la red Ceibal, e inyecte tráfico en la misma.

Zorzal ofrece al usuario la posibilidad de medir throughput uplink o downlink.

En cuanto al retardo, se despliega un histograma con los valores obtenidos, informando también la media, la desviación estándar y el porcentaje de paquetes perdidos.

Medidas del Estado del Aire:

Se entiende por Medidas del Estado del Aire a las medidas orientadas a conocer el estado de la red sin inyectar tráfico, simplemente “escuchando” lo que ocurre, sin intervenir. La información se obtiene mediante la captura de tramas con una tarjeta de red que opera en *modo monitor*.

Con estas medidas se le permite al usuario tener una visión de cómo se reparte el medio, tomando como referencia el tiempo en el aire. Entre los parámetros que se calculan se distinguen el factor de carga, cantidad de usuarios conectados, porcentajes de las distintas redes (incluyendo redes mesh) y tipos de tráfico. Los porcentajes obtenidos se despliegan gráficamente.

Zorzal ofrece la posibilidad de ver cómo evolucionan en el tiempo las medidas del estado del aire. En este caso los resultados se despliegan graficando los porcentajes a lo largo del tiempo.

4 Medida de Retardo

4.1 Introducción

En una red inalámbrica la cantidad de usuarios conectados, las modulaciones, las condiciones de radio y el tráfico cursado, definen un estado para la red. No es lo mismo una red que tiene dos usuarios que una red con cincuenta usuarios, tampoco es lo mismo una red en la cual solamente se navega, o una red en las que se realizan descargas de manera continua. Por variaciones en todos aquellos factores que determinan el estado de la red, es importante no solamente tomar la media del retardo, sino que también tomar la variación del mismo. Esta medida será indicadora de cuán dispersos son los valores obtenidos y por lo tanto, de cuán estable estuvo la red en el intervalo de tiempo en que se realizó la medida.

En este proyecto se implementa una medida de retardo entre estación y servidor Ceibal, a nivel de capa 3. Esta forma de medir retardo entre dos puntos de una red no directamente conectados y sin afectar prácticamente su estado (sin introducir carga notable en la red) resulta ser la más simple de realizar.

4.2 Metodología

La medida de retardo se implementa enviando paquetes *ICMP* al servidor de la escuela en cuestión, y recolectando los RTT (Round Trip Time o tiempo de ida y vuelta) resultantes. Para ello se utilizó el comando *ping* de Linux que justamente proporciona de forma directa todos los datos de interés (media, porcentaje de paquetes perdidos y desviación estándar), y permite configurar la cantidad de paquetes a enviar.

Cabe resaltar que la medida que proporciona este comando es la del tiempo de ida y vuelta de cada paquete, por lo que el resultado obtenido no es una medida del retardo (entiéndase este parámetro como el tiempo de ida o tiempo de vuelta pero no ambos dos sumados), sino del RTT de los paquetes.

4.2.1 ICMP

ICMP es un protocolo de control a nivel de capa 3. Provee una serie de mensajes a través de los cuales los routers logran supervisar el funcionamiento de la red.

Son de interés particular a este trabajo los mensajes *ECHO REQUEST* y *ECHO REPLY*, que son los que se intercambian al ejecutar el comando *ping* de Linux, utilizado para la implementación de la medida de retardo. Estos mensajes básicamente se usan para determinar si un equipo está conectado a la red. Ante un *ECHO REQUEST*, el equipo destino deberá responder con un *ECHO REPLY* dirigido al origen del primer mensaje.

Cuando el equipo destino no logra ser alcanzado, el origen recibe un mensaje *DESTINATION UNREACHABLE*. Eso ocurre generalmente cuando alguna de las conexiones entre el origen y el destino, ha fallado. Cuando se supera el TTL (Time To Live, o tiempo de vida) de un paquete, se envía hacia el origen un mensaje *TIME EXCEEDED*, indicando que se superó el tiempo de vida del mismo.

4.2.2 Implementación

Como se mencionó antes, la medida de retardo se realiza con la ayuda del comando *ping* de Linux. Este comando, básicamente hace que la estación en que se ejecuta envíe paquetes *ECHO REQUEST* al servidor que se le ingresa como parámetro, y recolecta la información proporcionada por las respuestas a esos mensajes (*ECHO REPLY*) por parte del servidor.

El comando devuelve los RTT de cada paquete enviado, más un resumen de paquetes enviados, RTT medio, desviación estándar, RTT mínimo y máximo.

Estos resultados son recolectados por la aplicación y desplegados de forma adecuada. Se presentan directamente los resultados de RTT promedio y desviación estándar, junto con el porcentaje de paquetes perdidos. Se grafican los RTT de cada paquete contestado en un histograma como el que se muestra en la siguiente figura:

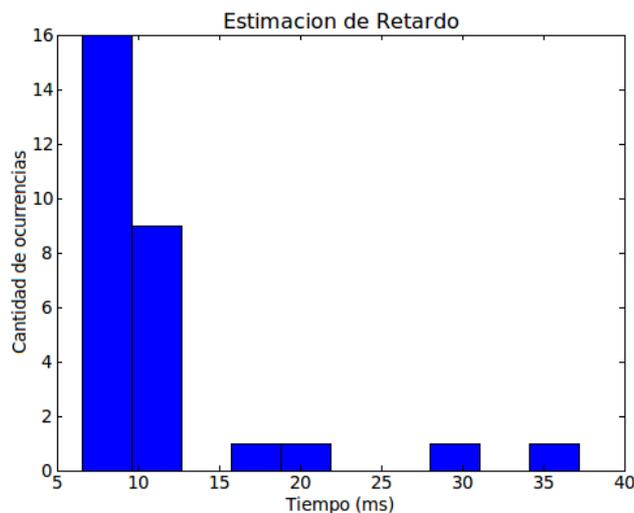


Fig 4.2.2-1: Histograma de retardos

Como se puede observar, esta forma de representar los datos resulta un buen complemento para los valores de media, paquetes perdidos y desviación estándar, debido a que al ser un histograma, es inmediato notar la presencia de cambios de estado en la red (se verán como una gran dispersión en los valores alrededor del pico).

A nivel de la aplicación, para ejecutar la medida de retardo, el usuario deberá ingresar la dirección IP del servidor de la red de Ceibal contra el que se quiere hacer la medida, y la cantidad de paquetes a enviar.

4.3 Pruebas realizadas

A lo largo de este proyecto se ha realizado una serie de pruebas, las cuales se exponen a continuación.

4.3.1 Prueba 1 - Medida de retardo en una red estable

En esta prueba se realizará la medida de retardo contra un router doméstico (que simula ser un servidor de Ceibal), enviando 90 paquetes *ICMP* al mismo, manteniendo estable el estado de la red durante toda la prueba.

Los resultados se pueden ver en la siguiente figura:

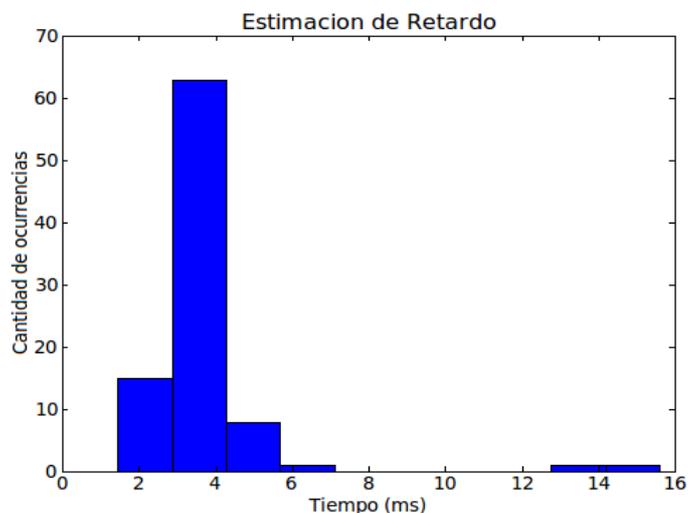


Fig 4.3.1-1: Histograma de retardos

- RTT Promedio: 3.513ms
- Desviación Estándar: 1.85ms

En esta prueba se puede observar claramente como en una red estable, el resultado que se obtiene es parecido a lo que se espera idealmente, esto es, una fuerte concentración de valores alrededor de la media.

Cabe notar que esta situación no se da siempre. En un ambiente no controlado es muy difícil mantener constante las condiciones de la red.

4.3.2 Prueba 2 - Medida de retardo en una red no estable

En esta prueba se realizará la medida de retardo contra un router doméstico (que simula ser un servidor de Ceibal), enviando 90 paquetes *ICMP* al mismo. Si bien en esta prueba el ambiente es controlado, se simuló un cambio de estado inyectando tráfico luego de haber comenzado la medición.

Los resultados se pueden ver en la siguiente figura:

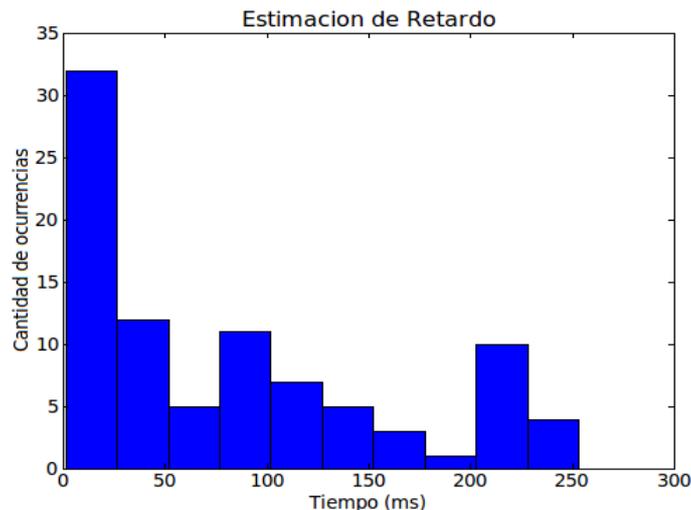


Fig 4.3.2-1: Histograma de retardos

- RTT Promedio: 79.587ms
- Desviación Estándar: 78.566ms

Como se puede observar, los valores ya no están fuertemente concentrados alrededor de la media. La carga adicional en la red produjo por un lado, un aumento en la media del retardo, como era de esperarse, y por el otro, un aumento en la desviación estándar, cuyo resultado también ha quedado plasmado en el gráfico del histograma. En este sentido se puede ver claramente cómo ya no coincide el lugar en donde se presenta el pico con el valor de la media.

En estos casos, el retardo no tiene porqué mantenerse constante. La desviación estándar proporciona una medida de cuan variable es el estado de la red.

4.3.3 Conclusiones

De las pruebas expuestas anteriormente se concluye:

- La desviación estándar proporciona una medida de la estabilidad de la red. Grandes valores para este parámetro, son indicadores de una red que ha presentado variaciones significativas.
- En redes estables el valor de la media resulta razonable como medida del retardo. Esto se puede verificar gráficamente con el histograma

(acumulación de las medidas alrededor de la media formando un pico sobresaliente). Esto no quiere decir que solo alcance con la media, para afirmar que la misma es representativa, antes se debe confirmar una desviación estándar pequeña.

5 Medida del Estado del Aire

5.1 Introducción

El conjunto de parámetros que en este trabajo se denomina Estado del Aire incluye toda aquella información sobre cómo se comparte el medio entre las distintas redes, tipos de tráfico, estaciones conectadas, etc. Es el resultado de un análisis posterior a la captura de todas las tramas que circulan por el aire, incluyendo aquellas no pertenecientes a la red Ceibal, e incluso a aquellas que no son dirigidas ni originadas por la estación en donde se realiza el relevamiento. No se inyecta tráfico en la red, por lo que las medidas del estado del aire son pasivas. El papel principal lo tiene el tiempo en el aire que ocupa cada trama, ya que con esta información se calculan la mayoría de los parámetros en cuestión.

Es importante destacar la motivación que llevó a desarrollar el análisis del estado del aire. Como se mencionó anteriormente, este proyecto surge como necesidad del Plan Ceibal de diagnosticar posibles problemas de performance presentes en su red. En particular, al inicio de este proyecto, una de las inquietudes planteadas fue la necesidad de conocer la causa del bajo índice de simultaneidad que se presenta (la cantidad de usuarios conectados que permite la red es menor a la cantidad de usuarios esperada acorde al diseño). Una posible causa de este problema es la existencia de una gran cantidad de tráfico de management en la red. El análisis del estado del aire que realiza *Zorzal* permite, entre otras cosas, medir los porcentajes de tráfico de distintos tipos, por lo que brindará a los administradores de la red del Plan Ceibal, las herramientas para diagnosticar y resolver, por ejemplo, el problema antes mencionado.

Existen dos variantes para este conjunto de mediciones. Por un lado se tiene la opción de poder estudiar una red de infraestructura en particular, y por otro lado, existe la alternativa de realizar mediciones exclusivamente de las redes mesh presentes en el local. En el caso de elegir la primera opción, se debe especificar cuál es la red de interés. Esta se identifica mediante un BSSID, el cual por tratarse de una red de infraestructura va a coincidir con la MAC del Access Point. De aquí en más, en este documento se hará referencia a este AP como el AP de interés. Cabe destacar que para ambos tipos de medidas la información recolectada es la misma, lo que cambia es la forma en la que se despliega.

Además de la variante de calcular porcentajes en base a si se selecciona o no un AP de interés, se puede también realizar un estudio de los mismos parámetros conforme avanza el tiempo. Esta funcionalidad consiste en

capturar durante una serie de intervalos de tiempo (seleccionados por el usuario, tanto en duración como en cantidad) donde para cada uno de ellos se calculan los mismos parámetros y luego se despliegan los resultados en función del tiempo.

La forma en que *Zorzal* despliega todos los parámetros relacionados con el estado del aire, permite que el usuario pueda tener una noción global de cómo se está compartiendo el medio, con la opción de llegar a los detalles de una red en particular, e incluso a los de una estación en especial. *Zorzal* implementa una estructura de árbol en donde se organiza la información, yendo de lo más general a lo más específico; y es así como se lo muestra al usuario.

5.1.1 Parámetros del Estado del Aire

A continuación se expone el conjunto de parámetros denominados estado del aire.

FACTOR DE CARGA DE LA RED:

La medida del factor de carga, como dice su nombre, es un indicador de cuan cargado está el medio.

Se calcula como el porcentaje de tiempo durante el cual el aire estuvo ocupado por tramas. El cien por ciento equivale a la cantidad de tiempo que duró la captura.

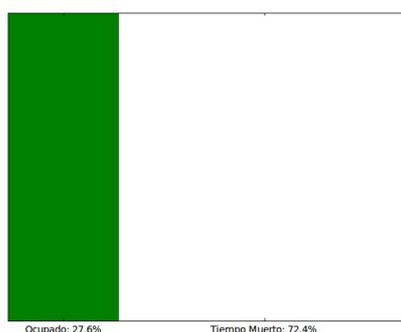


Fig 5.1.1-1: Factor de carga de la red

PORCENTAJES DE TRÁFICO CEIBAL VS TRÁFICO NO CEIBAL:

Zorzal permite determinar cuánto tiempo en el aire está siendo ocupado por cada red que opera en el canal en el que se realiza la captura. Se efectúa

una clasificación en: redes Ceibal, redes no Ceibal e indeterminado. La información desplegada consiste en los porcentajes de tiempo en el aire ocupado por cada una de estas categorías. Se define tráfico Ceibal a todo aquel tráfico perteneciente a redes cuyo SSID contiene alguna de las siguientes palabras clave: “ceibal”, “escuela” o “liceo”; además de todo aquel tráfico catalogado como tráfico mesh.

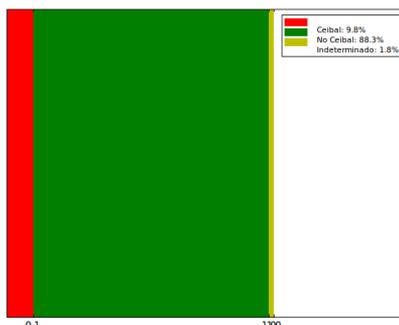


Fig 5.1.1-2: Porcentaje de tráfico Ceibal vs No Ceibal

PORCENTAJES DE REDES NO CEIBAL:

La aplicación permite también identificar todas las redes no Ceibal, y calcula el porcentaje de tiempo en el aire que ocupa cada una de ellas. Aquí el cien por ciento corresponde a la totalidad de tráfico existente en la red. En las figuras de ejemplo 5.1.1-3 y 5.1.1-4 se observa que la mayoría del tráfico corresponde a redes no Ceibal.

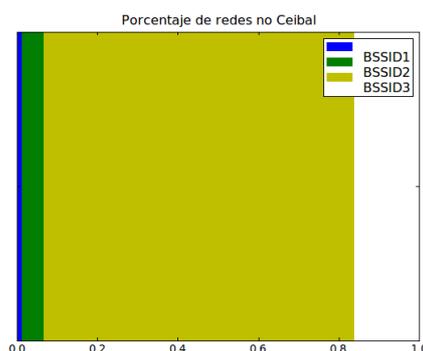


Fig 5.1.1-3: Porcentaje de las redes No Ceibal

PORCENTAJES DE REDES CEIBAL:

Se despliega el porcentaje de tiempo ocupado por tráfico de las distintas redes Ceibal visibles, incluyendo las redes mesh.

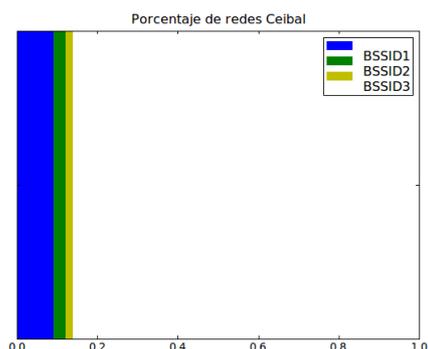


Fig 5.1.1-4: Porcentaje de las redes Ceibal

PORCENTAJES DENTRO DE UNA RED DE INTERÉS:

En muchas ocasiones interesa conocer como se comparte el medio solamente observando el tráfico bajo un AP de interés. La aplicación también proporciona la opción de analizar solamente el tráfico bajo redes mesh, sin ningún AP interfiriendo (típico escenario dentro de un laboratorio a la hora de estudiar el comportamiento de las redes mesh).

Zorzal permite conocer los porcentajes de tiempo correspondientes a:

- distintos tipos de tráfico a nivel de capa 2.
- agregado de tramas retransmitidas.
- tráfico asociado a las distintas estaciones conectadas a la red bajo estudio, identificándolas mediante su dirección MAC y contabilizándolas. Adicionalmente se presentará la potencia con la que la tarjeta de red (que realiza la captura) ve a cada una de estas.
- tráfico Broadcast y Multicast.

También se calcula el porcentaje de tramas correspondiente a las distintas modulaciones utilizadas. Adicionalmente se calcula la cantidad y se identifican las direcciones MAC de estaciones ocultas.

PORCENTAJES DE UNA ESTACIÓN:

Dentro de la red de interés, se podría querer analizar alguna estación conectada a ella. *Zorzal* calcula los porcentajes de tiempo ocupados por:

- distintos tipos de tráfico asociados a la estación.
- tramas retransmitidas por la estación.

Adicionalmente, se le permite al usuario conocer el porcentaje de tramas transmitidas a cada modulación.

5.2 Implementación

Zorzal busca brindarle al usuario la posibilidad de realizar medidas que le permitan conocer cómo se comparte el aire entre los distintos actores de la red. Para esto es necesario conocer en detalle la información que intercambian los usuarios involucrados. Existe un modo en el que pueden operar algunas tarjetas de red inalámbricas, llamado *modo monitor*; el cual permite escuchar todo el tráfico WiFi en un canal determinado. De esta forma se pueden escuchar todas las tramas que se intercambian, sean o no dirigidas a la estación que captura, permitiendo saber cómo se reparte el medio entre todos los usuarios de la red. A continuación se muestra un breve esquema de la implementación de esta funcionalidad.

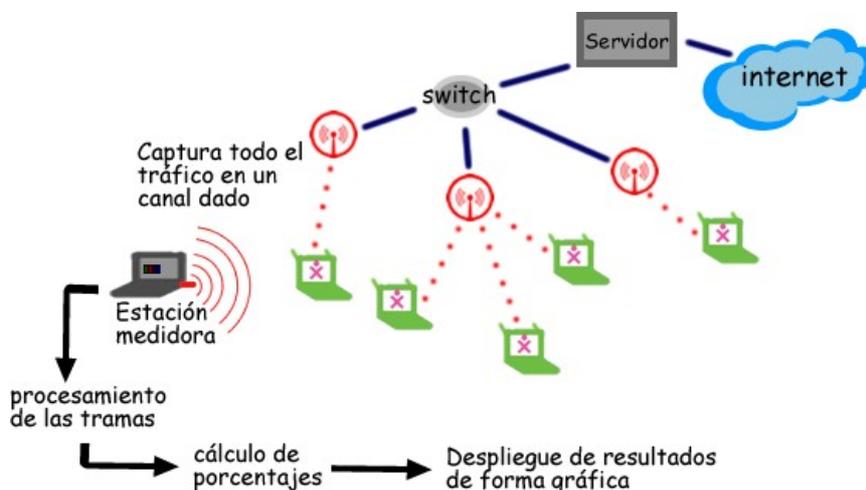


Fig 5.2-1: Esquema de la implementación del Estado del Aire

Para capturar se utiliza una aplicación llamada Tshark, la cual permite que se guarde todo el tráfico 802.11 que escucha la tarjeta de red. Además de capturar, esta aplicación también permite interpretar las tramas, identificar cada uno de sus encabezados y traducirlos a un formato amigable.

Conociendo el formato en que Tshark devuelve los resultados, se identifica el comienzo y fin de cada trama. Una vez separadas las tramas se identifican los campos de interés del encabezado y se extrae la información útil. Esto se hace leyendo la salida del Tshark y buscando las palabras que identifican los campos cuyo contenido se desea guardar. Dentro de la información extraída de cada trama, se encuentra a que estación pertenece el tráfico capturado, dentro de que red está dicha estación, qué tipo de tráfico es el que se está intercambiando, cuán rápido se está transmitiendo la información en el aire y cuán grande es la trama en cuestión. A partir del tamaño y de la velocidad a la cual es transmitida la trama, se deduce cuanto tiempo ocupa en el aire. Es de suma importancia para *Zorzal* el

poder conocer esta información, debido a que el tiempo en el aire es el recurso escaso y por el que se compite. Por lo tanto, la mayoría de los porcentajes calculados son referidos al tiempo.

Una vez reconocidos los campos que interesan, se lee su contenido y se guarda en una estructura lógica creada especialmente para guardar esta información. Luego se procede a calcular los porcentajes siendo estos referidos en su mayoría al tiempo. Para esto se van incrementando contadores de tiempo que contabilizan, entre otros, cuánto tiempo del total está siendo ocupado efectivamente por tramas, y dentro de éste cuanto corresponde a tráfico de redes Ceibal, y a su vez dentro de éste cuanto tráfico hay de datos, control y management; cómo se reparte el tiempo entre los distintos usuarios de la red, etc. Para desplegar los datos simplemente se grafican los porcentajes de cada división realizada.

Resumiendo, se distinguen distintas etapas durante el análisis del estado del aire:

- Se obtiene información de las redes presentes en el punto donde se desea realizar el análisis del estado del aire
- Se realiza la captura
- Se extraen los datos de las tramas
- Se calculan los porcentajes
- Se despliegan los resultados

En las secciones que siguen se detallan cada una de estas etapas.

5.2.1 Descubrimiento de redes

Previo a capturar, por razones de comodidad y rapidez, se realiza un escaneo activo del aire para descubrir que redes hay presentes antes de comenzar la captura. El aporte de este escaneo previo es el de proveer a la aplicación información sobre las redes presentes antes de comenzar la captura, ya que así se conocerán todas las redes presentes antes de escuchar ningún Beacon.

Desde el punto de vista de la interacción entre la aplicación y el usuario, el hecho de realizar un escaneo previo le permite a *Zorzal* poder desplegar las redes visibles y que el usuario elija de dicha lista cual es el AP de interés sobre el cual quiere realizar el análisis del tiempo en el aire.

El descubrimiento de redes se realiza de forma activa, es decir se interroga a los actores por las redes presentes a través de un Probe Request. Esto se realiza en todos los canales 802.11b/g, lo que garantiza que no se escapará ninguna red independientemente del canal en el que se encuentre.

Este descubrimiento se realiza mediante el comando *iwlist scanning* del paquete *wireless tools* de cualquier distribución de Linux. Este comando envía un Probe Request en cada uno de los canales y espera un cierto tiempo para que sea contestado con el correspondiente Probe Response. Además extrae información de Beacons que haya escuchado.

Dentro de la salida arrojada por *iwlist scanning*, se encuentra información sobre redes inalámbricas WiFi: frecuencia, bit rate, tipo de autenticación, si utiliza encriptación, potencia de transmisión, etc. Un ejemplo es el siguiente:

```
Eth1          Scan completed :  
  
    Cell 01 - Address: 00:08:54:AD:22:D7  
  
        ESSID:"AP2"  
  
        Mode:Managed  
  
            Frequency:2.412 GHz (Channel 1)  
  
        Quality:3/5  Signal level:-68 dBm  Noise level:-94 dBm  
  
        Encryption key:off  
  
        Bit Rates:1 Mb/s; 2 Mb/s; 5.5 Mb/s; 11 Mb/s; 6 Mb/s  
  
            9 Mb/s; 12 Mb/s; 18 Mb/s; 24 Mb/s; 36 Mb/s  
  
            48 Mb/s; 54 Mb/s
```

De toda la información que entrega el comando *iwlist scanning* interesa, en primer lugar, identificar aquellas redes presentes en el canal de interés (aquel en el que captura la tarjeta en *modo monitor*). Es importante clasificar las redes visibles en redes Ceibal y no Ceibal, para lo cual se debe verificar que el SSID contenga alguna de las palabras clave (como por ejemplo "escuela" o "liceo"). Otra razón por la cual se realiza este escaneo previo es para contar con una asociación BSSID - SSID, es decir, teniendo el BSSID la aplicación debe ser capaz de deducir el SSID correspondiente, esto es importante por razones que se detallan más adelante.

En esta etapa el comando *iwlist scanning* juega un papel sumamente importante ya que la asociación mencionada se realiza a partir de la información arrojada por dicho comando. Recordar que sólo las tramas que promocionan la red, como ser los Beacons y Probe Responses brindan esta asociación; por lo que si no se realiza el escaneo previo se debería esperar a

la captura de una de estas tramas para determinar esta asociación, lo cual provocaría que el análisis fuese más complejo y extenso.

Es importante mencionar que para no correr riesgo de no escuchar alguna de las redes presentes en el lugar, el escaneo activo con el comando *iwlist scanning* se realiza varias veces consecutivas. Por defecto la aplicación tiene seteado la cantidad de veces que se ejecuta.

Adicionalmente esta lista de redes permite conocer las direcciones MAC de la interfaz wireless de los APs (BSSID), información que se utiliza luego dentro de la lógica de extracción de parámetros para deducir si la dirección MAC presente en el encabezado de una trama corresponde a una estación o a un AP.

Luego de realizarse este escaneo activo se continúa con las siguientes tres etapas del análisis del estado del aire: captura de tráfico, extracción de los campos de interés, y cálculo de porcentajes. A continuación se detallan cada una de ellas.

5.2.2 Captura de tráfico

Para poder obtener la información de las tramas se utiliza una tarjeta de red wireless operando en *modo monitor*, la cual escucha y captura en un canal determinado todo el tráfico 802.11 existente. Este modo es uno de los seis modos en los que puede operar una tarjeta de red inalámbrica 802.11. Por más información sobre como setear el *modo monitor*, ver Anexo.

Una interfaz en *modo monitor* permite escuchar todo el tráfico existente en el medio. Es similar al modo promiscuo de las redes cableadas, en el sentido de que se escucha todo el tráfico presente en el canal. Sin embargo, el *modo monitor* permite escuchar tramas pertenecientes a otras redes debido a que el medio wireless es compartido. Todas las tramas son pasadas al computador sin ningún tipo de filtrado, siendo incluso posible que no se descarten ni siquiera aquellas que no cumplan con la comprobación de redundancia cíclica (CRC). Esto permite escuchar todo aquel tráfico 802.11 que se encuentre en la misma banda de frecuencias en la que opere la tarjeta inalámbrica con la que se está capturando, aun cuando no sea dirigido a ésta. Nótese que no es necesario estar conectado al AP para que se capture todo el tráfico existente.

Es importante destacar que este modo tiene ciertas limitaciones. La tarjeta de red wireless utilizada no puede transmitir mientras se encuentra operando en *modo monitor*. Además, sólo es posible trabajar en *modo monitor* en un rango de frecuencias o canal 802.11, no es posible escuchar lo que ocurre en el resto de los canales al mismo tiempo. Sin embargo,

estas limitantes dependen fuertemente del firmware, las características del chipset y del driver de la tarjeta que se esté utilizando. Por otro lado también es dependiente del sistema operativo, en particular se destaca que en Linux (Ubuntu 9.04 kernel version 2.6.28-14-generic) con el chipset utilizado (rtl8187b) se logró que la tarjeta operara en *modo monitor*, capturando en un determinado canal.

Para setear la tarjeta en *modo monitor* en esta aplicación se crea una interfaz virtual que opera en este modo. Para ello se utiliza otra aplicación llamada aircrack-ng con la cual se crea la interfaz en la frecuencia deseada. Aircrack-ng es un paquete de software que consiste en un detector, un sniffer de paquetes, un descifrador WEP y WPA/WPA2-PSK, y un analizador para redes 802.11. Este paquete puede utilizarse con cualquier tarjeta de red, sin embargo, para la funcionalidad que utiliza *Zorzal* es necesario que el driver de la misma soporte *modo monitor* "crudo" (raw monitor mode).

Además, para la captura de tramas así como para la interpretación de los campos de las mismas se utiliza la aplicación Tshark, la cual es una versión en línea de comandos del analizador de protocolos Wireshark. Tshark captura los paquetes de la red y los interpreta, extrayendo luego los datos que interesan. En este caso se utilizó una versión en desarrollo de Tshark que permite la interpretación de encabezados mesh. Esto es de suma importancia para poder identificar las tramas mesh y poder realizar la separación entre tráfico 802.11b/g y 802.11s. Tshark no sólo permite la interpretación de los protocolos incluidos en las tramas, sino que además permite realizar capturas consecutivas de un determinado largo en tiempo. Esto último permite que se pueda realizar de forma sencilla una evolución temporal de los parámetros anteriormente mencionados.

Como se adelantó en la Sección 5.2.1, antes de comenzar la captura se realiza un descubrimiento previo de redes, esto permite informarle al usuario las redes presentes en el lugar donde desea realizar la captura; pero además la aplicación las despliega para que el usuario también pueda seleccionar el AP o red sobre la que desea trabajar. Cuando el usuario selecciona un AP, la aplicación no lo asocia a dicho Access Point, sino que simplemente pone la tarjeta en modo monitor a capturar en el canal en el que se encuentre el AP.

Adicionalmente, la interfaz gráfica permite que el usuario seleccione no solo la duración de la captura, pero también la cantidad de intervalos que desea. Si se selecciona solo un intervalo, no se graficará una evolución temporal, sino que se representarán únicamente los porcentajes sin referencia temporal alguna. Para ambos casos es con esta información que se invoca Tshark, indicándole cuantos intervalos y de qué duración es cada uno. De esta forma Tshark guarda las capturas según se le indicó, creando un archivo por cada intervalo indicado.

5.2.3 Extracción de los campos de interés

Los porcentajes se calculan en base al tiempo, por lo que es importante determinar la duración de cada trama. Para esto se tienen en cuenta los encabezados de capa física y *Radiotap*. También interesa el encabezado MAC, debido que a partir de éste se extrae información que permite realizar clasificación en tipos de tráfico, en redes y en estaciones, entre otros parámetros.

Para poder obtener esta información primeramente se deben poder distinguir e interpretar los encabezados de las distintas capas, utilizando Tshark. Éste es el encargado de capturar, guardar las capturas, leerlas e interpretar su contenido. *Zorzal* invoca a Tshark para que este lea las capturas guardadas y luego las procese.

Una vez que Tshark lee e interpreta la captura, es guardada en una variable temporal para poder ser analizada por *Zorzal*. Este análisis es minucioso y consiste en ir reconociendo los comienzos y fines de cada trama, para luego identificar dentro de cada una de ellas, los campos de interés y extraer su contenido. Los campos se van recorriendo en el orden que aparecen en la pila de encabezados, comenzando por el de capa física. Si bien el encabezado del cual se extrae mayor cantidad de información es el encabezado MAC, *Zorzal* también extrae información de otros campos, en particular el encabezado de capa física, el de *Radiotap* y el de capa de transporte (TCP/UDP).

Toda la información extraída se va guardando en una estructura especialmente creada para tales efectos. Básicamente se crea una lista de objetos llamados tramas. El largo de la lista es justamente la cantidad de tramas contenida en la captura y cada objeto trama tendrá como atributo la información que se extrae de cada una de ellas. A continuación se expone la información recolectada de las tramas:

- MAC timestamp
- modulación (Data Rate)
- bit de retransmisión
- BSSID
- SSID
- receptor
- transmisor

- tipo de tráfico
- potencia de recepción
- tamaño de la trama
- preámbulo
- tiempo en el aire de la trama

Algunos de los atributos anteriores no están necesariamente contenidos en algún encabezado, sino que *Zorzal* extrayendo información de los campos, realizando cálculos y deduciendo información de cada trama logra ir completando los atributos faltantes antes mencionados.

Algunos de los atributos listados no se despliegan al usuario, sin embargo son extraídos de los encabezados debido a que son de gran utilidad para debuggear el algoritmo de extracción de parámetros. A continuación se detalla cómo se extrae y que significa cada uno de los atributos mencionados anteriormente:

- MAC timestamp

Esta información se extrae del encabezado *Radiotap*, siendo esta marca de tiempo una forma de reconocer la trama de forma única. Si bien esta información no se despliega al usuario, es de gran utilidad durante el proceso de debug, debido a que permite conocer con que trama en particular se está tratando.

- Modulación

La modulación que se está utilizando para transmitir la trama, también llamado Data Rate, se extrae del encabezado *Radiotap*. Esta información no sólo informa cuán rápido o lento se está transmitiendo la información, sino que combinado con el tamaño de la trama y la duración del encabezado de capa física, permite calcular el tiempo en el aire de cada trama.

- Retransmisión

Si una trama es retransmitida, se setea en *True* un bit del encabezado MAC utilizado para tales efectos. Esta información es de principal importancia para conocer cuán bien o mal se está comportando la red, si la información está llegando a destino rápidamente o si por el contrario dicha trama ha sufrido varias retransmisiones.

- BSSID

Esta información no está contenida en todas las tramas, pero puede ser deducida en caso de no estarlo. Como se mencionó en el *Capítulo 2*, el encabezado MAC de las tramas maneja un sistema de cuatro direcciones, donde dependiendo del tipo de trama, una de ellas corresponde al BSSID.

Algunos de los tipos de trama que no contienen esta información son: ACK, RTS y CTS. Estas son todas tramas de control que sólo interesan al receptor y por lo tanto no se les indica BSSID.

Para aquellas tramas que no contienen BSSID, se implementa un algoritmo que intenta deducirlo, y aunque esto no es siempre posible, en la mayoría de los casos se logra hacer. Este análisis se basa en seguir una serie de pasos e ir descartando quien es el BSSID. Primero se pregunta si el receptor o el transmisor es un AP (recordar que el BSSID en una red de infraestructura es la MAC del AP), en ese caso ya se sabe a que BSSID pertenece. Esto se hace comparando las direcciones que tiene la trama con la lista de BSSIDs creada en el paso de descubrimiento de redes. De esta forma se le asigna el BSSID a algunas de las tramas que no lo contienen, pero además se realizan algunas otras verificaciones para determinar el BSSID, las cuales se expondrán más adelante.

- SSID

Este campo sólo aparece en ciertos tipos de tramas: Beacon, Probe Request y Probe Response, que son justamente aquellas que promocionan la red. Como se mencionó anteriormente, el SSID se asocia al BSSID a partir de la lista de redes generada antes de comenzar la captura, en el paso de descubrimiento de redes.

Este atributo es de especial importancia para la lógica interna de la aplicación, no sólo porque a partir de él se identifica si la trama corresponde a tráfico Ceibal o no, sino que es también el atributo que internamente en la aplicación se utiliza para indicar si una trama es mesh. Se considera que una trama es mesh si cumple con alguna de las siguientes condiciones:

- Tiene encabezado mesh (esto ocurre con los datos mesh)
- Es un Beacon, Probe Response o Probe Request con SSID: olpc-mesh
- Es un Beacon con BSSID: 00:00:00:00:00:00 (se observó que este tipo de tramas son emitidas únicamente por las XO, se asume que es debido a su capacidad de hacer mesh)
- Es una trama Action de mesh management como lo son los Route Request y Route Reply (HWMP)
- Es una trama ACK que responde una trama mesh

Si una trama cumple con alguna de estas condiciones, entonces se seteará el atributo SSID como "olpc-mesh" lo que le indica a la aplicación que la trama en cuestión es mesh.

- Receptor

Dependiendo del tipo de trama los cuatro campos de direcciones pueden tener una combinación de los siguientes tipos de direcciones: RA (receiver address), DA (destination address), SA (source address), TA (transmitter address) y BSSID. Para *Zorzal* el atributo receptor hace referencia al receptor inalámbrico, es decir el RA, pero como no todas las tramas contienen esta dirección como tal, la aplicación implementa un algoritmo que permite identificar quien es el receptor inalámbrico de la trama.

Para las tramas que contienen la dirección RA en alguno de sus campos de direcciones, ya se tiene la dirección de receptor inalámbrico. Las que no contienen RA, suelen contener la siguiente combinación: DA, SA y BSSID. Este último es la MAC del AP y dependiendo del bit que esté encendido, To DS ó From DS, se determina si el DA coincide con el receptor o si el receptor inalámbrico es el AP. Si la trama va desde el sistema de distribución hacia una estación inalámbrica (From DS = '1'), entonces el receptor es el DA. Si la trama se inició en una estación inalámbrica y va hacia el sistema de distribución (To DS = '1') entonces el receptor es el AP.

Pueden existir otras combinaciones de estos cuatro tipos de direcciones pero las dos categorías descritas anteriormente son las más comunes; por un lado tener RA, y por el otro solamente tener SA, DA y BSSID.

- Transmisor

Este atributo presenta las mismas características que el atributo anterior en cuanto a que hay tramas que presentan TA y otras que presentan la misma combinación descrita anteriormente: SA, DA y BSSID. En este caso si el bit To DS = '1', entonces el transmisor coincide con el SA y en caso que From DS = '1', entonces el transmisor será el AP.

Pero además, en este caso se presenta otra dificultad, no todas las tramas tienen TA o SA, o sea que existen tramas que no tienen referencia alguna de quien las originó, sólo contienen información del receptor como es el caso de CTS y ACK. Estas tramas son respuesta a una trama Unicast generada anteriormente y como no requieren contestación no llevan información de quien las envía. Para estas tramas resulta muy complejo determinar quien las origina, y es sin duda el atributo transmisor, el más difícil de completar, pero es imprescindible si se desea separar tráfico por estaciones.

Si la trama actual es un ACK y la trama anterior es Unicast, entonces se cuestiona si el receptor de la trama actual es el transmisor de la trama anterior y en ese caso se asume que la trama actual es la respuesta de la anterior y se asigna el receptor de la trama anterior como el transmisor de la actual.

Para aquellas tramas que no contienen transmisor se pregunta si la trama es un CTS, en caso afirmativo, es posible que sea la respuesta a un RTS, por lo que si la trama anterior lo era y se cumple que el receptor de la trama actual es el transmisor de la trama anterior, no cabe duda que esta es la

respuesta y se asigna el receptor de la trama RTS anterior como el transmisor de esta trama CTS.

La separación en si la trama es o no un CTS y la anterior era un RTS, es importante por la existencia del mecanismo *CTS-for-self-protection*. Uno de los modelos de los APs de Ceibal implementa protección, por lo que antes de enviar tramas se envía un CTS a sí mismo para indicar que va a tomar el aire. Por lo tanto, si se está usando protección hay que tener en cuenta que el receptor es igual al transmisor, aún cuando la trama CTS no contenga esta última dirección. Esto constituye otra forma de identificar al transmisor.

Una vez que se cuenta con la dirección del transmisor y receptor de cada trama, y si uno de estos es la dirección del AP, se puede determinar finalmente el atributo BSSID.

- Tipo de tráfico

Todas las tramas 802.11 presentan en su encabezado un campo de tipo de tráfico (Type/Subtype). Este campo determinará el tipo de tráfico general (datos, control o management), y el tipo de tráfico específico (ACK, Beacon, Data, Probe Request, etc).

Este tipo de tráfico es a nivel de capa 2, pero *Zorzal* hace algunos cambios en esta estructura para incorporar otro tipo de información. Por ejemplo, las tramas de tipo Action son utilizadas por las XO para enviar información de gestión de la mesh correspondiente a la implementación del protocolo HWMP, por lo que *Zorzal* marca esas tramas como del tipo HWMP aunque este no sea un tipo de tráfico a nivel de capa 2.

Otro tipo de tráfico que tiene un tratamiento especial es el tráfico MDNS. El mismo es intercambiado por las XO como parte del protocolo Telepathy Salut, permitiendo así conocer a los vecinos y poder compartir actividades en una red mesh o en una red de infraestructura. Este tipo de tráfico es de datos a nivel de capa 2, pero como la red de Ceibal no utiliza encriptación, se puede observar que está ocurriendo en capas superiores y con la información del encabezado de capa 4 se puede observar si el tráfico es MDNS, indicando así que el tráfico de la trama en cuestión es de MDNS. Esto se hizo de esta forma por el especial interés de Ceibal de contabilizar el porcentaje de este tipo de tráfico dentro de la red.

- Potencia de recepción

El encabezado *Radiotap* brinda información que proporciona el driver de la tarjeta de red inalámbrica en *modo monitor*, dentro de la cual se encuentra el nivel de señal con el que se escuchan las tramas recibidas. Esto permite tener una idea de cuán bien o mal se está escuchando un cierto transmisor y permite hacerse una idea de si se podría o no estar perdiendo tráfico emitido por esa estación. Si por ejemplo el nivel de señal con el que se escucha cierta estación es muy bajo, es muy probable que por momentos esa estación sea oculta a la estación propia.

- Tamaño de la trama

El encabezado de capa física contiene la información sobre el largo de la trama en Bytes. Esta información en conjunto con la información de la velocidad de transmisión será utilizada para calcular el tiempo en el aire de las tramas.

- Preámbulo

El preámbulo de capa física CCK puede ser corto o largo, y dependiendo de esta duración, el tiempo que ocupe la trama en el aire será mayor o menor. Si bien esta distinción existe, no es muy común observar tramas con preámbulo corto, motivo por el cual no fue de primordial importancia incluirlo en el cálculo del tiempo en el aire de las tramas, y se dejó para una futura versión.

- Tiempo en el aire de la trama

La velocidad a la que se transmiten los datos es consecuencia de la capa física que se esté utilizando. Existen dos técnicas diferentes según la modulación:

- Para tasas de 1, 2, 5.5 y 11Mbps, las tramas serán transmitidas usando CCK
- Para tasas de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54Mbps, las tramas serán transmitidas usando OFDM

Dada esta diferencia, la forma en la que se calcula el tiempo en el aire también varía de la siguiente manera:

Dados:

- Tamaño de trama en Bytes: S
- Tasa de modulación en Mbps: R
- Tiempo en el aire (us): T

Para tramas transmitidas usando CCK:

$$T = 192 + (S*8)/R$$

192us = duración de preámbulo (144us) + duración del encabezado PLPC (48us)

Cabe notar que se está suponiendo que en todas las transmisiones se están usando los preámbulos largos.

Para tramas transmitidas a más de 11Mbps (OFDM):

$$T = 26 + (S*8)/R$$

$26\mu s = \text{Tiempo de extensión de señal (6}\mu s) + \text{Preámbulo (20}\mu s)$

Por más información consultar [15].

Con todos estos parámetros se busca obtener información estadística de la red, donde todos los porcentajes que se calculan sobre la red se hacen en base al tiempo en el aire, ya que este es el recurso a compartir.

5.2.4 Cálculo de porcentajes

Dada la gran cantidad de información que se obtiene de las tramas, como estrategia para entregarla al usuario, se buscó agruparla de forma que fuera mostrándose a medida que el usuario la requiriera, yendo de lo más general a lo más específico.

Para esto se construye una estructura de árbol (ver *Figura 5.2.4-1*) que permite ver con más detalle la información que se obtiene de las tramas. Este árbol se basa en la existencia de una red (AP de interés) para la cual se desea obtener mayor cantidad de información. A medida que se va avanzando en los niveles de detalle, se van calculando los porcentajes tomando como cien por ciento el total de las tramas del nivel correspondiente.

En un primer nivel se quiere dar un acercamiento al estado general del canal de interés, presentando el factor de carga.

En un segundo nivel se busca ver cuánto de todo el tráfico que ocupa el aire es tráfico perteneciente a redes Ceibal y cuanto es perteneciente a redes no Ceibal. Es importante destacar que se considera tráfico Ceibal a todo aquel tráfico que pertenezca a la red mesh y todo aquel cuyo SSID contenga alguna de las palabras claves de las redes ceibal: “ceibal”, “escuela” y “liceo”.

En un tercer nivel se distinguen todas las redes que están dentro del tráfico Ceibal, particularmente, lo que es tráfico mesh y lo que es tráfico perteneciente al AP de interés.

El tratamiento del nivel 4 en adelante es igual para ambos casos: red mesh y AP de interés. Se contabiliza el porcentaje de tiempo utilizado en retransmisiones en la red en cuestión, el porcentaje de tiempo que se destina a traficar cada tipo de tráfico general, es decir datos, management o control. Pero también se contabiliza el porcentaje de tiempo utilizado en traficar cada tipo de tráfico específico como ser cuanto tiempo corresponde a Beacons, Probe Request, Data, RTS, etc. Esto permite observar cuanto tiempo está siendo utilizado realmente para la transferencia de datos, y tomar medidas correctivas si éste es muy bajo. Además, se realiza un

conteo de cuantas tramas se transmiten a qué velocidad, esto permite observar cómo se están comportando los usuarios de la red, cuantas tramas se están cursando rápidamente y cuantas están siendo cursadas lentamente. Esto permite dar una idea de cuánto afectan estas últimas en la transferencia de datos a las primeras.

Por otro lado se contabilizan la cantidad de estaciones conectadas, así como el tiempo en el aire que utilizó cada una, y para cada una de ellas se realiza un desglose similar al que se realiza en el nivel anterior pero ahora a nivel de cada estación. Se considera tráfico perteneciente a cierta estación todas aquellas tramas cuyo transmisor es la estación que se está analizando y todas aquellas tramas Unicast que van dirigidas hacia él por parte del AP, en definitiva es todo el tráfico que se haya desencadenado debido a la estación en cuestión. El AP en sí no genera tráfico a no ser de control o management; sólo hace el traspaso con el sistema de distribución; por lo que quien genera el tráfico es la estación, por ejemplo, al descargar una página web.

Toda esta información permite extraer conclusiones sobre que estación está ocupando la mayoría del tiempo en el aire y cómo lo está haciendo. Por ejemplo, permite saber qué cantidad de tráfico de datos tiene cada estación y a qué modulación se están transmitiendo esas tramas. Adicionalmente, se brinda información sobre la cantidad de retransmisiones que está teniendo, lo que indicaría cuán exitosas están siendo las transferencias para esa estación.

Por último, también se brinda información sobre la potencia con la que se percibe a la estación en cuestión. Este dato es interesante porque si el nivel de señal con el que se ve a la estación es muy bajo, puede sospecharse que no se estén escuchando todas las tramas de esa estación; y por tanto los datos que se están recabando de la misma no sean tan confiables. Por este motivo, se contabiliza también la cantidad de estaciones ocultas. Cabe destacar que se considera que una estación es oculta si nunca se vio tráfico originado por la misma.

Por otro lado el tráfico de control o management generado por el AP para informar a todas las estaciones de alguna situación (por ejemplo cuando envía Beacons para promocionarse como red), no se cataloga como tráfico perteneciente al AP, sino que se clasifica bajo la categoría "Broadcast", lo mismo ocurre con las tramas Multicast. Dentro de la clasificación de estaciones en la estructura de árbol existen las categorías "Broadcast" y "Multicast", en las cuales se contabilizan las tramas originadas por el AP que van dirigidas a estas direcciones. El AP no es contabilizado como una estación más, de ahí la necesidad de crear estas categorías.

Sin embargo, existe un tipo particular de tramas generadas por la XO y dirigidas a Multicast, que aún cuando son reenviadas por el AP, la aplicación las considera tráfico de la estación que las origina. Estas son las tramas MDNS. Esto es consistente con el criterio de que el tráfico corresponde a la estación que desencadena el mismo.

Adicionalmente se creó una categoría “Indeterminado” para todas aquellas tramas a las cuales no se les haya podido determinar el transmisor o el BSSID. Como se mencionó anteriormente, hay tramas que no contienen toda esta información y la misma debe ser deducida, sin embargo esto no es siempre tan sencillo y de hecho se pueden perder tramas en la conversación, lo que hace que no sea posible deducir la información faltante. Puede ocurrir que se escuche un ACK pero no se haya escuchado la trama anterior a la que este ACK respondía, por lo que si el destinatario del ACK era el AP, no se podrá determinar quien lo envió.

Existen dos casos en que las tramas quedan con datos indeterminados: aquellas para las cuales se pudo determinar su BSSID y les falta el transmisor, y aquellas a las que no se les pudo determinar ninguno de los dos datos. Por eso se podrá observar que hay tiempo en el aire, dentro del nivel que diferencia entre tráfico Ceibal y no Ceibal al cual no se le pudo determinar la categoría correspondiente y se sumó en la categoría indeterminado. También hay tiempo en el aire dentro del AP de interés el cual no pudo ser asignado a ninguna estación en particular y se sumo a la categoría indeterminado dentro del AP de interés.

En esta etapa del análisis del estado del aire si bien la información ya ha sido extraída de las tramas y se dedujo otro tanto, ahora se cuenta con más datos, lo que permite deducir todavía más información para tratar de determinar algún atributo que no se haya podido completar aún. Por ejemplo, en esta etapa ya se ha creado una asociación que permite identificar qué estaciones están asociadas al AP de interés, por lo que es posible determinar para aquellas tramas que no tienen BSSID, conociendo a que estación corresponden, si pertenecen a la red de interés.

A continuación, se observa el esquema de la estructura de árbol anteriormente descrita.

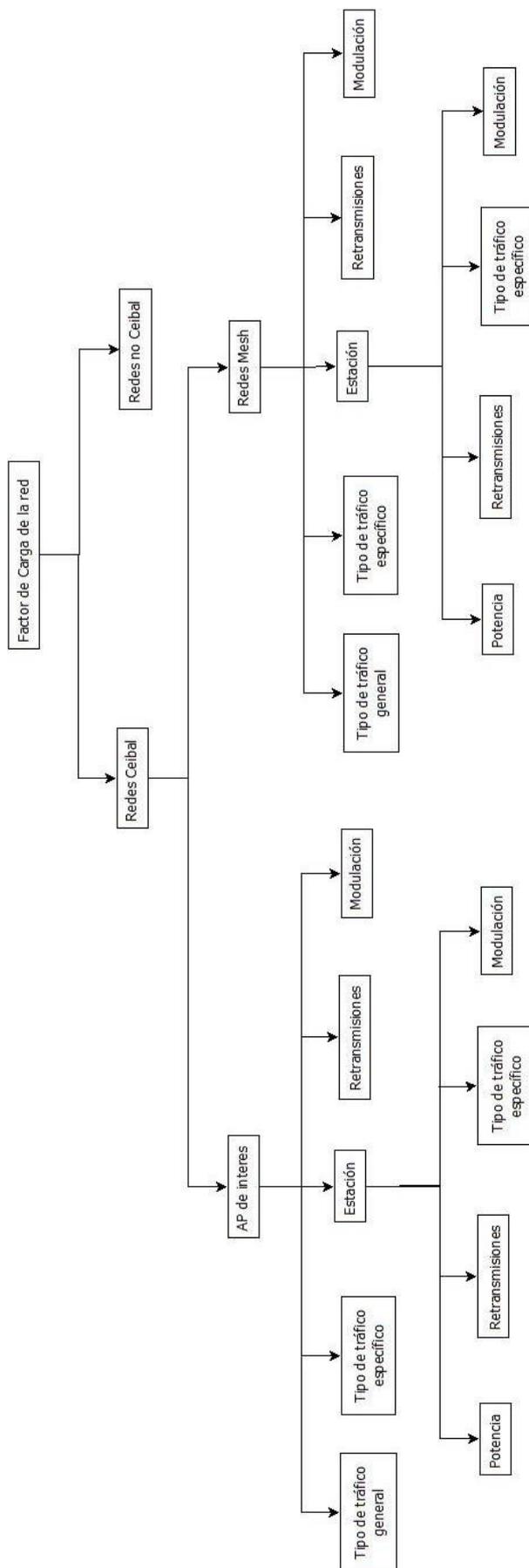


Fig 5.2.4-1: Niveles de análisis

5.2.5 Despliegue de resultados

La información que se extrae del estado del aire es mucha y puede ser abrumadora para el usuario, por lo que se optó por desplegar los datos siguiendo la estructura de árbol de la *Figura 5.2.4-1*. La idea es que el usuario pueda optar por el grado de detalle que quiera ver, motivo por el cual la interfaz gráfica contiene pestañas que van ampliando la información, si el usuario desea ver mayor detalle sólo tiene que presionar en la pestaña deseada.

A modo de desplegar los resultados de un modo amigable al usuario y que permita extraer conclusiones rápidamente, los datos se muestran en gráficas al estilo de barras expandidas. Se entiende que este formato es el más apropiado para representar porcentajes ya que permite ver como se reparte el cien por ciento del tiempo entre los involucrados, de forma gráfica y con una sola mirada.

En la *Figura 5.2.5-1* se observa una impresión de pantalla de lo que es el despliegue de datos del estado del aire, donde se observan las pestañas laterales que van mostrando cada uno de los resultados: Factor de carga, redes Ceibal vs No Ceibal, tráfico Ceibal, tráfico no Ceibal, medidas del AP de interés, estaciones bajo el AP de interés, tráfico mesh y estaciones mesh. En lo que son las pestañas superiores se despliegan las distintas medidas correspondientes al conjunto de medidas de cada pestaña lateral. En la *Figura 5.2.5-1* se observa que para el AP de interés tenemos medidas de tipos generales y específicos de tráfico, modulaciones, retransmisiones y estaciones.

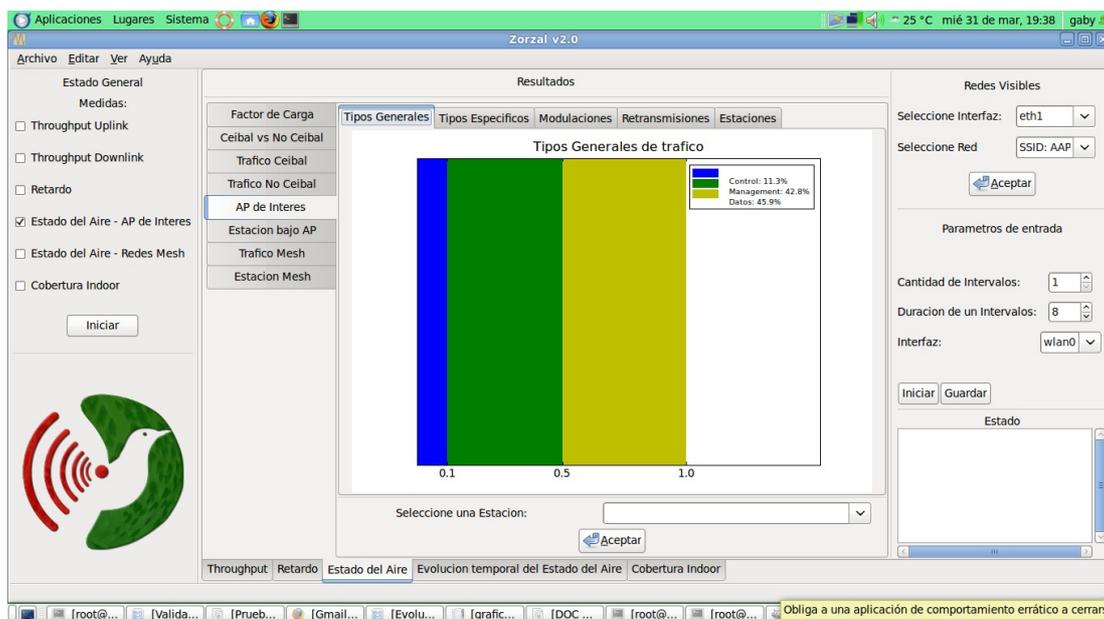


Fig 5.2.5-1: Despliegue de información del Estado del Aire

5.3 Hipótesis y consideraciones

MEDIDAS ESTADÍSTICAS:

Las medidas que se toman del estado del aire pretenden ser medidas estadísticas. Dada la variabilidad de las redes inalámbricas y su vulnerabilidad a interferencias, no parece razonable extraer conclusiones sobre el comportamiento de la red o de los usuarios con medidas instantáneas o que consideren períodos de tiempo muy cortos. Si lo que se busca estudiar es cómo interactúan las distintas redes y distintas estaciones, entonces el tiempo de estudio debe ser tal que permita registrar esta interacción. Por este motivo es que el tiempo de captura es un parámetro crucial a seleccionar por parte del usuario.

Se considera que una captura será representativa si sobrepasa los cientos de tramas. Esto, en una red no muy cargada comienza a ocurrir a partir de los dos o tres segundos, por lo que se sugiere al usuario que realice capturas de al menos tres segundos. Esta observación también es válida para cuando se está realizando una evolución temporal del estado del aire, ya que si bien lo que se desea observar en dicho caso es justamente la evolución de los parámetros en el tiempo, cada intervalo en sí también debe contener información relevante. De nada sirve si cada intervalo es muy pequeño y no se puede extraer información estadística de cada uno de ellos, ya que en ese caso se tendría una evolución de algo que en verdad no aporta información veraz. Por lo que al estudiar una evolución temporal también se sugiere al usuario elegir intervalos de al menos dos o tres segundos, para tener suficientes tramas como para poder obtener una estadística válida en cada intervalo.

REDES VISIBLES VS REDES OCULTAS:

El proceso por el cual se realiza el análisis del estado del aire se basa en el descubrimiento previo de las redes presentes. Esto se realiza de esta forma ya que como se mencionó, hay tramas que no tienen la información de BSSID, por lo que para esas tramas en particular se comparan las direcciones de las mismas contra las direcciones de las redes conocidas, para identificar si el transmisor o receptor es un AP. Si bien este escaneo previo de redes no es imprescindible, le aporta rapidez y sencillez a la aplicación, ya que de esta manera no es necesario esperar a escuchar un Beacon o un Probe Response para conocer quiénes son los APs presentes en el área. Sin embargo, esto trae una consecuencia importante en cuanto a las suposiciones que se realizan durante el análisis del estado del aire. Si se asume que la lista de redes visibles es aquella que se realiza previo a la

captura, y todas las redes presentes están en dicha lista, entonces se está asumiendo que no se crean ni se destruyen redes durante la captura.

Esto último no es necesariamente cierto en todos los casos, pero tampoco trae consecuencias tan serias como parece. Por un lado, es razonable pensar que no se van a crear ni destruir redes de infraestructura en los pocos segundos que demora la captura. Esta idea se refuerza con el hecho de que se asume que la estación que realiza las medidas permanece inmóvil, lo cual reduce las probabilidades de que las condiciones de radio cambien, por ende es difícil que se deje de ver alguna red. Por otro lado, el descubrimiento de redes realiza varios escaneos, por lo que en alguno de ellos debió haberse escuchado la contestación de los APs aún cuando la tarjeta de red haya esperado poco tiempo por la respuesta, ya que al hacerlo varias veces aumentan las chances de escuchar aunque sea un Beacon emitido por los APs.

Lo que sí podría ocurrir es tener una red oculta (caso en el que no se escucha el Beacon o el Probe Request correspondiente) al momento de realizar los escaneos (por ejemplo, porque se esté lejos del AP), pero que sí se escuche tráfico de estaciones que están asociadas a dicho AP. En estos casos lo que ocurre no es que la red no se contabilice como una red existente, de hecho la aplicación lo hará, sólo que habrán tramas que quedarán contabilizadas como tráfico indeterminado, en lugar de contabilizarse dentro de la red que corresponda. Lo que ocurre es que todas aquellas tramas que contengan BSSID se contabilizarán dentro de ese BSSID, aunque este no esté en la lista generada de redes visibles, pero las tramas que no tengan información de BSSID quedarán bajo la categoría "Indeterminado". Sin embargo este tráfico se considera poco significativo, debido a que habrán pocas, sino ninguna estación en esta situación, y porque todo lo que es tráfico de datos (que suele ser el más significativo en términos de tiempo en el aire) contiene BSSID. Es entonces razonable pensar que esta suposición no es sólo adecuada, sino que incluso de no cumplirse, sus consecuencias serían despreciables.

En el caso de las redes mesh, es más sencillo que estas se creen o se destruyan. Sin embargo como *Zorzal* no distingue entre las distintas redes mesh creadas, sino que simplemente distingue si es o no tráfico mesh; no es relevante si se crean o se destruyen redes mesh.

ESTACIONES OCULTAS:

Con respecto a las restricciones de capturar en *modo monitor*, es importante aclarar que pueden presentarse casos en los que no se escuchen todas las tramas. Se escuchan solo aquellas tramas recibidas con la suficiente intensidad como para superar la sensibilidad de la tarjeta. Es común tener estaciones ocultas, por ejemplo, cuando las estaciones se encuentran un poco más alejadas, fuera del alcance de radio de la estación propia, puede ocurrir que ésta última no escuche ambos sentidos de la conversación. Es usual que escuche el tráfico sólo en una dirección, es

decir, que escuche las tramas del AP dirigidas a la estación oculta y no las contestaciones de ésta al AP. Se dice que la estación es oculta a la estación propia ya que no se escucha su tráfico hacia el AP. En definitiva, en el caso de escuchar tráfico solamente desde el AP hacia una estación, es decir, en el caso de no haber encontrado tramas emitidas por esa estación, la aplicación asume que se está en presencia de una estación oculta.

Se ha considerado como estación oculta, a aquella que permanece en ese estado durante toda la captura. En principio alcanza con ver en la captura una trama en el sentido faltante, para que la estación pase a ser catalogada como estación vista. Sin embargo, sólo se contabilizan estaciones ocultas dentro de la red de interés, por lo que cualquier otra estación oculta que se encuentre en el canal que se analiza no será contabilizada como tal.

Como se mencionó anteriormente, podrían existir casos en los que algunas tramas no sean escuchadas, lo cual provocaría que las medidas fuesen poco confiables. Por este motivo es importante para la confiabilidad de los datos obtenidos, que la estación en donde se realizan las capturas pueda ver al AP con muy buena señal. De esta manera se logra capturar la mayor cantidad de tráfico posible que circula bajo la red. De todas formas, la aplicación realiza un conteo de todas aquellas estaciones que son ocultas, de manera de proporcionar un parámetro que exprese cuán confiables son las medidas realizadas.

REDES CON SSID OCULTO:

La clasificación del tráfico en las categorías Ceibal y no Ceibal se realiza a partir del SSID de las tramas capturadas. Ceibal no utiliza la modalidad SSID oculto, por lo que se asume que toda red que aparezca con SSID oculto es no Ceibal.

TRAMAS MESH:

Debido a la capacidad que tienen las XO de crear redes mesh, muestran un comportamiento diferente a la mayoría de las tarjetas de red de otros laptops, incluso cuando están en una red de infraestructura. Por este motivo se decidió incluir como tráfico mesh no sólo aquel que tenga un encabezado mesh, sino también aquel que sea consecuencia de este comportamiento diferente. Se considera que, debido a la capacidad de hacer mesh de las XO, estas envían Beacons, Probe Request y Probe Response con SSID "olpc-mesh", y Beacons con BSSID "00:00:00:00:00:00". Incluso aunque estas tramas no desencadenen la formación de una red mesh, las mismas se dan justamente por la capacidad de las XO de crearlas, y no ocurren con ninguna otra estación. Por estas razones se contabiliza como tráfico mesh todo aquel que contenga SSID "olpc-mesh" o BSSID "00:00:00:00:00:00".

TIEMPO OCIOSO VS TIEMPO MUERTO:

En cuanto al Factor de carga de la red, una consideración importante a tener en cuenta es que el tiempo no ocupado por tramas está repartido

entre lo que se puede denominar “tiempo ocioso” del canal, y los tiempos inherentes al protocolo, necesarios para su funcionamiento (por ejemplo ventanas de backoff y tiempos inter-tramas). La aplicación no hace ninguna estimación de los tiempos inherentes al protocolo.

ENCRIPCIÓN:

Al día de hoy la red de Ceibal no encripta sus datos. La aplicación asume esto último, en caso contrario no se podrá identificar tráfico a nivel de capas superiores, por ejemplo, MDNS.

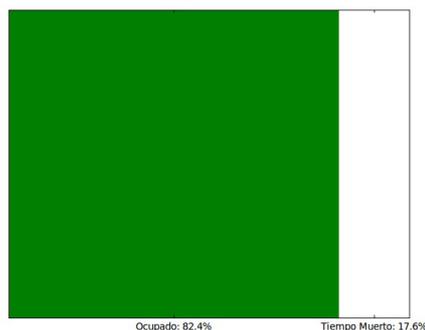
5.4 Pruebas realizadas y comentarios

A modo de ir testeando el módulo estado del aire se realizaron distintas pruebas. Se comparó la captura en sí con los resultados que se extraen del mismo, para evaluar su funcionamiento. Se calcularon los porcentajes a mano y se compararon con los que arroja el módulo.

Para las pruebas anteriores, se simulaban capturas que contuvieran los escenarios que se querían testear. Así se descubrieron varios casos no contemplados por la aplicación, y se fueron agregando condiciones en el código para poder contemplarlos. Fue de esta forma que se agregó por ejemplo, el caso de los APs que implementan protección.

Posteriormente, se realizó una prueba de laboratorio en una red doméstica, donde se testó la aplicación. La prueba consistió en la generación de tráfico (descargando archivos desde un servidor) por varias estaciones: tres XO y otras dos estaciones más. A continuación se presentan los resultados de la misma.

Fig 5.4-1: Factor de carga



El factor de carga alcanzado es consistente con el tráfico presente en la red (las estaciones estaban descargando un archivo muy grande), recordar que no es posible alcanzar un factor de carga del cien por ciento, ya que los tiempos inherentes al protocolo no están siendo contabilizados.

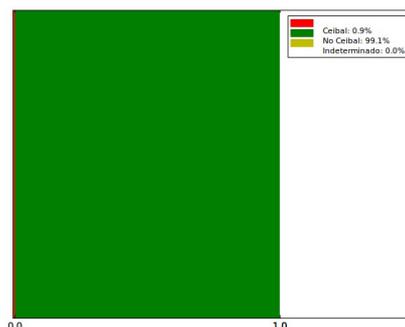
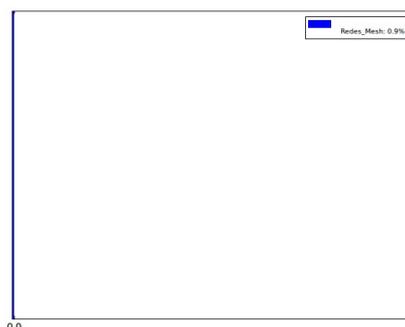


Fig 5.4-2: Porcentaje de redes Ceibal vs No Ceibal

Dado que la red doméstica no tiene un SSID con ninguna de las palabras clave (de forma que sea considerada Ceibal), es razonable que la gran mayoría del tráfico sea no Ceibal (99.1%). Lo que se observa como tráfico Ceibal, corresponde a tráfico mesh generado por las XO presentes, lo cual es confirmado con el desglose de tráfico Ceibal que realiza la propia aplicación (ver Figura 5.4-3). Por otro lado, se observa que la cantidad de redes indeterminadas es inexistente o menor a 0.1%, lo que permite concluir que efectivamente el método utilizado por Zorzal para deducir a que red pertenecen las tramas que no tienen BSSID, es exitoso.

Fig 5.4-3: Porcentaje de redes Ceibal



Como se observa en la *Figura 5.4-3*, todo el tráfico Ceibal es tráfico mesh; lo que es consistente con el hecho de que habían tres XO traficando en la red. Recordar que por la forma en la que se definió el tráfico mesh, puede existir tráfico aún sin haber una red mesh establecida.

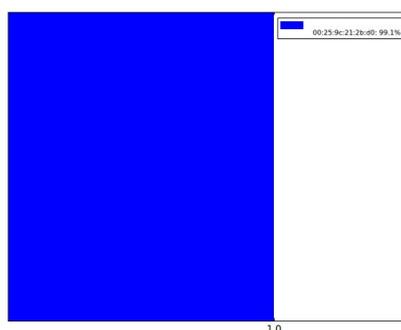


Fig 5.4-4: Porcentaje de redes no Ceibal

Todo el tráfico no Ceibal corresponde a la red del AP en cuestión (bajo el cual se estaba traficando), aparentemente no hay redes en el entorno dentro del mismo canal. Esto se pudo confirmar con la ejecución del comando *iwlist scanning*, en donde no se observó ninguna red en el mismo canal.

Dentro de lo que es el análisis del AP de interés, se presenta la información de los tipos de tráfico, las distintas modulaciones, tasa de retransmisiones y estaciones conectadas.

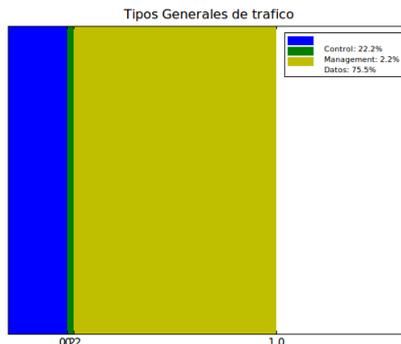


Fig 5.4-5: Tipos generales de tráfico

Con respecto a los tipos generales de tráfico, es razonable encontrar que la mayor parte del tráfico es de datos ya que justamente las estaciones descargaban información desde un servidor. Observando la *Figura 5.4-6*, donde se exponen los tipos específicos de tráfico, se puede observar que todo el tráfico de control (22.2%) corresponde a tráfico de acknowledgement. El tráfico de datos se corresponde con un 74.7%, el tráfico Null function (tramas utilizadas para power management) representa un 0.8%, y el tráfico MDNS es algo menor al 0.1%. El tráfico de management se encuentra dividido en Probe Response (0.7%), Probe Request (0.1%) y Beacon (1.4%).

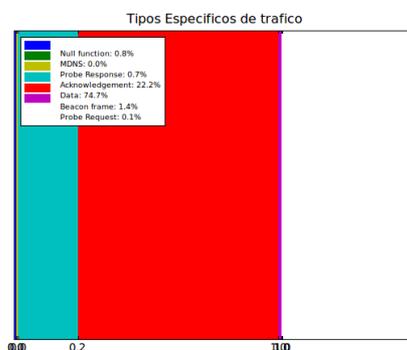


Fig 5.4-6: Tipos específicos de tráfico

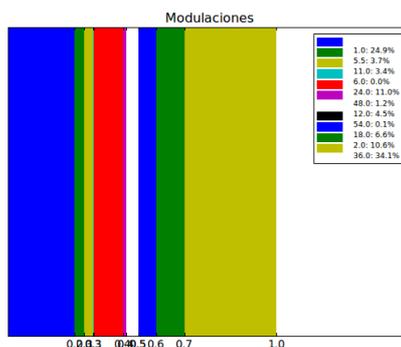


Fig 5.4-7: Modulaciones presentes en el medio

Con respecto a las modulaciones utilizadas por las estaciones conectadas, se observa que se utilizaron varias modulaciones, en su mayoría de 1Mbps y 34Mbps. Es de esperar que la modulación más utilizada haya sido de 34Mbps, ya que las estaciones se encontraban cerca del AP. Por otro lado, también fue sorprendente el haber encontrado tantas tramas modulando a 1Mbps, sin embargo, revisando la captura se observó muchas tramas de datos transmitidas a esta modulación.

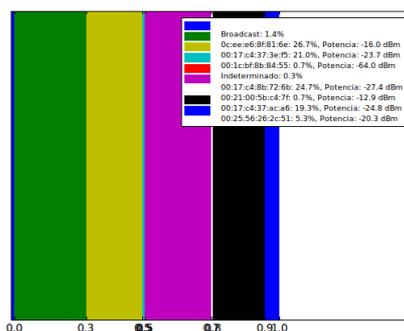


Fig 5.4-8: Estaciones conectadas

En cuanto al tiempo en el aire ocupado por cada estación se observa que el mismo está repartido mayormente entre las estaciones que participaron activamente en la prueba, correspondientes a las MACs en verde, ocre, violeta, negro y azul; lo cual era esperable. Pero además se observa tráfico de Broadcast correspondiente al 1.4%, el cual se corresponde justamente al 1.4% de Beacons que se observa en la gráfica de tipos específicos de tráfico (Figura 5.4-6).

Además la aplicación muestra una tasa de retransmisiones que se despliega como se muestra en la Figura 5.4-9. La tasa de retransmisiones parece alta, pero considerando que las estaciones están cargando la red en más de un 80%, es de esperar que hayan ocurrido muchas colisiones y por lo tanto se hayan tenido que retransmitir unas cuantas tramas.



Fig 5.4-9: Retransmisiones

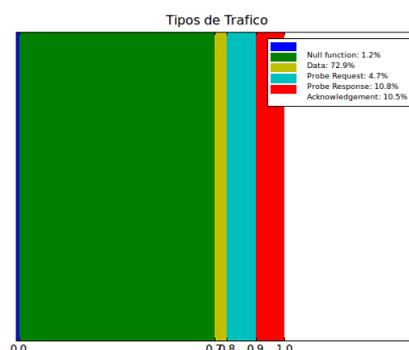


Fig 5.4-10: Tipos de tráfico para una estación

La aplicación también realiza un análisis de tráfico para cada estación, en este caso, es consistente que la estación analizada presente en su mayoría tráfico de datos por la actividad que se encontraba realizando (ver *Figura 5.4-10*).

En cuanto al análisis que realiza la aplicación sobre modulaciones y retransmisiones para la estación seleccionada, los gráficos correspondientes presentan las mismas características que los de las *Figuras 5.4-7* y *5.4-9*.

Con respecto al tráfico mesh, si se observan los tipos generales de tráfico se puede ver que no hay tráfico de datos mesh, sino que todo es tráfico de control y management. Esto es consistente con el hecho de que las tres XO que participaron en la prueba, se encontraban descargando archivos de un servidor y no realizando intercambios mesh entre ellas. Sin embargo, hay tráfico mesh de todas formas debido a los Beacons con BSSID "00:00:00:00:00:00", y debido a los Probe Request y Probe Response con SSID "olpc-mesh".

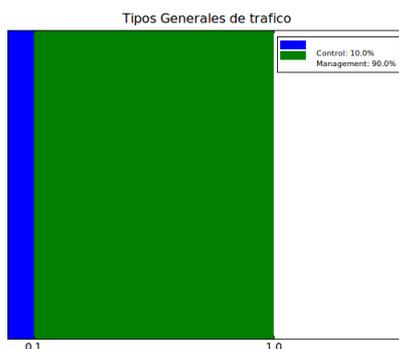


Fig 5.4-11: Tipos generales de tráfico mesh

De la *Figura 5.4-12*, se observa que el tráfico de management está constituido por tramas de tipo Beacon (47.4%) y Probe Response (42.6%). El tráfico de control está formado en su totalidad por tramas ACK, las cuales son respuesta a los Probe Response.

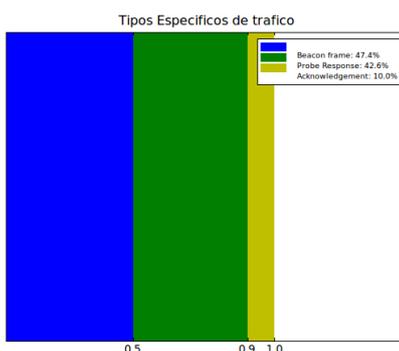


Fig 5.4-12: Tipos específicos de tráfico mesh

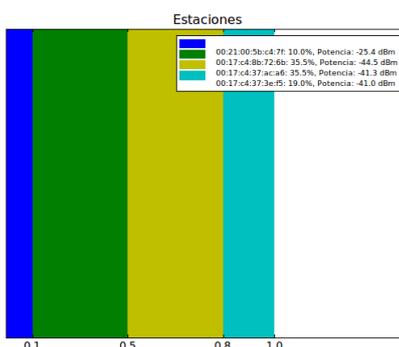


Fig 5.4-13: Estaciones conectadas a la red mesh

Las estaciones identificadas por *Zorzal* como mesh, corresponden a las tres XO partícipes de la red. Sin embargo, aparece otra estación que ocupa un 10% de todo el tráfico mesh, esto corresponde a los ACKs que envió para

responder a los Probe Response de las XO, como se pudo apreciar en la captura.

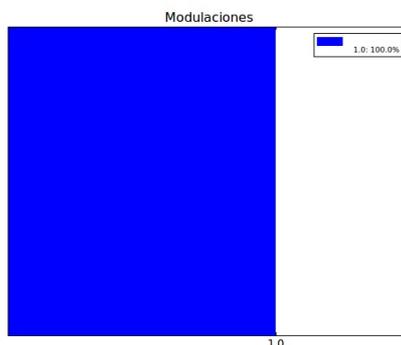


Fig 5.4-14: Modulaciones en la red mesh

Algo interesante que ocurre con el tráfico mesh es que se presenta en su totalidad modulado a 1Mbps. Esto se debe a que como se mencionó anteriormente, todo el tráfico se corresponde con Beacon, Probe Response y Acknowledgement, los cuales son modulados a la tasa más baja posible, de modo de promocionar la red mesh de forma eficiente.

Se realizó una prueba de evolución temporal para poder observar como comparten el aire las distintas estaciones a lo largo del tiempo. En dicho análisis intervinieron tres XO y otras cuatro laptops de la red. La duración total de la prueba fue de 900 segundos, dividida en 90 intervalos de 10 segundos cada uno. Dentro de cada intervalo se capturaron en promedio, alrededor de 5000 tramas, un valor más que razonable para poder obtener estadísticas de cada uno de ellos. Cabe destacar que la evolución del factor de carga para esta prueba estuvo siempre por debajo del 80%. En la *Figura 5.4-15* se observan las estaciones compartiendo el medio. Además de las tres XO y las otras cuatro laptops, hay tráfico catalogado como de Broadcast, y dos direcciones Multicast (aquellas que comienzan con "01:00:5E"). Como era de esperar, el tráfico indeterminado es poco durante todo el intervalo de captura.

De las estaciones que estaban realizando mayor cantidad de tráfico, hay una de ellas, la que aparece en verde que al principio se encontraba asociada a la red pero sin traficar, luego se la pone a descargar archivos que van desde unos pocos kB y llegan a archivos de alrededor de 20 MB. Se observa que la misma parece al principio ir descargando con lo poco del medio que le ceden los demás usuarios de la red, pero en un momento determinado, justo después de los 600 segundos, hay un incremento brusco en el tiempo en el aire que ocupa la estación en cuestión, pero luego vuelve a estabilizarse el tiempo en el aire que dicha estación ocupa. Este comportamiento es inesperado y no parece ser del todo claro porque se da,

ya que las demás estaciones parecen repartirse el tiempo de forma más o menos equitativa. Es importante destacar que las demás estaciones (tres XO y otra laptop) se encontraban descargando un archivo muy grande del servidor desde un buen tiempo para atrás por lo que se podría asumir que las mismas habían llegado a algún tipo de régimen, luego la estación que aparece en verde interrumpe el régimen tratando de acceder al medio.

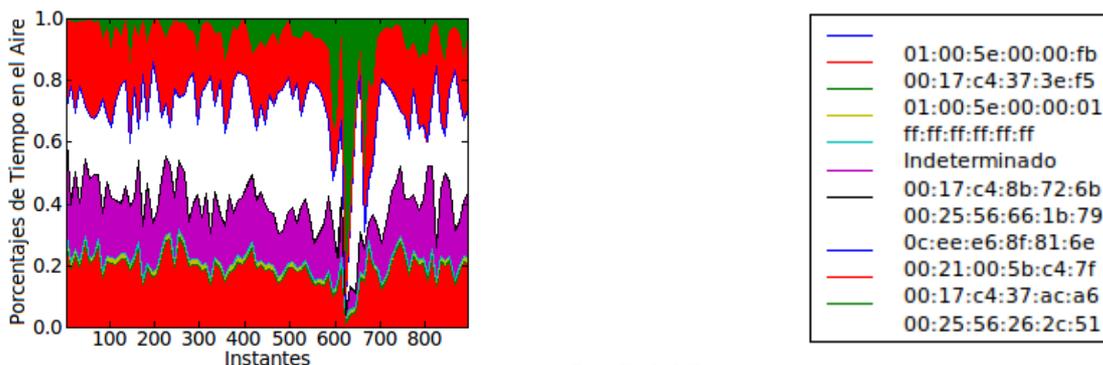


Fig 5.4-15:

Porcentaje de tiempo en el aire de las estaciones presentes en el medio

La aplicación se comportó de forma esperada ante las pruebas realizadas, calculó un factor de carga acorde, logró clasificar el tráfico de forma razonable y contabilizó todas las estaciones presentes en la red. En cuanto a la evolución temporal de los parámetros, los resultados se muestran de forma satisfactoria. En particular permitió observar cómo se reparten el tiempo las estaciones y que ocurrió cuando una nueva estación irrumpió el medio.

Se considera que la aplicación cumple con los objetivos planteados para el estado del aire. En particular, la misma permite conocer cuánto tiempo del aire se está utilizando realmente para traficar y cuanto de este tiempo corresponde a tráfico de la red que se desea analizar. Permitted analizar qué modulación se estaba utilizando principalmente, lo que permite extraer conclusiones sobre si los usuarios están modulando de forma eficiente. Pero como además la interfaz presenta un análisis para cada estación, se podría ver también cuál es la estación que está teniendo menores modulaciones y por lo tanto está limitando la velocidad del resto de los usuarios. Por otro lado, el hecho de poder clasificar tráfico permite que el usuario evalúe qué tipo de tráfico está siendo predominante, una red con poco tráfico de datos y mucho de otro tipo de tráfico no ofrecerá a los usuarios el mejor escenario.

El tipo de análisis que realiza Zorzal sobre el estado del aire es muy completo y permite, en primer lugar poder analizar escenarios donde la red no se está comportando de forma deseada, extraer conclusiones sobre el

problema que se presenta y poder con esa información plantear soluciones. En segundo lugar permite testear la solución armando un escenario de laboratorio. También sirve como herramienta de investigación si se desea analizar aspectos del funcionamiento de la red mesh o de 802.11.

La cantidad de información extraída por la aplicación es mucha, pero se considera que la forma en que *Zorzal* la despliega hace a su mayor comprensión. No sólo por la forma en que se grafica, sino también porque el formato de pestañas permite al usuario irse moviendo dentro de la estructura de datos sin perder referencia de lo que se está observando.

6 Medida de Throughput

6.1 Introducción

Dentro de los objetivos propuestos al crear *Zorzal*, se incluyó que la aplicación fuese capaz de retornar alguna medida del throughput disponible a los terminales conectados a la red Ceibal.

Zorzal apunta a ser una herramienta para evaluar el desempeño de la red en su tramo wireless. Por lo tanto, la medida que realiza la aplicación es indicadora del throughput que una XO puede obtener de la red, en ese tramo. Por este motivo la aplicación no pretende indicar la tasa de transferencia de archivos de alguna red externa, como por ejemplo Internet. En este sentido la medida reportada por *Zorzal* representará una transferencia en Internet, si la limitante de la transferencia está dada en el tramo wireless de la red.

Una aclaración importante es que la estimación que realiza *Zorzal* corresponde al throughput TCP.

Dado que se desea estimar throughput máximo, el método de medición que se implementa en *Zorzal* es invasivo, en cuanto a que para realizar la medida se consideró necesario inyectar tráfico en la red.

Una vez se concluyó que la medida invasiva era la que se utilizaría para medir throughput, se pasó a investigar de qué manera podría ser llevada a cabo. La idea original de inyectar tráfico implicaba la transferencia de un archivo de tamaño conocido y el cálculo del tiempo que tomaba hacerlo. De esta manera, se calcularía el throughput como el cociente entre el tamaño del archivo y el tiempo necesario para su transferencia. *Zorzal* permite realizar medidas de throughput downlink (desde el servidor de la escuela hacia la estación en la cual se realizan las medidas) así como de throughput uplink (desde la estación en la cual se realizan las medidas y hacia el servidor de la escuela).

Posteriormente se debió evaluar qué métodos podrían ser implementados para realizar la transferencia en cuestión. Distintas opciones fueron tenidas en cuenta y luego descartadas, debido a algunas desventajas e impedimentos. En un principio se consideró la herramienta IPERF, sin embargo, se ha podido constatar en más de una ocasión la inestabilidad inherente que presenta. IPERF se vuelve inestable si la conexión es mala, por lo que fue dejada a un lado. Además, implicaría instalar una aplicación en el servidor Ceibal, lo cual se desea evitar. Una segunda alternativa fue FTP, la cual es la típica herramienta utilizada para transferir archivos entre

dos hosts remotos. Sin embargo, fue descartada casi automáticamente debido a que por razones de seguridad no se cuenta con servidores FTP en los servidores de las escuelas del Plan Ceibal. Por lo tanto, debido a que por parte del cliente se desea tener la mayor seguridad posible, se optó por la opción de conectarse al servidor de la escuela mediante SSH y realizar la transferencia de archivos mediante SCP.

A continuación se exponen los principales fundamentos teóricos de SSH y SCP, para poder comprender las ventajas y la seguridad que aportan.

6.2 Fundamentos teóricos

6.2.1 SSH - Secure Shell

Es un protocolo que permite conectar dos hosts a través de una red, ejecutar comandos de manera remota y mover archivos entre los mismos. Proporciona comunicaciones seguras sobre canales no seguros, ya que SSH nunca envía texto plano, sino que la información transmitida siempre es cifrada.

Se compone de un servidor y de un cliente, siendo la conexión siempre iniciada por este último. El primero está escuchando en un puerto determinado, esperando la conexión, y puede atender a varios clientes. Al aceptarla, el servidor envía su identificación de versión, a lo que el cliente responde enviando la suya. Esta información no se envía cifrada y es legible. En el caso de que uno de los dos lados no aceptara esta información, la conexión es cerrada.

6.2.2 SCP - Secure Copy

SCP permite la copia de archivos entre dos hosts a través de una red. Utiliza SSH para la transferencia de datos, con la misma autenticación y provee la misma seguridad que SSH.

6.3 Implementación

Una vez se definió que se deseaba medir throughput máximo y que se deseaba traficar hasta lograr la mayor tasa de transferencia posible, se debió definir el método. En este caso, luego de una serie de pruebas transfiriendo archivos de distinto tamaño (Ver *sección 6.5.1*), se llegó a la conclusión de que se debían traficar archivos de al menos decenas de mega bytes, para lograr un throughput constante (hecho que verifica que ya no es posible traficar a mayor velocidad).

Sabiendo el rango de tamaño de archivos que debía usarse, se optó por transferir varios archivos en lugar de uno sólo de gran tamaño. Esto se debe a que se busca independizarse de las variaciones en los resultados de cada transferencia. Estas pequeñas variaciones son indicadores de cuán estable es el throughput que se obtiene. Se eligieron cuatro archivos de tamaño creciente (20MB, 40MB, 60MB, 80MB) para ser transferidos en ese orden. Para calcular la media del throughput se grafican los valores de tamaño de archivo en función del tiempo de transferencia y se hace un ajuste de estos valores a una recta por mínimos cuadrados. La pendiente de esta recta es el throughput reportado por la aplicación.

Este método presenta una ventaja interesante a la hora de reportar el throughput. Le ofrece al usuario no sólo un valor medio de throughput, sino que también le ofrece un indicador de la dispersión de las medidas, al retornar también el error obtenido de aproximar los puntos por una recta con el método de mínimos cuadrados. Por otro lado como se verá en las pruebas que se presentan en la *Sección 6.5*, el tamaño de archivo a partir del cual el throughput se mantiene aproximadamente constante es variable. Esto se debe principalmente a cambios en el estado de la red, es decir, el ingreso o egreso de nuevos usuarios a la red, o el cambio en las condiciones de radio, o que algún usuario cambie su comportamiento. Todos estos factores pueden modificar el throughput que se pueda obtener de la red. Sin embargo, se asume que la red en la que se realiza la medida no presenta grandes cambios de estado durante las transferencias. Esta suposición es avalada por el hecho de que si bien no se puede predecir el comportamiento de una red inalámbrica, si la cantidad de usuarios es grande, pequeños cambios en el comportamiento de los mismos, no determinan grandes cambios en el estado de la red.

Es importante destacar que esta medida transfiere archivos grandes y por lo tanto el tiempo durante el cual se realiza la medida no es pequeño, llegando a estar en el orden de los minutos. Esto genera que durante el tiempo que se realiza la transferencia, las condiciones de la red pueden cambiar, pero como el tiempo que se demora en tomar la medida no es despreciable, las pequeñas variaciones que haya en la red quedarán suavizadas por realizar la medida durante un tiempo mucho mayor al que dura la variación. Sin embargo si la variación ocurre en algún momento de la transferencia pero

se extiende en el tiempo, la misma quedará reflejada en el resultado de la medición, particularmente en el error cuadrático medio relativo (ECMR) que devuelve la medida. Es por este motivo que se informa al usuario de esta dispersión de los valores y se realizan cuatro transferencias de archivos y no una sola. Adicionalmente, *Zorzal* despliega al usuario la gráfica de los tamaños de los archivos en función del tiempo de transferencia por lo que este apartamiento de los puntos puede observarse también gráficamente.

Volviendo al método de cálculo de throughput, una vez transferidos los cuatro archivos, *Zorzal* despliega en pantalla los resultados junto con una gráfica como la que se expone a continuación:

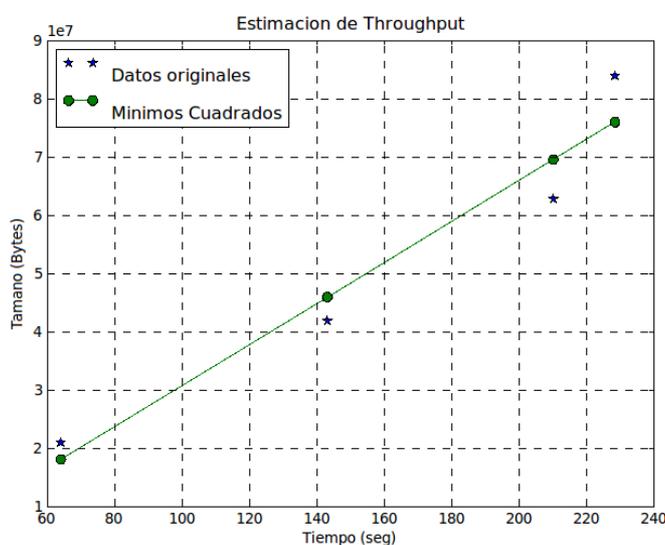


Fig 6.3.1-1: Estimación de Throughput

- Throughput uplink: 2.69Mbps
- ECMR: 11.4%

Los puntos azules corresponden a los datos originales, mientras que la recta es la que mejor los aproxima. El throughput es calculado como la pendiente de la recta de la figura anterior.

En el eje y se muestran los tamaños (conocidos) de los archivos, y en el eje x el tiempo que demoró cada transferencia. Dicho tiempo es extraído del log que guarda SCP, donde se indica explícitamente cuantos segundos fueron necesarios para transmitir cada archivo.

Cabe notar que se eligieron cuatro archivos de modo de tener una cantidad razonable de puntos para construir una recta, pero no tan grande como para que el tiempo que se demore en realizar la medida, sea demasiado grande.

6.4 Hipótesis y consideraciones

Las siguientes son hipótesis asumidas a lo largo del desarrollo de *Zorzal*:

- Para el cálculo del throughput máximo se asume que los archivos son lo suficientemente grandes como para tener un valor de throughput constante. También se asume que la red es tal que pequeños cambios en el comportamiento de los usuarios no implican grandes cambios de estado. Esto sucede cuando la red presenta cierta estacionaridad, lo que ocurre por ejemplo en una red con muchos usuarios. De lo contrario, se puede contar con una medida de cuan fuera de las condiciones de estacionaridad se está: el error cuadrático medio relativo (ECMR).
- Todos los servidores de las escuelas de Ceibal (hosts contra los que se realiza la transferencia de archivos) cuentan con un servidor SSH, al cual se le accede desde la WLAN con un usuario y contraseña.

6.5 Pruebas realizadas

6.5.1 Tamaño de los archivos

Estas pruebas tuvieron como objetivo estimar el orden de los tamaños de archivo a utilizar en la implementación de la medida de throughput, e identificar si existe algún tipo de relación con el factor de carga de la red. Para lo primero, se busca identificar un valor umbral de tamaño de archivo a partir del cual el throughput se mantenga constante.

ESCENARIO DE PRUEBAS

Se armó una WLAN con un router doméstico, un servidor y las siguientes estaciones conectadas:

- 3 XO traficando
- 2 laptops traficando
- estación propia (la que realiza la transferencia de archivos para la prueba)

La forma en que se realizaron las mediciones fue la siguiente: las tres XO junto a las dos laptops fueron las primeras en comenzar a traficar, luego se esperó un tiempo arbitrario pero suficiente como para que la red se haya estabilizado, para comenzar a medir el factor de carga (correr el caso de uso Estado del Aire). Posteriormente la estación propia comenzó a traficar, es decir comenzó a transferir al servidor los archivos específicos para realizar lo que se denominó: prueba de estabilidad de throughput.

Se realizaron dos instancias de prueba, teniendo un factor de carga superior al 60% en ambos casos. Los resultados fueron los siguientes.

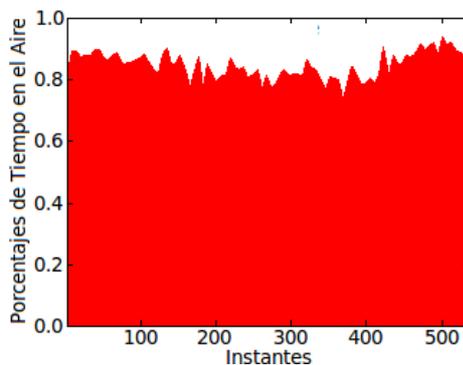


Fig 6.5.1-1: Prueba I - Factor de carga de la red

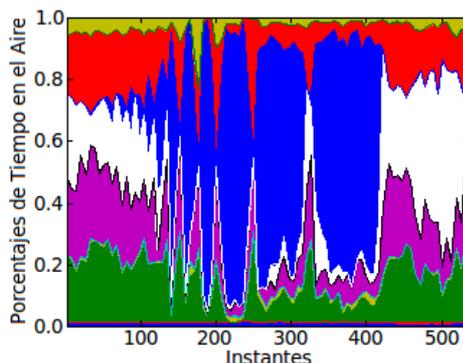


Fig 6.5.1-2: Prueba I - Estaciones que ocupan el medio durante el intervalo de medición

Es importante aclarar que en la *Figura 6.5.1-2* la cantidad de estaciones es mayor al número de hosts que forman parte del escenario de pruebas, esto se debe a que esta gráfica es obtenida como resultado de correr el caso de uso Estado del Aire, el cual se realiza con una tarjeta de red operando en modo monitor, por lo que se ven todas las estaciones presentes en el medio. En la *Figura 6.5.1-2* la estación en azul corresponde a la estación propia, quien se encontraba traficando los archivos específicos para realizar la prueba de estabilidad de throughput.

Desde la estación propia se transfirieron de forma consecutiva una serie de archivos de los siguientes tamaños: 20kB, 50kB, 100kB, 256kB, 512kB, 768kB, 1MB, 1.3MB, 2.5MB, 5MB, 10MB, 15MB, 20MB, 40MB, 60MB, 80MB. Se graficó la evolución en el tiempo del throughput obtenido para cada uno de los archivos, cada punto representa una transferencia. Se obtuvieron los siguientes resultados.

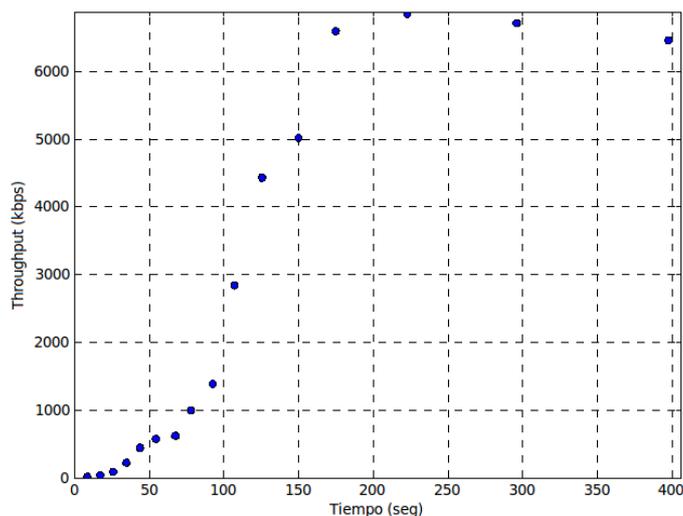


Fig 6.5.1-3:

Prueba I - Estabilidad Throughput

De la curva anterior se puede observar que el throughput se torna estable dentro de un rango desde 6000kbps hasta 7000kbps, siendo 20MB el tamaño de archivo a partir del cual el throughput es constante.

En una segunda instancia de pruebas, el factor de carga continuaba siendo mayor a 60%, la diferencia es que en esta nueva instancia la estación propia o medidora fue otra y había una laptop menos traficando. Se hubiese esperado que al ser el factor de carga del mismo orden que la instancia anterior, el resultado del throughput y el umbral del tamaño de archivos fuese el mismo. Sin embargo, esto no fue lo que ocurrió. A continuación se exponen los resultados.

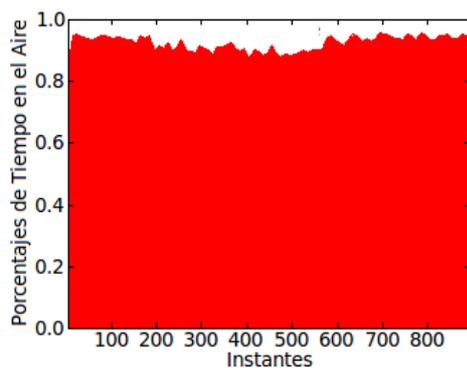


Fig 6.5.1-4: Prueba II - Factor de carga de la red

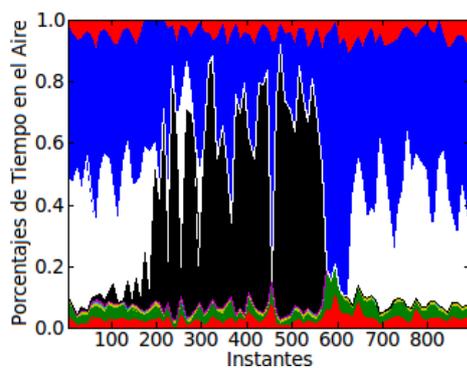


Fig 6.5.1-5: Prueba II - Estaciones que ocupan el medio durante el intervalo de medición

En la *Figura 6.5.1-5* la estación en negro corresponde a la estación propia, quien se encontraba traficanando los archivos específicos del throughput.

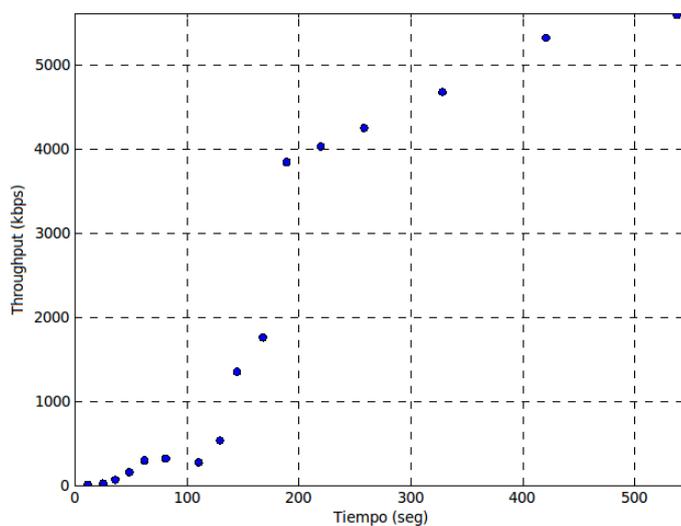


Fig 6.5.1-6: Prueba II - Estabilidad Throughput

De la curva anterior se puede observar que el throughput se torna estable dentro de un rango desde 4000kbps hasta 5500kbps, siendo 10MB el tamaño de archivo a partir del cual el throughput es constante.

De las dos instancias de pruebas anteriores se concluye que los tamaños de los archivos elegidos para la medida de throughput son apropiados. En ambos casos el umbral detectado estuvo por debajo del mínimo tamaño de archivo elegido (20MB).

Las diferencias observadas en los umbrales obtenidos en las pruebas anteriores, permiten concluir que no hay relación entre el tamaño de los archivos utilizados y el factor de carga. En un principio también podría concluirse que el umbral depende de quienes y cuantas sean las estaciones que están traficando.

Por cómo se llevaron a cabo las pruebas: primero las XO y las laptops traficando, y luego recién interviene la estación medidora de estabilidad throughput (la cual también introduce tráfico a la red), se observa que la XO parece ceder el medio frente a algunas laptops (con distinta tarjeta de red). Esto ocurrió en ambas instancias de las pruebas y llamó mucho la atención. Como consecuencia de este comportamiento observado, se consideró importante realizar otra prueba que permitiera seguir evaluando esta situación. Esto introduce la prueba que se expone a continuación.

6.5.2 Comparación XO vs Radio Mesh vs otras tarjetas

Esta prueba consiste en determinar cómo se reparte el medio según quienes sean las estaciones que compiten por él. En este caso, no hubo transferencia de archivos con el objetivo de medir throughput, sino que solamente se pusieron a traficar las estaciones. El escenario de pruebas consistió en:

- 1 XO traficando
- 1 laptop traficando (aquella que ocupa la mayor parte del aire en la *Figura 6.5.1-2*)
- 1 laptop traficando con la radio mesh o Active Antenna (en lugar de su tarjeta propia)

Estas tres estaciones realizan la descarga de un mismo archivo en el servidor. Los resultados del Estado del Aire fueron los siguientes.

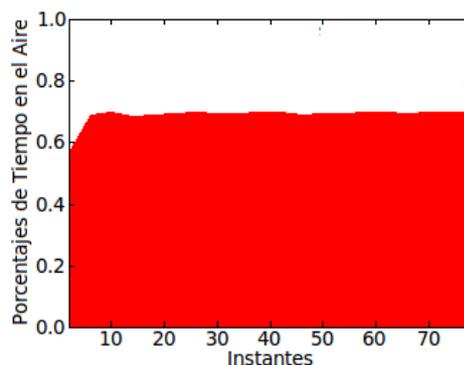


Fig 6.5.2-1: Prueba III - Factor de carga de la red

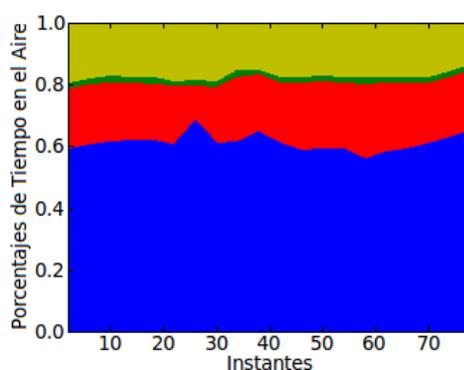


Fig 6.5.2-2: Prueba III - Estaciones que ocupan el medio durante el intervalo de medición

En la *Figura 6.5.2-2*, el color azul corresponde a la estación que tiende a ocupar en mayor proporción el aire en las pruebas anteriores. El color rojo corresponde a la estación que trafica con la radio mesh, mientras que el ocre corresponde al XO.

Al ser la radio mesh muy similar a las tarjetas de red que poseen las XO, como se puede constatar en las figuras anteriores, resulta razonable querer utilizarla para las mediciones de throughput de *Zorzal*.

6.5.3 Conclusiones

- El tamaño de los archivos elegidos para la medición del throughput es apropiado.

- El umbral a partir del cual el throughput se mantiene constante a la hora de medir el máximo que se puede obtener de la red, no depende únicamente del factor de carga.
- La estimación de throughput implementada por *Zorzal*, debe ser realizada con la tarjeta de red Active Antenna, siendo éste un requerimiento de la aplicación. De esta manera las estaciones se reparten el medio de una forma mucho más equitativa, evitando que una de ellas se apodere del medio, lo cual lleva a que el throughput reportado no sea el que experimenta una XO, sino mucho más alto.

7 Medida de Cobertura Indoor

7.1 Introducción

Una de las inquietudes planteadas por el Plan Ceibal al comienzo de este proyecto, fue la de poder incluir en la aplicación la posibilidad de que ésta permita conocer una medida de la cobertura de los APs dentro de un local (nivel de señal indoor).

A modo de corroborar el éxito de los diseños de cobertura realizados, periódicamente los técnicos de Ceibal realizan relevamientos de cobertura tanto para los diseños indoor, como para los diseños outdoor. El objetivo de estos relevamientos es estudiar las posibilidades de conexión que experimentaría una XO presente en el lugar de interés.

Al día de hoy el Plan Ceibal cuenta con dos herramientas distintas para medir nivel de señal (o cobertura) según sea outdoor o indoor. Se cuenta con la aplicación llamada *Yacaré* que ha sistematizado los relevamientos de cobertura outdoor y que realiza el georeferenciamiento mediante el uso de un GPS. En cuanto a los relevamientos indoor, los técnicos disponen de un script que realiza los escaneos activos para detectar redes, determina si son o no Ceibal y promedia con el mejor valor. En este caso el espacio-referenciamiento se hace de forma manual, es decir, cada vez que se realiza una medición en un local de interés, se marca en un plano en papel de la escuela el salón donde se están tomando las medidas.

Zorzal sistematiza el relevamiento de nivel de señal indoor, permitiendo al usuario que cargue un plano digital del local de interés, de forma que a medida que éste se recorre, el valor obtenido de nivel de señal sea guardado y referenciado al mencionado plano. Para realizar esta referencia el usuario deberá marcar mediante un click en el plano del local, el punto donde se encuentra.

Cabe notar que hay muchas formas de medir cobertura de un AP, en el sentido de que hay varias medidas que son indicadoras de “cuán bien se ve al AP”. Una es el nivel de señal con que se detecta al AP, aunque esta medida podría considerarse incompleta sin una medida del nivel de ruido que interfiere. Bajo este criterio, una medida más completa sería la SNR (Relación Señal/Ruido). Finalmente otro indicador posible, es la calidad de la señal percibida. Particularmente esta es la medida utilizada por *Yacaré* para analizar la cobertura outdoor de los APs, ya que no sólo tiene en cuenta el nivel de señal, y el de ruido, sino que también otros factores indicadores de cuán bien está funcionando la conexión. Por esta razón se decidió utilizar la calidad como indicador de la medida de cobertura indoor.

7.2 Wireless Tools de Linux

Para realizar las medidas de cobertura, la aplicación hace uso de una de las *Wireless Tools* de Linux: *iwlist*.

Las *Wireless Tools* son un conjunto de herramientas para Linux destinadas a asistir y facilitar la configuración de dispositivos inalámbricos que operan en el sistema. Este paquete viene incorporado en cualquier distribución de Linux.

Particularmente para esta aplicación resultaron de interés, los comandos *iwconfig* e *iwlist*, dado que ambos devuelven una medida del nivel de señal con que se ve a los APs que conforman la red. Sin embargo, son comandos que realizan acciones muy distintas. Esas diferencias, como se verá más adelante, serán la razón por la que se eligió *iwlist* en lugar de *iwconfig* para obtener una medida de cobertura.

7.2.1 El comando *iwlist*

Como se mencionó antes, el comando que se utiliza para la adquisición de las medidas de cobertura es el *iwlist*. Particularmente se utiliza la opción *scan*. *Iwlist scanning* realiza un escaneo activo del aire: la tarjeta de red envía un Probe Request a Broadcast, el cual es contestado por todas las redes presentes en el lugar. Se dice que el escaneo es activo ya que no espera a escuchar que las redes se auto promocionen a través de Beacons, sino que pregunta mediante la transmisión de un Probe Request. Sin embargo, es posible que este comando retorne información sobre redes que no contestaron, esto se debe a que se capturaron Beacons, y se retornó la información que se encontró en estos.

El comando utilizado entrega diversa información sobre cada red inalámbrica que se detecta, destacándose: frecuencia, bit rate, tipo de autenticación, si utiliza encriptación, nivel de señal (*signal strength*), calidad de señal (*signal quality*), etc.

En este caso, interesa en particular el valor de calidad que devuelve como resultado el comando *iwlist scanning*.

Existe una cierta inconsistencia en como son utilizados los términos *signal strength* y *signal quality*, por los desarrolladores y usuarios.

El parámetro *signal strength* es definido en IEEE 802.11 como el “Received Signal Strength Indicator”, el cual es un valor relativo, definido para ser usado dentro del chipset. Es un valor de un Byte por lo que se encuentra en el rango de 0 a 255, sin embargo, los fabricantes utilizan escalas arbitrarias que van de 0 a RSSI_Max, donde este último depende de cada uno de ellos. No está asociada a ninguna escala de potencia en particular, como podría ser mW, y no requiere de precisión alguna. El valor de RSSI es usado internamente en el código de máquina y por eso los fabricantes no están obligados a utilizar un estándar compatible. Por ejemplo, este valor suele utilizarse para saber si el canal está ocupado o no; si el RSSI está por debajo de un cierto umbral, el chip de la tarjeta de red asume que el canal está libre. Por lo tanto, es probable que los *signal strength* reportados por dos tarjetas de distinto proveedor sean diferentes frente a iguales condiciones de radio. Esta falta de consistencia entre fabricantes no permite que se pueda realizar una comparación directa entre resultados de evaluación de desempeño entre equipos de diferente fabricante.

El parámetro *signal quality* es definido brevemente en el estándar IEEE 802.11. La correcta definición subyace en el término “PN correlation strength”, que es una medida de la correlación entre la señal recibida de DSSS y la señal ideal de DSSS. Desafortunadamente, no hay mucha documentación del *signal quality*, y parece ser bastante propietario la forma en que se define, excepto por lo que se explicó anteriormente, el estándar IEEE 802.11 no provee mucha información al respecto.

7.3 Implementación

La medida de cobertura indoor es llevada a cabo mediante el comando *iwlist scanning* del paquete *wireless tools* de Linux.

Para este propósito, se recolecta la información de calidad de señal para cada AP detectado en el escaneo.

Para brindar un valor representativo, la aplicación realiza un cierto número de escaneos para cada punto del local de interés en donde se desee conocer la calidad de la señal. La cobertura que se calcula en cada punto relevado es el promedio de los resultados de los escaneos.

La razón por la cual se realiza más de un escaneo por punto, es debido a que el tiempo de permanencia de cada escaneo en cada canal es pequeño y podrían escaparse redes que efectivamente estén presentes, por lo que resulta más confiable repetir el escaneo por cada punto. Sin embargo, el número de escaneos para promediar no debe ser demasiado grande, para no enlentecer las medidas.

Zorzal tiene la funcionalidad de permitir la visualización de cobertura de los APs instalados en un local. El siguiente es un ejemplo de cómo se despliega esta información en un mapa previamente ingresado por el usuario.

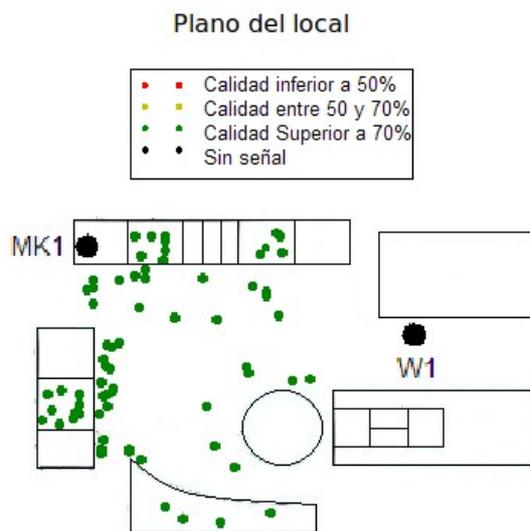


Fig 7.3-1: Plano de cobertura indoor, MK1 y W1 son los dos AP del local

El usuario se traslada por el local a la vez que ingresa los puntos del mismo que le sean de interés, mediante un click en el plano correspondiente. Una vez que se termine de relevar el local, la aplicación despliega los datos recolectados en el plano mencionado, de la manera que se muestra en la *Figura 7.3-1*. Se observa en este caso, que los puntos relevados se clasifican en cuatro grupos según la calidad de la señal presente: calidad inferior al 50%, entre 50% y 70%, superior al 70% y sin señal.

Para cada punto del local, la aplicación obtiene una medida de la cobertura de cada uno de los AP de Ceibal visibles, asociada a las coordenadas del mismo en el plano presentado.

Zorzal despliega por defecto el mapa de cobertura general del local, por lo que la medida de cobertura de dos puntos distintos no tiene por qué corresponder al mismo AP. El mapa general de cobertura se construye tomando, para cada punto, la medida de cobertura del AP de Ceibal que mejor "se ve". En el caso de que el usuario desee conocer solamente la cobertura de un AP en particular, puede hacerlo sin necesidad de realizar otra instancia de medición. Cada vez que se realiza un relevamiento, la aplicación guarda la información de todas las redes visibles en los puntos de interés, siendo opción del usuario el querer ver el mapa de cobertura del local o solamente el de un AP en particular. La siguiente figura muestra la

cobertura del AP MK1 del local cuyo mapa general de cobertura se mostró en la figura anterior.

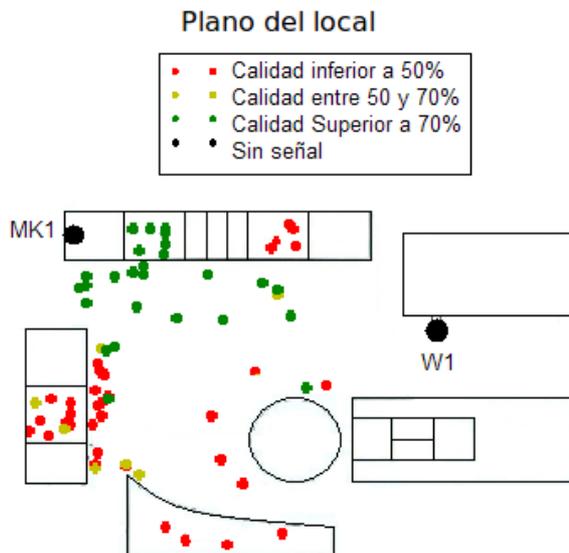


Fig 7.3-2: Plano de cobertura indoor del AP MK1

En el caso del ejemplo expuesto en las figuras anteriores, el criterio fijado para la clasificación de la calidad de la señal (se puede ver en las leyendas de las figuras anteriores), es el que actualmente utiliza Yacaré para el análisis de cobertura outdoor. La división en niveles se hace con el objetivo de asociar la medida de cobertura obtenida en un punto, con la capacidad de la XO para conectarse a la red y navegar razonablemente bien.

Cabe notar, que posteriormente a Yacaré los técnicos del área de Investigación del Plan Ceibal, han llevado a cabo una serie de pruebas (ver [16]), de las que se desprenden los siguientes resultados:

Q (%)	¿Se ve el AP?	¿Es posible asociarse al AP?	¿Se mantiene una asociación ya establecida?	Navegación web
0-40	NO			
41-60	SI	NO	NO	
61-70	SI	NO	SI	Nula
71-80	SI	SI	SI	muy limitada
81-100	SI	SI	SI	Buena

Fig 7.3-3: Criterio de calidad dispuesto por Ceibal

Estos resultados son muy interesantes dado que se concluye que “ver” un AP no necesariamente implica poder conectarse a la red y navegar. Es más, estos resultados apuntan a definir qué es una buena medida de cobertura.

Sin embargo, por compatibilidad con *Yacaré* y a modo de unificar criterios, *Zorzal* implementa la separación en niveles planteada en ese proyecto.

En algún momento de la realización de este trabajo surgió la interrogante en cuanto al comando con el cual se realizaría el escaneo. Se disponían de dos opciones: *iwlist scanning* e *iwconfig*. En lo que se refiere a la información que interesa a *Zorzal*, ambos arrojan la misma, la diferencia radica en que para utilizar el comando *iwconfig* es necesario estar conectado a un AP. Luego de realizar el testeo de los comandos en cuestión, se concluyó que la opción más conveniente es utilizar *iwlist scanning*. En la siguiente sección se exponen las pruebas que avalan esta elección.

En cuanto al equipo a utilizar, por compatibilidad con *Yacaré* se decidió que estas medidas sean realizadas con la Active Antenna (o radio mesh). La misma es una tarjeta de red en desarrollo por parte de la OLPC, que implementa una interfaz mesh similar a la que implementan las XO. En la siguiente figura se expone una foto de esta tarjeta.



Fig 7.3-4: Radio mesh o active antenna

Dado que se busca obtener una medida de cómo las XO perciben la red, y como bien pudieron ver los autores de *Yacaré*, la radio mesh se comporta muy parecido a las antenas de las XO parece razonable utilizarla para esta medida. Además, utilizar siempre la radio mesh, independiza las medidas de cobertura de las características de hardware de la estación que toma las mediciones.

Además, como comprobó *Yacaré*, la ganancia de la radio mesh es poco menor que la ganancia de las XO, por lo que obtener buenos resultados con esta tarjeta, asegura buenos resultados también para las XO.

7.4 Hipótesis y consideraciones

Probablemente la hipótesis más importante en la que se basa esta implementación es que las condiciones de radio se mantienen constantes durante la medida. Se asume que el usuario permanece inmóvil al momento de realizar los escaneos, o que su movimiento no induce cambios significativos en las medidas recolectadas. Esto justamente es lo que avala el promediado de estas medidas, como estimación de cobertura para los puntos del local.

En un mismo punto del espacio puede haber fluctuaciones en el nivel de señal con el tiempo. Al trabajar sobre un medio inalámbrico, la señal se ve expuesta a varios fenómenos, como por ejemplo el multicamino, que hacen que ésta presente variaciones “rápidas” en torno a una media.

Lo que se asume constante durante el tiempo de medida, es justamente la media respecto a la que se presentan las variaciones instantáneas. El promediado busca tener una aproximación a ese valor. Lo que termina midiendo la aplicación es el valor de la media de la calidad de la señal en un intervalo de tiempo. Cambios en el valor de la media son consecuencia de cambios en las condiciones de radio, lo que se asume que no ocurre, si el usuario permanece quieto en el punto de la medida, durante el intervalo de tiempo que toma realizarla.

7.5 Pruebas realizadas

7.5.1 *iwlist* vs *iwconfig*

Como se mencionó en la sección anterior, en un comienzo se consideraron dos alternativas para realizar el escaneo activo del aire: *iwlist scanning* e *iwconfig*. A continuación se expone la prueba que permitió concluir que el comando *iwlist scanning* es la mejor opción para realizar los escaneos.

Antes de analizar los resultados, es conveniente detallar las condiciones y el método utilizado para realizar la comparación de los dos comandos en cuestión.

Dentro del local de interés se eligieron dos posiciones físicas distintas de manera de poder tener dos condiciones de radio distintas. Para cada una de

estas se realizaron tres tiradas consecutivas de los comandos *iwlist scanning* e *iwconfig*. Con el objetivo de tener una idea de la calidad de la conexión establecida, para cada medida de nivel de señal se incluyó una medida de retardo. La idea de esta prueba era determinar cuál de las dos medidas de calidad de señal era más representativa de las características de la conexión que se lograba. La elección del retardo como parámetro representativo de la calidad en la conexión, fue dada básicamente por la facilidad que se presenta a la hora de realizar la medida.

La tarjeta de red utilizada para realizar estas pruebas fue la Active Antenna. Es importante esta aclaración debido a que como se mencionó anteriormente, los resultados de los comandos dependen fuertemente del hardware y driver utilizado.

Las pruebas fueron realizadas en una red Ceibal, en una escuela de Montevideo. Los resultados fueron los siguientes:

		Calidad de Señal		RTT (ping)				
		<i>iwlist scanning</i>	<i>iwconfig</i>	mínimo (ms)	promedio (ms)	máximo (ms)	mdev (ms)	paquetes perdidos (%)
Condiciones de radio A	Tirada 1	97/100	84/100	2.920	87.768	1.011.141	273.756	4
	Tirada 2	97/100	89/100					
	Tirada 3	97/100	89/100					
Condiciones de radio B	Tirada 1	65/100	18/100	5.640	76.722	1.849.552	296.259	13
	Tirada 2	65/100	42/100					
	Tirada 3	59/100	12/100					

Fig 7.5.1-1: Resultados de la comparación entre *iwlist* e *iwconfig* en una red Ceibal

De la figura anterior se desprende que a medida que empeoran las condiciones de radio, los valores obtenidos mediante *iwconfig* parecen ser menos estables que los devueltos por *iwlist*. Si se observan los valores obtenidos mediante *iwconfig* para las condiciones de radio B, se pueden ver las diferencias que presentan los valores que resultaron en las sucesivas tiradas. En cambio, los valores obtenidos del *iwlist*, se mantienen más parejos a lo largo de las tres tiradas realizadas.

Esta “inestabilidad” observada en los resultados de *iwconfig*, puede deberse en parte a la forma en que esa herramienta realiza la medida. Posiblemente, al estar la estación conectada al AP a la hora de realizar la medida, la cantidad de información considerada sea mayor que en caso de la medida con *iwlist*, lo que en este caso no está aportando un mejor resultado, sino que lo hace demasiado instantáneo, y por lo tanto menos apropiado.

Con respecto a los resultados obtenidos para el retardo, se observa que la calidad de conexión no parece haber variado demasiado. Sin embargo, los valores de calidad arrojados por el comando *iwconfig* son muy distintos para ambas condiciones de radio

CONCLUSIÓN:

Se concluye que es más apropiado trabajar con el comando *iwlist* por las siguientes razones:

- En cuanto a la calidad de señal, *iwlist* arroja valores más estables (comparando las tres tiradas dentro de las mismas condiciones de radio), más promediados y menos instantáneos, lo que parece más apropiado para el tipo de información que se quiere brindar. Si se busca dar algún valor que le indique al usuario que la conexión es posible, no se le puede brindar un valor que tenga demasiada instantaneidad, ya que se podría dar el caso de que por ejemplo el valor que se está entregando, es obtenido justo en el peor momento.
- Compatibilidad con *Yacaré*. Si bien *Zorzal* se aplica a un ambiente indoor y *Yacaré* a un ambiente outdoor, parece razonable que ambos apliquen el mismo método para poder hablar de resultados comparables. Es decir, un punto rojo (o una calidad por debajo del 50%) va a seguir implicando lo mismo, cualquiera sea el escenario.
- *iwconfig* tiene una gran desventaja frente a *iwlist scanning*. Para utilizarlo hay que conectarse al AP previamente, lo cual enlentece la toma de medidas.
- En la prueba realizada, se puede ver claramente que la calidad de señal que arroja *iwlist* establece una relación más directa con la calidad de la conexión establecida, en comparación con *iwconfig*.

7.5.2 Variaciones del nivel de señal

Como se mencionó en la sección de Hipótesis y Consideraciones, la aplicación calcula como medida de la cobertura de los AP de Ceibal en un punto dado, un promedio de los valores observados en el intervalo de tiempo en que se realiza la medida. Es sabido que los valores del nivel de señal con que se detecta a los AP presentan fluctuaciones instantáneas a lo largo de un valor medio, como efecto de los fenómenos de propagación inherentes a toda red inalámbrica.

La prueba que se expone a continuación, refleja el comportamiento del nivel de señal con que se detecta un AP en función del tiempo.

Para ello se realizó una serie de quince escaneos consecutivos con el comando *iwlist*, cada un segundo, recolectando en cada caso el nivel de señal con que se detecta a un router doméstico.

Se fijaron las posiciones tanto del router como de la estación propia, y se mantuvieron durante toda la prueba, con el objetivo de lograr condiciones de radio lo más estáticas posible.

En la siguiente gráfica se muestra el nivel de señal recolectado, en función del tiempo, junto con el promedio de los valores:

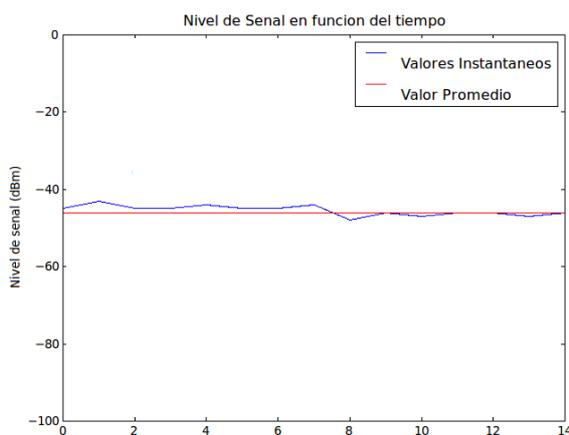


Fig 7.5.2-1: Nivel de señal en función del tiempo

Como se puede ver claramente, el nivel de señal presenta pequeñas variaciones instantáneas alrededor de lo que se identifica como la media de los valores.

Este comportamiento claramente es el esperado, lo que confirma la validez del método implementado para obtener la medida de cobertura.

8 Software Zorzal

8.1 Introducción

El presente capítulo apunta a presentar las principales características de la herramienta creada. La misma corre sobre Linux y es programada en Python. Dado que *Yacaré* fue desarrollado en este lenguaje, desde un comienzo este fue el elegido para *Zorzal*, teniendo en cuenta la posible futura intención del Plan Ceibal de querer integrar ambas aplicaciones en una sola.

Se creó exitosamente una interfaz de usuario que le ofrece una mirada integradora de los parámetros que la aplicación calcula, dada su estructura de pestañas que permite incorporar todas las funcionalidades de la aplicación en una misma ventana. Se logró que tanto los resultados como los datos que ingresa el usuario se ubiquen en posiciones convenientes en la ventana de *Zorzal*. En este sentido la ventana presenta en su diseño una zona izquierda donde pregunta al usuario que desea hacer, una zona derecha donde pregunta los parámetros que necesita que el usuario le ingrese y la zona central donde despliega los resultados. Los mismos se presentan siempre en forma gráfica lo que facilita su comprensión visual. Se entiende que todas estas características hacen de *Zorzal* una herramienta intuitiva y fácil de usar.

En lo referente al tiempo de procesamiento de datos de *Zorzal*, durante todo el desarrollo de la aplicación se buscó ir optimizando los tiempos de procesamiento de tal forma que fueran mínimos, lográndose disminuirlos considerablemente. Actualmente la aplicación presenta tiempos de procesamiento menores a los tiempos de obtención de datos. Se entiende que el tiempo de procesamiento es tal que permite procesar al momento de tomar las medidas sin ser incómodo para el usuario.

Para guardar los datos *Zorzal* utiliza como estrategia guardar no sólo los datos procesados sino también los datos en crudo. Esto permite que el usuario pueda reutilizar los datos de la forma que él crea más conveniente. En cuanto a los datos procesados, se guarda cada una de las gráficas mostradas al usuario así como un archivo de texto o una tabla que presenta los datos graficados en un formato amigable al usuario. Se considera que el hecho de guardar la mayor cantidad de información le ofrece más flexibilidad al usuario.

La modularización por funcionalidades que presenta *Zorzal* permite la rápida y fácil inclusión de nuevas funcionalidades así como la modificación de las ya existentes. Siguiendo con esta idea, se han investigado las

primeras posibles extensiones a las funcionalidades que actualmente presenta, comentadas en la *Sección 10.6*.

En lo que sigue se presenta la estructura modular de *Zorzal* y las características de la interfaz gráfica para cada uno de los parámetros de performance que se calculan. Además se indican los requerimientos de software y hardware necesarios para una correcta instalación y funcionamiento de la aplicación.

8.2 Módulos y estructura

La estructura de *Zorzal* está organizada de forma modular con el objetivo de independizar las funcionalidades de la aplicación. Esto facilita la modificación de las mismas, así como la integración de las nuevas. A grandes rasgos, la estructura de *Zorzal* está organizada de forma que existe un módulo principal a partir del cual corre la interfaz gráfica, y desde donde son llamados los distintos módulos a medida que el usuario lo requiera. A continuación se muestra un esquema que representa lo anterior.

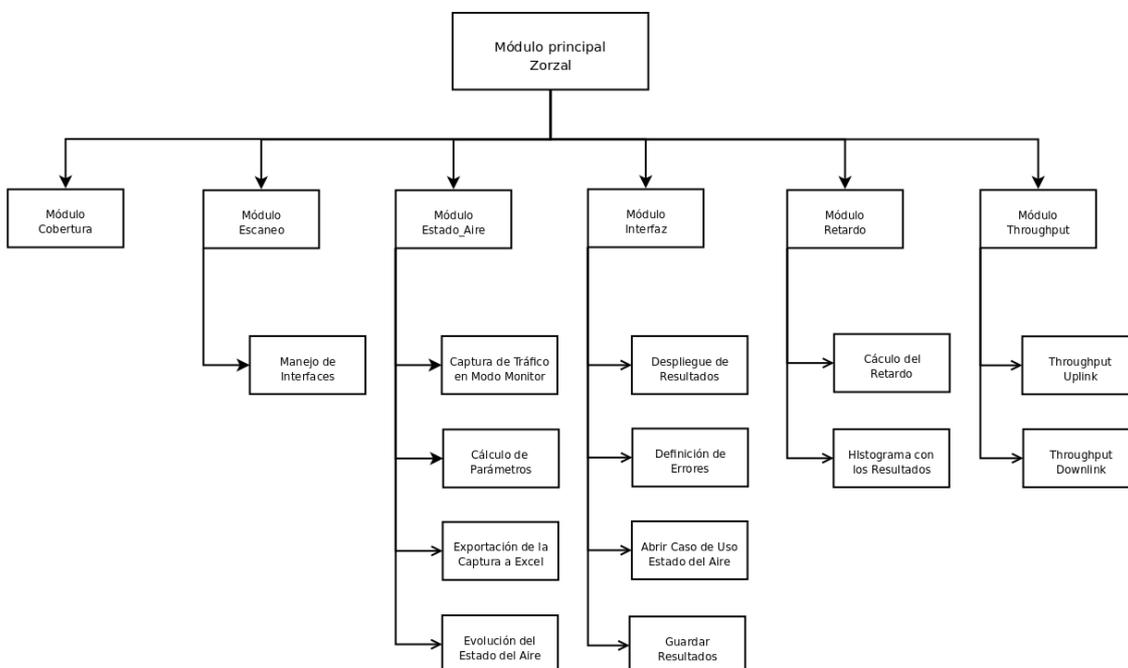


Fig 8.2-1: Módulos de Zorzal

Es importante destacar la función de cada uno de los módulos que se muestran en la figura anterior. Esta modularización fue ideada con el objetivo de separar los distintos casos de uso de forma explícita: módulo Cobertura, módulo Estado_Aire, módulo Retardo y módulo Throughput. También se observan dos módulos más, no asociados con ningún caso de uso en particular, sino que más bien son utilizados por estos últimos. Por ejemplo, dentro del caso del módulo Interfaz, se encuentran las funciones siguientes: abrir caso de uso Estado del Aire y guardar los resultados de todos los casos de uso. Además, dentro del módulo Interfaz se aloja toda la interfaz gráfica de la aplicación.

Existe un módulo principal que lanza la interfaz gráfica y desde el cual se comandan las distintas funciones de cada módulo. Existen funciones que si bien pertenecen a algún módulo específico se utilizan también en otros. Particularmente, esto sucede al ejecutar las medidas de cobertura indoor, de allí la inexistencia de funciones específicas para la misma.

8.3 Interfaz gráfica

La interfaz gráfica está organizada de forma tal que integra todas las funcionalidades en una única ventana. Esto fue posible gracias al uso de pestañas. A continuación se muestra una vista del programa al iniciarlo.

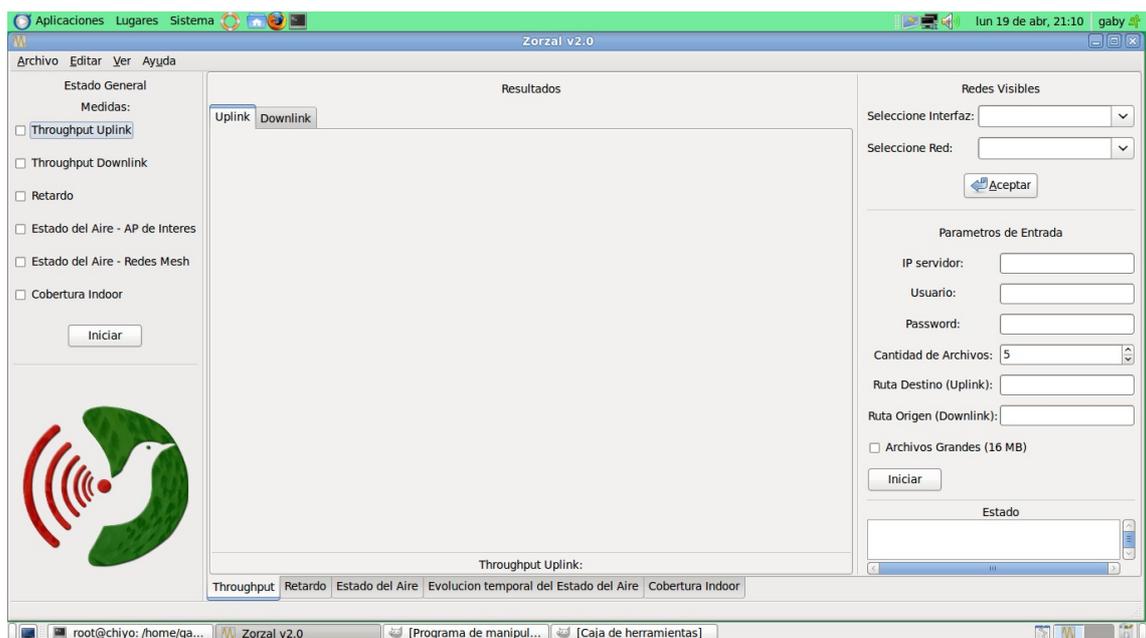


Fig 8.3-1: Pantalla de inicio

Al iniciar la aplicación el usuario podrá hacer click en el caso de uso que desee correr. Una vez seleccionado, se deberá ir a la pestaña correspondiente para ingresar los parámetros que necesite cada caso de uso. Una vez se realice la prueba y las mediciones correspondientes, el usuario tendrá la posibilidad de guardar los resultados obtenidos.

Análogamente a la posibilidad de guardar los resultados, también existe la posibilidad de abrir datos. Si bien *Zorzal* está diagramado para poder guardar los resultados de todos los casos de uso, el abrir los datos solamente fue pensando para el caso de uso Estado del Aire, porque es el único caso en el cual interesaría. Volver a cargar los datos de este caso de uso en particular, permite que el usuario cuente con el sistema de pestañas de *Zorzal* que le ofrece ver los resultados de una forma mucho más organizada.

A continuación se muestra la interfaz de usuario para cada caso de uso, en donde se puede ver qué parámetros de entrada son necesarios para cada uno de ellos, así como se explica explícitamente cuales son los resultados que *Zorzal* permite guardar en cada caso y a pedido del usuario.

8.3.1 Throughput

Al ejecutar el caso de uso Throughput, la aplicación solicita una serie de parámetros, como por ejemplo la dirección IP del servidor contra el que se realizan las transferencias, el usuario y la contraseña para establecer una sesión SSH con el mismo.

Se realizan varias transferencias SCP en el sentido de la medida que se desee tomar, uplink o downlink, aumentando gradualmente el tamaño de los archivos transferidos. Finalmente, la aplicación procesa los datos, arrojando como resultado de throughput la pendiente de la recta que mejor se aproxime a los puntos (Bytes transferidos, tiempo de transferencia) recolectados para cada transferencia, y el error cuadrático medio relativo (ECMR). Como resultado será expuesta la gráfica (Bytes transferidos, tiempo de transferencia) junto con la recta y el throughput obtenido, como se muestra a continuación.

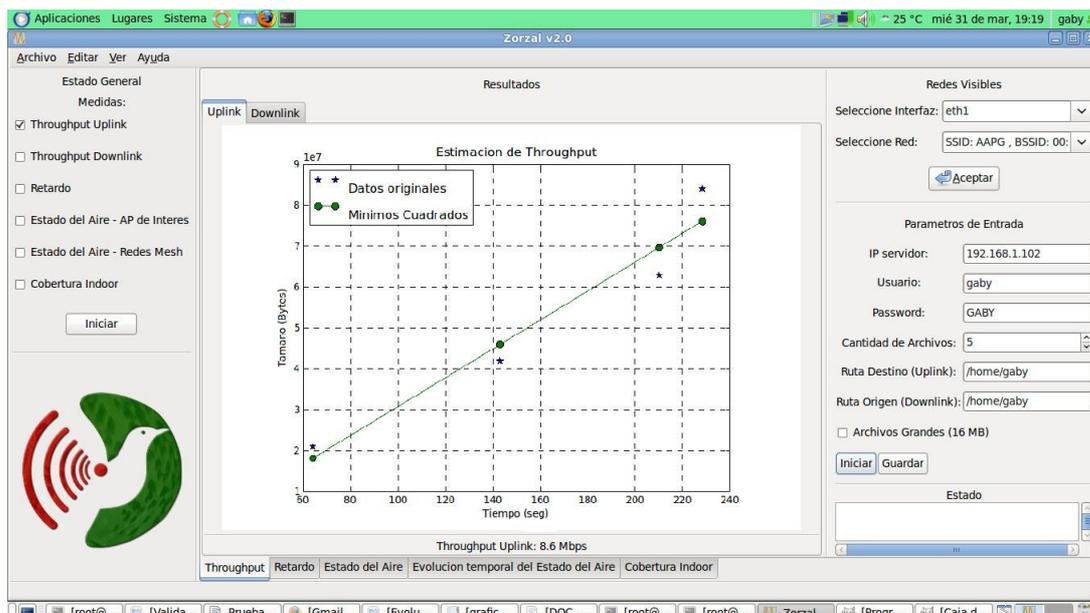


Fig 8.3.1-1: Despliegue de Throughput

Para realizar la medida de throughput se debe estar conectado a un AP de interés, por lo que previamente se debe realizar un escaneo del aire: primero se selecciona la interfaz con la cual se realiza el escaneo, y luego, a partir de la lista desplegada, se selecciona el AP de interés al cual se desea conectar.

8.3.2 Retardo

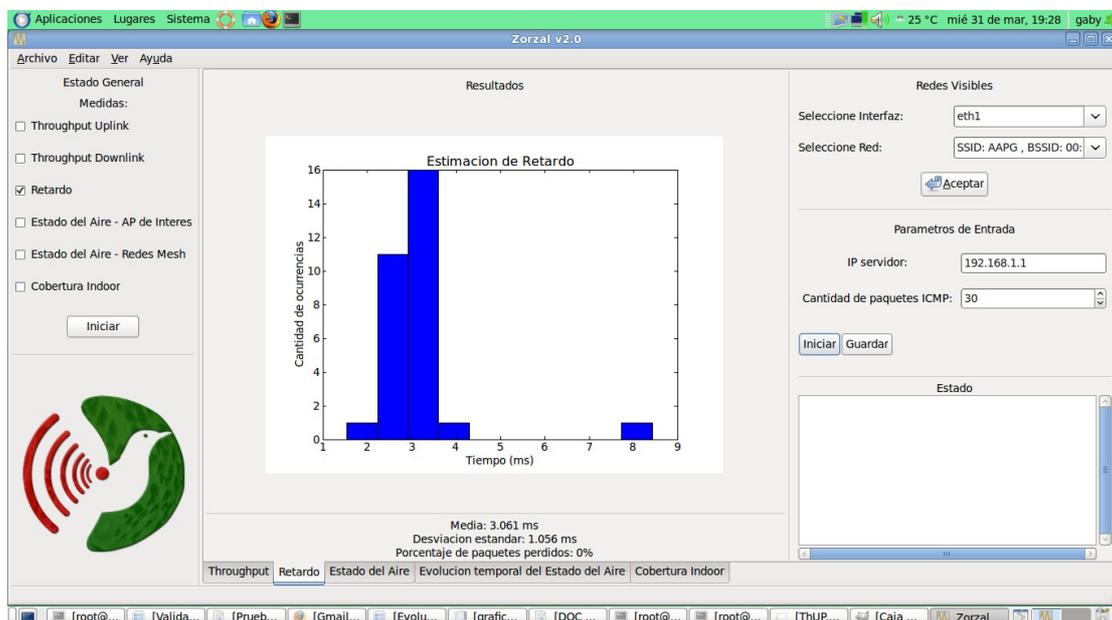


Fig 8.3.2-1: Despliegue de Retardo

Análogamente al Thoroughput, se debe estar conectado a un AP de interés, por lo que se debe realizar un escaneo del aire: primero se selecciona la interfaz con la cual se realiza el escaneo, y luego, a partir de la lista desplegada, se selecciona el AP de interés al cual se desea conectar.

Al ejecutar el caso de uso Retardo la aplicación solicita la dirección IP del servidor contra el que se realiza el *ping*, y la cantidad de paquetes *ICMP* que se inyectan. Como resultado de las mediciones, se expone un histograma, junto con la media, porcentaje de paquetes perdidos y la desviación estándar del retardo obtenido, como se observa en la *Figura 8.3.2-1*.

8.3.3 Estado del aire - AP de interés

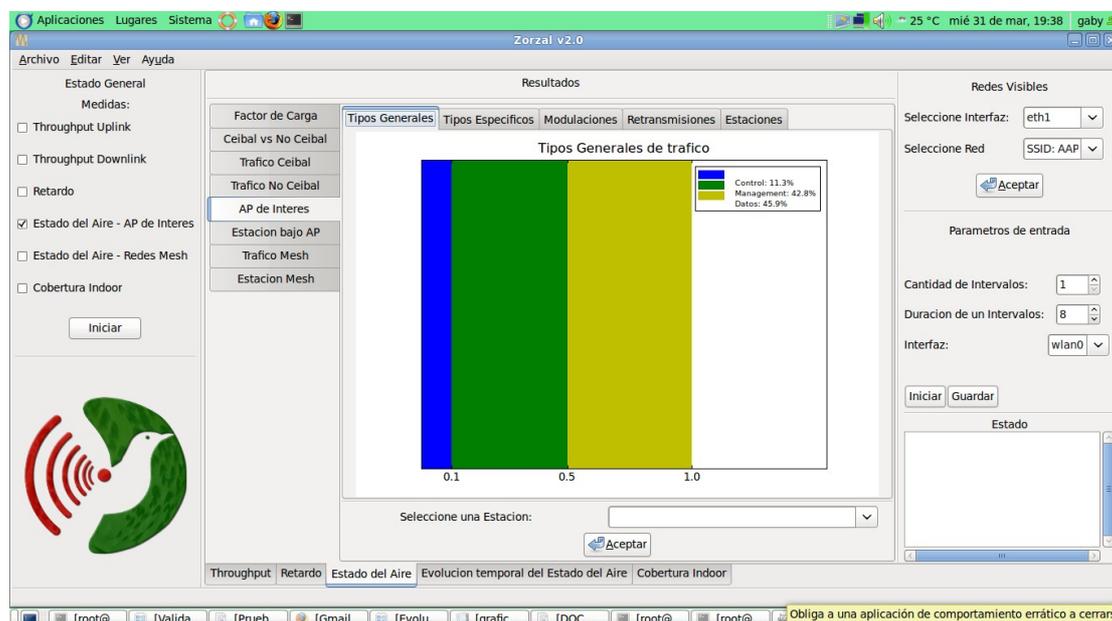


Fig 8.3.3-1: Despliegue de Estado del aire - AP de interés

Al ejecutar el caso de uso Estado del Aire, la aplicación le solicita al usuario una serie de parámetros, como por ejemplo: interfaz de captura y duración de la misma (en segundos). Acto seguido se realiza la captura, se procesan los datos, y posteriormente se despliegan los resultados de forma gráfica. Se puede contar con los siguientes resultados:

- Factor de Carga de la Red.
- Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por tráfico Ceibal vs Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por tráfico No Ceibal.
- Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por tráfico de las diferentes redes No Ceibal.
- Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por tráfico de las diferentes redes Ceibal (en esta medida se incluye el tráfico mesh).
- Dentro de las Medidas generales para la red de interés (ya sea tráfico bajo un AP particular o tráfico mesh):
 - Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por los distintos tipos de Tráfico a nivel de capa 2.
 - Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por las distintas modulaciones utilizadas.

- Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por el agregado de tramas retransmitidas.
- Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por el tráfico asociado a las distintas estaciones conectadas a la red de estudio, identificándolas mediante su dirección MAC. Adicionalmente se presentará la potencia con la que la tarjeta ve a cada una de estas.
- Porcentaje de Tiempo en el Aire correspondiente a tráfico Broadcast y Multicast.
- Cantidad y dirección MAC de estaciones ocultas.
- Dentro de las medidas para cada estación conectada a la red de interés:
 - Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por los distintos tipos de tráfico asociados a la estación.
 - Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por las distintas modulaciones utilizadas por la estación.
 - Porcentaje de Tiempo en el Aire ocupado por el agregado de tramas retransmitidas por la estación.

Es importante notar que antes de realizar cualquiera de las Medidas del Estado de la Red, la aplicación realiza un escaneo del aire, recolectando información de las redes visibles, y desplegándola de forma tal que el usuario pueda seleccionar la red que planea estudiar.

En el caso de querer estudiar la evolución del Estado del Aire en el tiempo, se deberá ingresar la cantidad de intervalos y la duración de cada uno de ellos (en segundos).

A continuación se expone un screenshot de lo que se observa una vez ingresados los parámetros de esta manera, y seleccionado la pestaña Evolución temporal del Estado del Aire.

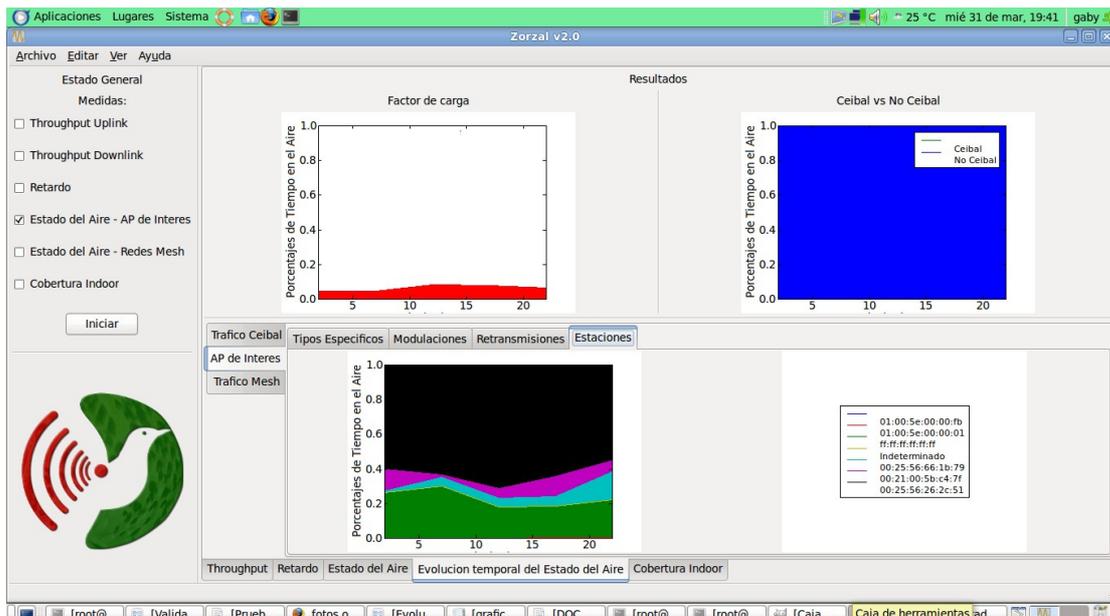


Fig 8.3.3-2: Despliegue de Estado del aire - AP de interés - Evolución temporal

8.3.4 Cobertura indoor

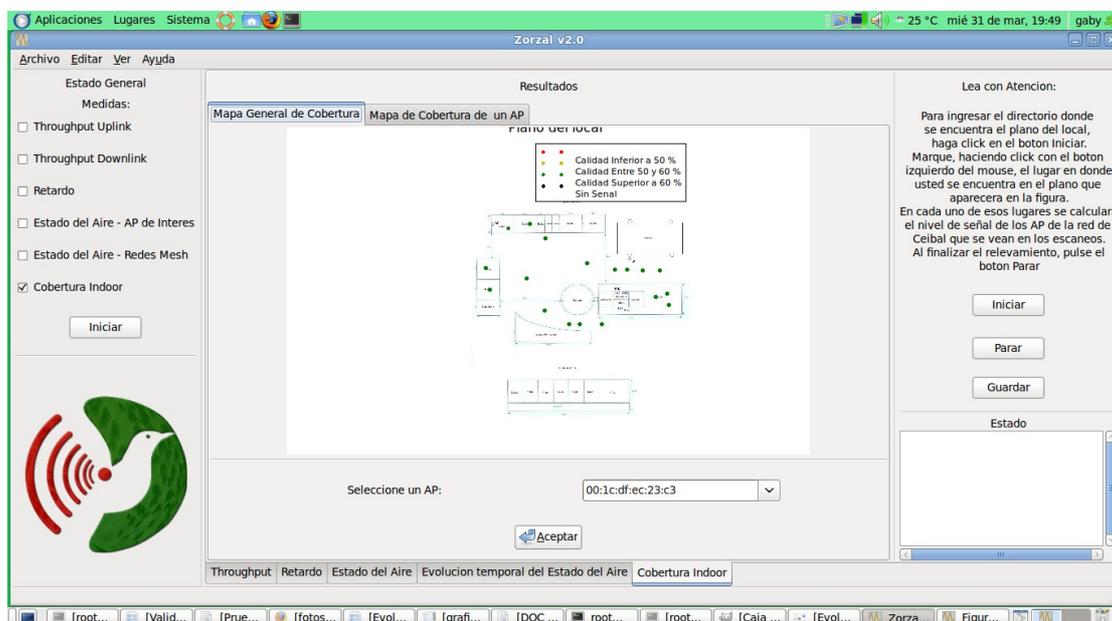


Fig 8.3.4-1: Despliegue de Cobertura Indoor

El usuario debe posicionar el equipo con el que se realizan las medidas en cada lugar en donde sea de interés conocer la cobertura. La forma mediante la cual se ingresa esa posición es haciendo click en el plano del local

desplegado por la aplicación. *Zorzal* permite cargar el mapa del local sea cual sea el directorio en donde se encuentre, lo cual debe realizarse previo a las mediciones. Se realiza una serie de escaneos, y se guarda la información recolectada. Se debe realizar este procedimiento en cada punto en el cual se quiera analizar la cobertura. Una vez todos los puntos de interés fueron ingresados, la aplicación despliega el mapa general de cobertura del local, con los puntos relevados en diferentes colores, dependiendo de la intensidad de la señal medida en cada uno (mayor a 70% en verde, entre 50 y 70% en amarillo, menor a 50% en rojo, y negro si no se ha logrado ver redes Ceibal en el lugar). El usuario puede seleccionar alguno de los APs de la red de Ceibal, para ver únicamente sus resultados. En ese caso, se despliega el mapa de cobertura correspondiente a ese AP.

8.4 Requerimientos de software y hardware

8.4.1 Hardware

- Dual Core 2.0GHz, 2GB de RAM
- Tarjeta de red inalámbrica con chipset Realtek RTL8187b para las capturas del Estado del Aire
- OLPC active antenna (conocida por Ceibal como Radio Mesh) para las mediciones de Throughput y de Cobertura Indoor

8.4.2 Software

- Sistema Operativo:
 - Ubuntu 9.04
 - Kernel 2.6.28-14-generic
- Software adicional:
 - Gnome
 - Python 2.6

- Libertas - Firmware usb8388.bin
- Wireshark 3.0 o superior
- Aircrack-ng
- Expect
- Numpy
- Matplotlib

9 Pruebas de validación

9.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es exponer los resultados alcanzados durante las pruebas de validación de este trabajo.

Se entiende por pruebas de validación, a todas aquellas instancias de prueba en las que los objetivos fueron claramente confirmar el correcto funcionamiento de la aplicación.

A lo largo del desarrollo de la aplicación, se ha realizado una serie de pruebas orientadas a la confirmación de algunos resultados relacionados, principalmente a las hipótesis y consideraciones realizadas.

Esas pruebas son las que se han expuesto en los capítulos anteriores. En este capítulo, las pruebas que se exponen, cumplen con la función de validar la aplicación desarrollada en este trabajo.

Las instancias de validación se definieron en coordinación con el cliente (Plan Ceibal), habiendo acordado las siguientes actividades:

- Realización de una prueba en una escuela (ambiente real) para comparar resultados con los de los métodos usados actualmente en Ceibal.
- Realización de una instancia de capacitación para un grupo de técnicos de Ceibal.
- En la instancia de capacitación, realización de alguna prueba con el objetivo de mostrar el funcionamiento de la aplicación desarrollada, en condiciones de laboratorio.
- Elaboración de un manual de usuario para la aplicación.
- Elaboración de la documentación del proyecto, incluyendo un capítulo en el que se presenten posibles mejoras a futuro para la aplicación desarrollada.

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas en un ambiente real, particularmente, en la escuela n° 183 de Montevideo, en las que se buscó corroborar el correcto funcionamiento de la herramienta desarrollada, básicamente, comparando sus resultados con los de las herramientas que actualmente disponen los técnicos del Plan Ceibal.

9.2 Pruebas realizadas

Las pruebas que se llevaron a cabo en la escuela n° 183 de Montevideo fueron las que se resumen a continuación:

- Cobertura Indoor
 - Mapa general y mapa de Cobertura de los APs de Ceibal instalados en la escuela, en planta baja.
 - Comparación con el método desarrollado por los técnicos de Ceibal para medir cobertura indoor.
- Retardo
 - Prueba de retardo enviando 30 paquetes al servidor.
 - Prueba de retardo enviando 50 paquetes al servidor.
- Throughput
 - Comparación del throughput estimado por *Zorzal* vs el throughput obtenido por una XO.
 - Observación del comportamiento del Throughput en función del tamaño de los archivos, búsqueda del umbral para la estimación de validez de los rangos de los archivos utilizados en la técnica de medida de Throughput máximo.
- Estado del Aire
 - Comparación *Zorzal* vs SkyBlueTero

En lo que sigue de la sección, se presentan los resultados obtenidos junto con las correspondientes conclusiones.

9.2.1 Cobertura Indoor

En el marco de la realización de las pruebas de validación de la aplicación desarrollada, se realizaron medidas de Cobertura Indoor en la planta baja de la escuela n° 183 de Montevideo. Fueron realizadas con *Zorzal*, y

paralelamente, con el método actualmente utilizado por los técnicos de Ceibal para la realización de estas medidas.

El procedimiento fue el siguiente: se recorrió la planta baja del local, ejecutando tres escaneos consecutivos con *iwlist scanning* desde una XO (como lo hace Ceibal con el script), en cada punto en el que se tomaron las medidas de cobertura con *Zorzal*.

El mapa general de cobertura obtenido utilizando *Zorzal*, junto con los valores de cobertura general obtenidos utilizando la XO, se pueden ver en la siguiente figura:

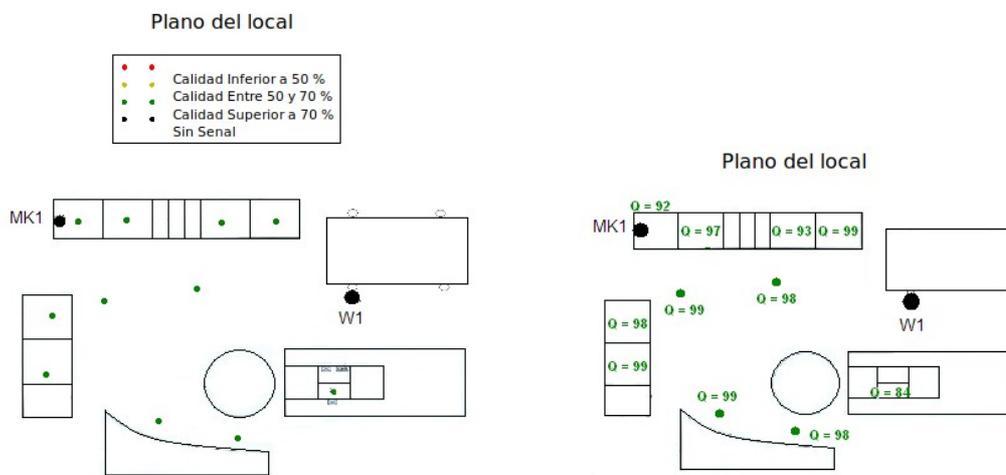


Fig 9.2.1-1: Mapa de cobertura general de la escuela 183: Zorzal vs Datos recolectados por la XO

Los puntos más grandes, identificados en la figura como MK1 y W1, indican la posición de los AP de Ceibal instalados en la escuela.

Cabe recordar que para la construcción del mapa general de cobertura, la aplicación toma la medida de calidad de señal del AP de Ceibal que mejor “se ve” en cada punto en donde se realiza la medida. Por lo que es razonable el resultado tan alentador que se observa.

Como se puede observar, la información recolectada por la XO al realizar los escaneos en cada punto del local, es coherente con lo que se muestra en el mapa general de cobertura proporcionado por *Zorzal*, de donde se concluye la validez de la técnica implementada.

En la siguiente figura se puede ver el resultado de cobertura del AP identificado como MK1, utilizando por un lado, *Zorzal*, y por el otro, el método utilizado por los técnicos de Ceibal:

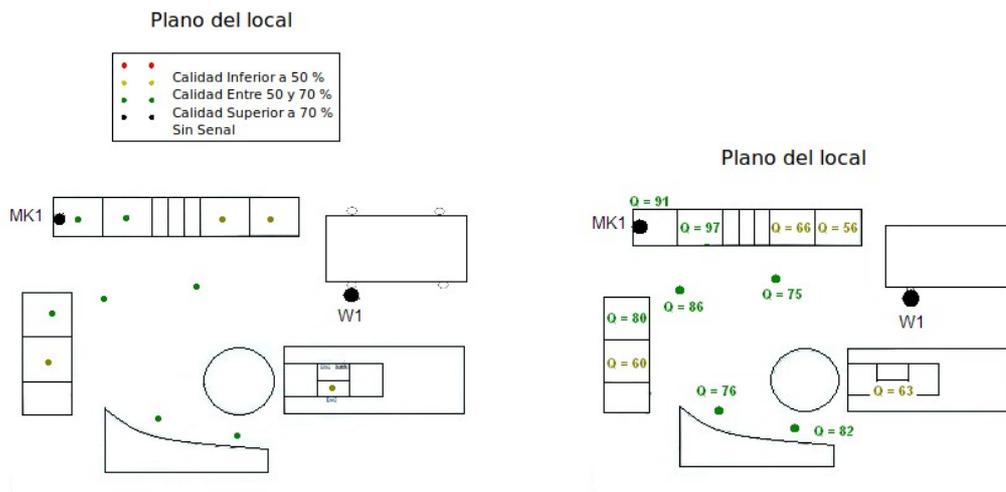


Fig 9.2.1-2: Mapa de cobertura del AP MK1 de la escuela 183: : Zorzal vs Datos recolectados por la XO

Como se puede observar en el mapa de cobertura que proporciona Zorzal, los puntos verdes (buena calidad de señal) se concentran alrededor del AP que se está analizando, lo que resulta razonable considerando que en general las zonas “a la vista” del AP son a las que les llega con más intensidad la señal del mismo.

Si se observan ambas figuras, se puede ver nuevamente la coherencia entre los resultados devueltos por Zorzal y los que se obtienen de realizar escaneos con la XO, de donde se concluye nuevamente la validez del método utilizado, esta vez para el estudio de cobertura de un AP.

De las comparaciones realizadas antes, se concluye que la técnica utilizada por Zorzal es efectiva a la hora de tener una medida de cómo la XO percibe la calidad de la señal emitida por los AP instalados en un local. Zorzal implica un gran avance en la recolección y presentación de los resultados de cobertura indoor.

9.2.2 Retardo

En esta sección se exponen los resultados de las pruebas de retardo realizadas en la escuela n°183 de Montevideo.

PRUEBA 1:

Se enviaron 30 paquetes ICMP al servidor instalado en la escuela, obteniendo los siguientes resultados:

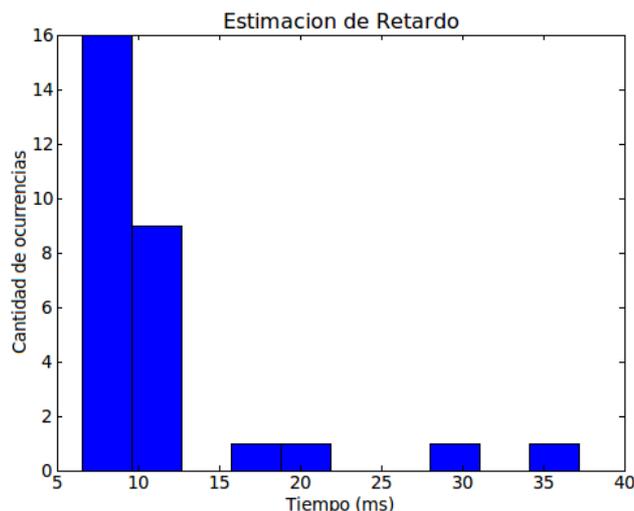


Fig 9.2.2-1: Histograma de retardos para la escuela 183 (prueba 1)

Media: 11.888 ms

Desviación Estándar: 6.683 ms

Como se puede observar, la mayoría de los puntos se acumulan alrededor del valor obtenido para la media. Esto último también, como se mencionó en el capítulo de retardo, se puede confirmar al observar el valor obtenido para la desviación estándar.

PRUEBA 2:

Se enviaron 50 paquetes *ICMP* al servidor instalado en la escuela, obteniendo los siguientes resultados:

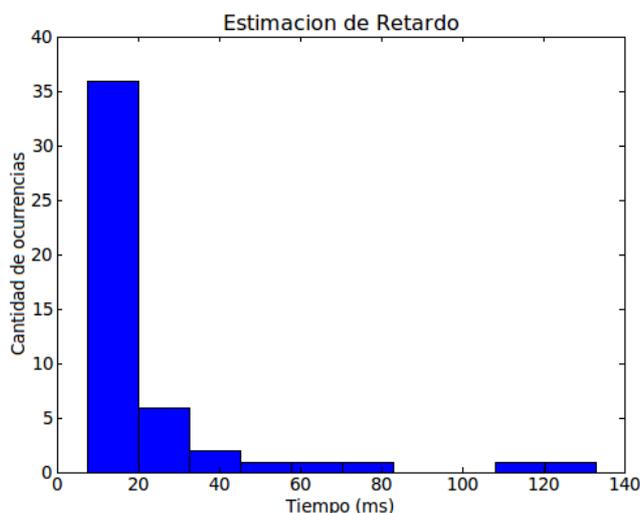


Fig 9.2.2-2: Histograma de retardos para la escuela 183 (prueba 2)

Media: 22.121 ms

Desviación Estándar: 25.530 ms

Nuevamente se puede observar en el histograma la acumulación de medidas alrededor de la media, lo que indica la validez de la misma como aproximación del retardo.

Las diferencias observadas en las medidas de retardo obtenidas, se deben a que como las medidas se tomaron en momentos distintos, las condiciones de la red (factor de carga, cantidad de estaciones conectadas) pueden haber cambiado.

Particularmente, en este caso se observa una mayor desviación estándar que antes, esto se debe también a que el intervalo en el que se realizó la medida fue mayor al del caso anterior.

9.2.3 Throughput

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas de Throughput realizadas en la escuela n° 183 de Montevideo.

PRUEBA 1: Zorzal con radiomesh vs XO:

Se pretende extraer conclusiones sobre si es razonable estimar el throughput máximo que obtiene la XO en el tramo wireless de la red, con la realización de la medida de *Zorzal* en otra laptop con otra tarjeta de red (recordar que para medir el throughput se utiliza la radiomesh).

La prueba consistió en ejecutar la medida de throughput de *Zorzal* y realizar el mismo método en la XO. Para esto la XO descargó del servidor de la escuela los mismos archivos que descarga *Zorzal*, y los resultados se graficaron de igual forma que los grafica la aplicación. La prueba se realizó sólo con tráfico de bajada, porque se entiende que es el sentido de transferencia más utilizado.

A continuación se expone de forma gráfica los resultados obtenidos en ambos casos.

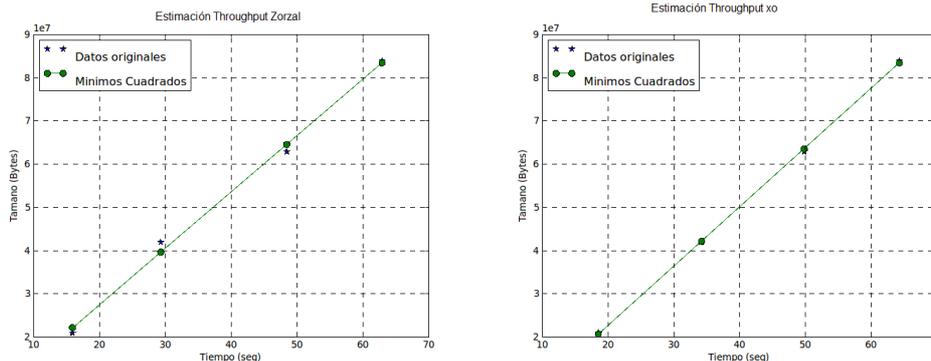


Fig 9.2.3-1: Comparación de la estimación de Throughput entre Zorzal y XO
 Numéricamente los resultados son:

	Zorzal con radio mesh	XO
Throughput (Mbps)	9.96	10.46
ECMR (%)	4.1	1.0

Fig 9.2.3-2: Comparación numérica de la estimación de Throughput entre Zorzal y XO.

Se concluye que es apropiado estimar el throughput obtenido por una XO, con la medida realizada por Zorzal.

PRUEBA 2: Estabilidad Throughput:

La siguiente prueba, realizada en la escuela nº 183, pretende verificar que el tamaño de archivos utilizado para el cálculo de throughput es apropiado para un ambiente real. Se transfirieron archivos de distintos tamaños (de 20kB a 20MB), a efectos de observar que efectivamente, incluso antes de llegar a los 20MB, el throughput comienza a mantenerse constante.

La transferencia de estos archivos fue realizada para dos condiciones de radio distintas: con un buen nivel de señal (cerca del AP al cual se estaba conectado) y con un nivel de señal más bajo (lejos del AP al cual se estaba conectado).

A continuación se muestran las curvas throughput versus tiempo, resultantes de estas transferencias.

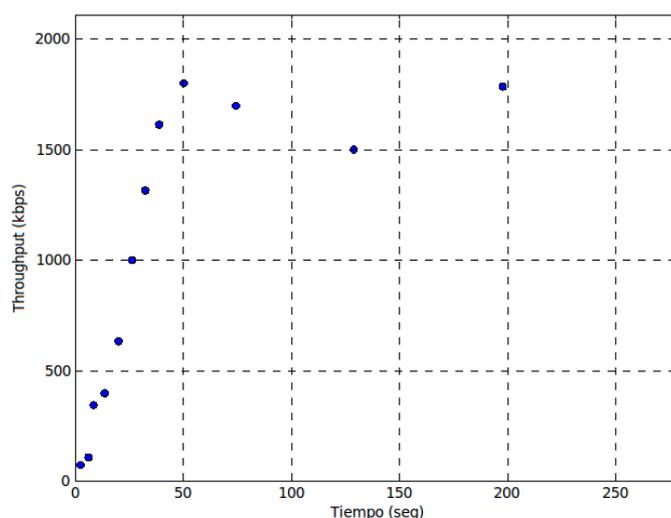


Fig 9.2.3-3: Estabilidad Throughput (nivel de señal malo)

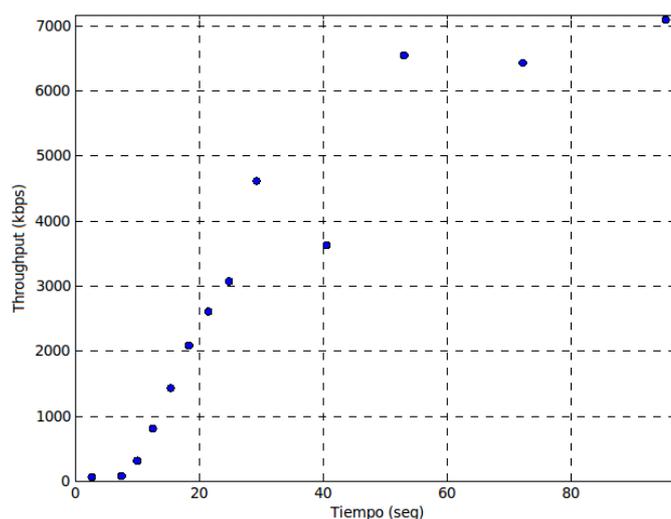


Fig 9.2.3-4: Estabilidad Throughput (nivel de señal bueno)

Cada punto de las figuras anteriores representa un archivo transferido, dentro del rango mencionado. En total se tienen trece archivos, cuyos tamaños son: 20kB, 50kB, 100kB, 256kB, 512kB, 768kB, 1MB, 1.3MB, 2.5MB, 5MB, 10MB, 15MB y 20MB.

De la *Figura 9.2.3-3* se puede observar que a partir de los 2.5MB, el throughput parecería estabilizarse y llegar a un valor contenido en un intervalo desde 1500kbps y 2000kbps.

Con respecto a la *Figura 9.2.3-4*, análogamente el throughput se torna estable a partir de los 10MB, llegando a un valor contenido en el intervalo desde 6000kbps a 7000kbps.

Si bien de las pruebas anteriores se observa que el throughput depende del nivel de señal, en ambos casos el umbral a partir del cual el throughput se mantiene constante resulta menor al tamaño mínimo de archivo utilizado. Se concluye que los tamaños elegidos para los archivos son apropiados.

9.2.4 Estado del aire

En esta sección se presentan los resultados de las pruebas de Estado del Aire realizadas en la escuela n° 183 de Montevideo.

Estas pruebas consisten en ejecutar las medidas de Estado del Aire utilizando la herramienta desarrollada en este trabajo, y paralelamente utilizando la herramienta de la que actualmente disponen los técnicos de Ceibal.

Para extraer algunos de los resultados que presenta *Zorzal*, los técnicos de Ceibal actualmente utilizan una tarjeta de red especial, que permite realizar capturas en *modo monitor: Airpcap*.

Con este dispositivo se realizan capturas del tráfico en el aire, que luego se procesan con un programa realizado por los técnicos de Ceibal, llamado SkyBlueTero. Este permite la visualización de como se reparte el aire entre los distintos tipos de tráfico presentes en la red. SkyBlueTero realiza un estudio a nivel de tiempo en el aire de las tramas al igual que *Zorzal*, tomando las tramas de la captura y realizando una evolución temporal en intervalos de tiempo cuya duración es fijada por el usuario. Adicionalmente para que se realice una distinción en distintos tipos de tráfico se le ingresan filtros de Wireshark, eligiendo correctamente estos filtros es posible obtener información sobre los distintos tipos de tráfico así como de las retransmisiones presentes.

Se realizó una captura con *Airpcap* en la escuela n°183 y se la comparó detalladamente con la obtenida con *Zorzal*. Se pudo observar que esta última contenía menos tramas que la primera. Esto se atribuye a que las tarjetas de red utilizadas eran distintas, lo cual implica un hardware y un driver diferentes. Por esta razón, se concluye que a nivel de las capturas, *Airpcap* y *Zorzal* no son comparables.

Sin embargo, sí es posible comparar *Zorzal* y SkyBlueTero desde el punto de vista del análisis que llevan a cabo. Para esto se tomó la captura realizada por *Zorzal* en la escuela n°183, se cargó a SkyBlueTero y a *Zorzal*. El resultado obtenido fue el que se expone a continuación.

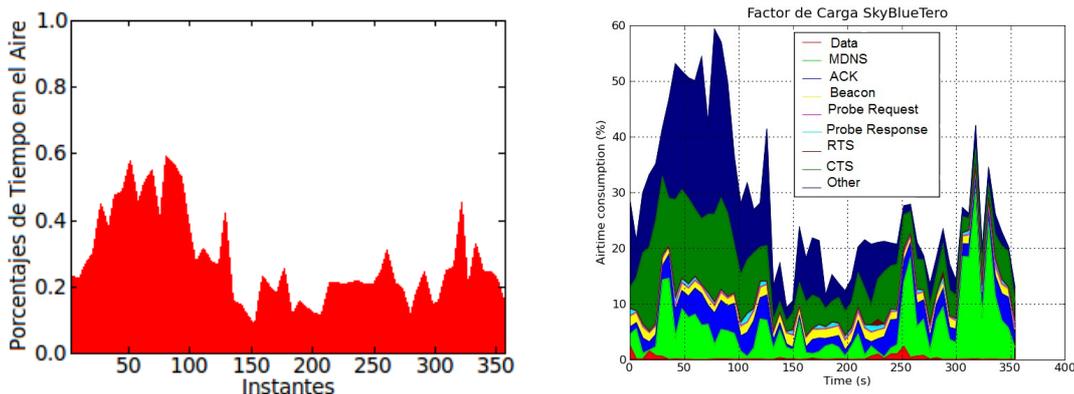


Fig 9.2.4-1: Comparación Factor de carga - Zorzal y SkyBlueTero

En la *Figura 9.2.4-1* se pueden observar los resultados del factor de carga a lo largo del tiempo, obtenidos por *Zorzal* y por *SkyBlueTero*. Es clara la similitud entre los resultados arrojados por ambas aplicaciones.

Se observa que la información reportada por ambas aplicaciones es distinta, *SkyBlueTero* presenta la información de factor de carga así como de los distintos tipos de tráfico en una misma gráfica, mientras que *Zorzal* utiliza varias gráficas para desplegar toda esta información.

Se graficaron de forma independiente los distintos tipos de tráfico tanto para *SkyBlueTero* como para *Zorzal*, esto permite separar la información y tenerla en un mismo formato tal que permita la comparación de ambos métodos a simple vista. A continuación se exponen dichas gráficas.

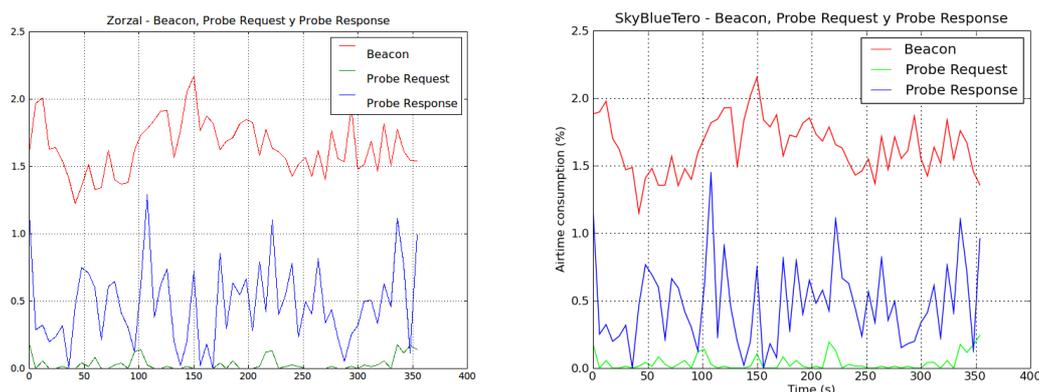


Fig 9.2.4-2: Comparación de porcentaje de Beacons Probe Request y Probe Response - Zorzal y SkyBlueTero

En la *Figura 9.2.4-2* se compara la evolución temporal de tres tipos de tramas: Beacon, Probe Request y Probe Response. Se observa que las dos gráficas son casi iguales.

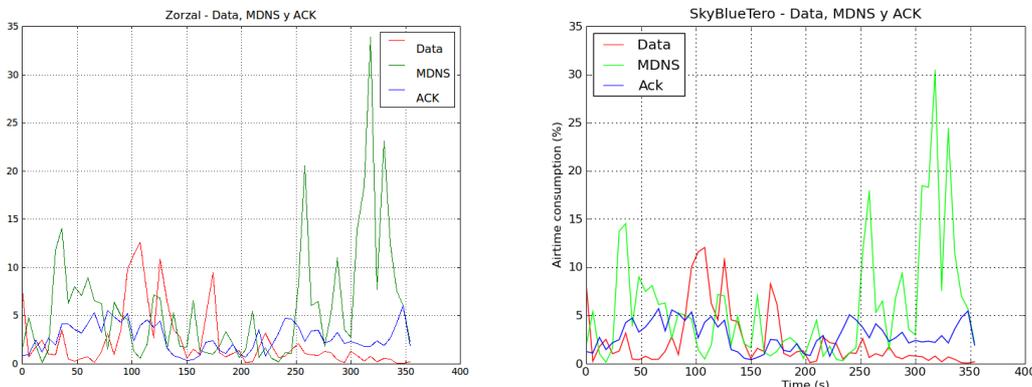


Fig 9.2.4-3: Comparación de porcentaje de Data, MDNS y ACK - Zorzal y SkyBlueTero

En la *Figura 9.2.4-3* se compara la evolución temporal de tres tipos de tramas: Data, MDNS y ACK. Se observa que las dos gráficas son casi iguales.

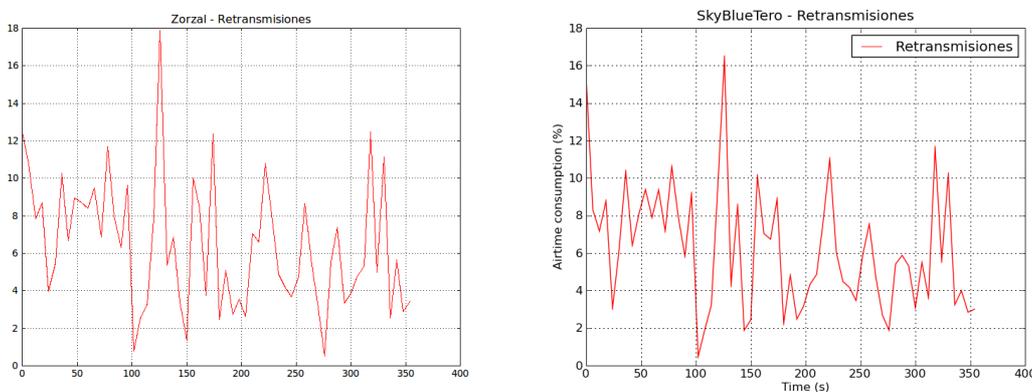


Fig 9.2.4-4: Comparación de porcentaje de Retransmisiones- Zorzal y SkyBlueTero

En cuanto a las retransmisiones, en la *Figura 9.2.4-4* se observa que el tiempo en el aire ocupado por las retransmisiones es muy similar para ambas aplicaciones, *Zorzal* y *SkyBlueTero*.

De las pruebas presentadas en las *Figuras 9.2.4-1, 9.2.4-2, 9.2.4-3 y 9.2.4-4* se concluye que el método implementado por *Zorzal* es satisfactorio, pues

para la información comparada (aquella que se puede extraer de ambas aplicaciones) ambos métodos globalmente coinciden.

En cuanto a las diferencias presentadas por ambas aplicaciones, en primer lugar *Zorzal* provee mayor cantidad de información que SkyBlueTero, por ejemplo este último no es capaz de presentar información sobre el tiempo en el aire ocupado por cada estación. Esto es así porque SkyBlueTero no deduce información que no se encuentre en los encabezados de las tramas, mientras que *Zorzal* sí lo hace.

En segundo lugar, SkyBlueTero requiere que se le ingrese la captura así como el filtro Wireshark, mientras que *Zorzal* realiza la captura, la procesa y despliega los resultados sin la intervención del usuario.

10 Plan de trabajo

10.1 Introducción

Como se mencionó en el capítulo Introducción, al finalizar este trabajo se puede decir que todos los objetivos planteados al principio fueron cumplidos, llegando la aplicación a presentar más funcionalidades que las propuestas originalmente. Incluso se ha llegado a pensar en posibles mejoras a futuro para la misma, lo que se ha dado junto con la incorporación de las nuevas funcionalidades, de forma totalmente natural.

En lo que sigue del capítulo, serán expuestos los principales logros alcanzados en la realización de este trabajo, junto con algunos tópicos que quedaron pendientes, seguidos de una breve descripción de posibles mejoras de la aplicación a implementar en un futuro.

10.2 Dificultades presentadas

A lo largo de este trabajo se han enfrentado diversas dificultades. Probablemente la más importante fue la relacionada a setear el *modo monitor* para la operación de la tarjeta de red que realiza las capturas de tráfico para el caso de las medidas del Estado del Aire. Lograr que la tarjeta capture efectivamente en *modo monitor* fue algo que tomó tiempo y esfuerzo, sobre todo por el hecho de que al comenzar con este proyecto no se contaba con mucha experiencia en el manejo de Linux, además de que tampoco se tenía muy claro qué significaba que una tarjeta de red trabajara en *modo monitor*. Una vez se entendió con exactitud lo que significaba, y teniendo más experiencia en el manejo de Linux, se logró encontrar un mecanismo para setear ese modo de funcionamiento. Se logró definir una serie de pasos a seguir (los cuales se expondrán en el Anexo).

Sin llegar al nivel de las dificultades expuestas en el párrafo anterior, la falta de experiencia en el manejo de Linux fue otra dificultad en sí misma. Desde un principio se planteó la idea de que el software a desarrollar debía correr en Linux. Dada la existencia de documentación que proporciona es un entorno más cómodo para el desarrollo de aplicaciones. La falta de experiencia en el manejo de Linux fue sólo cuestión de tiempo. En unos

pocos meses Linux ya no se podía considerar un problema, sino más bien una solución.

Otra dificultad que se presentó fue el hecho de tener que aprender a programar en un lenguaje con el cual ninguno de los autores de este proyecto había trabajado. Python, en principio, era un lenguaje de programación totalmente desconocido. Afortunadamente ya se tenía un conocimiento previo del paradigma de la programación orientada a objetos, por lo que si bien no se sabía nada en cuanto al lenguaje en sí mismo, se logró superar rápidamente esta dificultad, llegando a desarrollar una aplicación que presenta, incluso una interfaz gráfica de usuario. █

Hoy en día, al haber finalizado este trabajo, se puede decir que todas las dificultades antes mencionadas han sido superadas.

10.3 Metas alcanzadas

En el desarrollo de la aplicación, se puede decir que se ha logrado cumplir con los siguientes objetivos:

- Creación de una aplicación capaz de realizar las siguientes medidas:
 - Throughput
 - Retardo
 - Porcentajes de tiempo en el aire ocupado por distintas redes, estaciones, tipos de tráfico, etc.
 - Cobertura indoor de forma espacio-referenciada
- Creación de una interfaz gráfica de usuario, lo suficientemente clara e intuitiva como para simplificar el trabajo del usuario al tomar las medidas, y pensada con el objetivo de poder mostrar los resultados facilitando en todo momento su comprensión.
- Implementación de una forma de guardar y abrir los resultados de las medidas realizadas desde la aplicación.
- Validación de los resultados obtenidos a través de la aplicación en instancias definidas para este propósito en coordinación con el Cliente.

- Documentación de todo el proyecto, incluyendo una sección a pedido del cliente y dedicada a presentar posibles mejoras a futuro de la aplicación.

10.4 Tareas pendientes

En cuanto a tareas pendientes, al principio se había fijado como una de las posibles medidas a realizar por la aplicación, la de throughput UDP aparte de throughput TCP. En ese momento se había pensado en una forma de medirlo, que como implicaba instalar aplicaciones en los servidores de Ceibal, poco después fue descartada. Por razones de tiempo, al no encontrar una forma fácil de realizar la medida, que no implicara la instalación de otras aplicaciones en los servidores de Ceibal, se decidió descartar la idea de medir throughput UDP.

Otra tarea pendiente es completar la validación de la aplicación fijada en combinación con el cliente. En este sentido, se completó una de las instancias fijadas para este propósito (pruebas en ambiente real), quedando pendientes la demostración y la capacitación a los técnicos de Ceibal.

10.5 Evaluación de la planificación del proyecto

En cuanto a la planificación realizada al principio del proyecto, se puede decir que como guía fue efectiva. Si bien algunas tareas se estimaron como más largas de lo que en realidad resultaron y viceversa, el orden de ocurrencia de las tareas determinantes a la hora de estimar la duración del proyecto, fue respetado.

En cuanto a si la cantidad de horas/hombre previstas para el desarrollo de este trabajo fue la indicada, quedan serias dudas. Al principio se estimaron alrededor de unas 400 horas/integrante del grupo para la realización de las actividades planificadas. Al día de hoy, al finalizar este trabajo, si bien no se ha contado hora por hora el tiempo trabajado, considerando la organización que se ha llevado a cabo hasta ahora, se puede estimar un total de 800 horas/hombre para el desarrollo de este proyecto. Cabe notar que en este tiempo están contadas las actividades que llevaron a la implementación de funcionalidades que no estaban previstas al principio. La conclusión que se extrae de esto es que si bien no se puede decir que la planificación fue mala, el desarrollo de una actividad de este tipo puede tomar más tiempo del que se espera a priori, por lo que siempre es bueno contar con márgenes.

10.6 Posibles mejoras a futuro

Como se mencionó antes a pedido del cliente, y como parte de la instancia de validación de este trabajo, se planteó la idea de plasmar en el documento posibles mejoras a futuro para la aplicación.

Estas mejoras, en algunos casos son ajustes que se entiende que deberían realizarse para lograr un mejor funcionamiento de la aplicación, y en otros, posiblemente la mayoría, consisten en la incorporación de nuevas funcionalidades, que por cómo se fue desarrollando la aplicación, se han planteado como inquietudes que han surgido de forma natural.

10.6.1 Mejoras al funcionamiento de la aplicación

- Existen algunos valores que la aplicación actualmente fija por defecto, por ejemplo el número de escaneos realizados en el descubrimiento de redes visibles. Para darle flexibilidad al usuario sería interesante implementar un menú de configuración que le permita cambiar estos valores.
- Al realizar las pruebas de validación de las medidas del Estado del Aire, se observó que la tarjeta de red utilizada por Ceibal (*Airpcap*) es más sensible que la utilizada por *Zorzal* actualmente. Resulta de interés ejecutar la aplicación con esta tarjeta.

10.6.2 Nuevas funcionalidades a futuro

A lo largo del desarrollo de la aplicación surgieron nuevas inquietudes. Algunas se plasmaron en la implementación de funcionalidades adicionales a las requeridas al comienzo de este trabajo. Un claro ejemplo se presenta en el caso de las medidas del Estado del Aire, específicamente en el porcentaje de tiempo en el aire ocupado por cada estación conectada a un AP. Esta medida no estaba dentro de las funcionalidades iniciales del programa, pero surgió de forma natural, al ver la información que podía ser recolectada de los encabezados de las tramas. Al comenzar a realizar pruebas utilizando la aplicación, se pudo apreciar la gran ventaja que aporta contar con esta funcionalidad.

En lo que sigue de la sección se presentan aquellas funcionalidades que la aplicación aún no presenta, simplemente por cuestiones de tiempo, pero que podrían llegar a implementarse fácilmente fuera de la instancia de proyecto.

EJECUCIÓN DE VARIAS MEDIDAS DE FORMA PARALELA:

Una inquietud que surge de forma natural es la siguiente: ¿Qué pasaría si la aplicación pudiera realizar las medidas del estado del aire paralelamente a las medidas de throughput?

Resulta muy interesante la idea de poder explicar un resultado poco alentador de throughput, utilizando las herramientas desarrolladas para ver el Estado del Aire. Esta gran utilidad ha sido comprobada varias veces al realizar, por ejemplo, las pruebas de validación (ver *Capítulo 9*), donde se han ejecutado más de una vez las medidas del Estado del Aire paralelamente a las de throughput, utilizando una computadora para cada una de las dos mediciones.

MAPEO DE THROUGHPUT CON QUE TRAFICAN LAS ESTACIONES CONECTADAS AL AP:

¿Qué pasaría si la aplicación fuese capaz de medir el throughput de cada estación conectada al AP de interés? En ese caso, se obtendría algo así como un mapeo del throughput con el que están traficando todas las estaciones conectadas, lo que puede ser útil a la hora de completar el diagnóstico del estado de la red. Actualmente la aplicación permite conocer el factor de carga y la cantidad de estaciones conectadas a la red (entre otras cosas), por lo que como complemento podría resultar interesante conocer qué throughput está obteniendo de la red cada estación. Esta medida se realizaría en base a la información recolectada a partir de las capturas del Estado del Aire.

DIFERENCIACIÓN DE TIPOS DE TRÁFICO A NIVEL DE CAPAS SUPERIORES:

Como se mencionó antes, las medidas del Estado del Aire incluyen el porcentaje de tiempo ocupado por los distintos tipos de tráfico existentes a nivel de capa 2. Aunque la aplicación permite ver cuánto tiempo ha sido ocupado por un tipo especial de tráfico a nivel de capa de aplicación (MDNS), la diferenciación se hace a nivel de capa 2.

Podría resultar de interés conocer como se reparte el aire entre los diferentes tipos de datos existentes a nivel de capas superiores. Por ejemplo, a nivel de capa 4 se podría ver cuánto tráfico corresponde al protocolo TCP y cuánto a UDP. Incluso yendo a capas superiores, podría ser interesante ver cuánto tiempo en el aire está siendo ocupado por tráfico HTTP, como para tener una idea de cuánto se navega en Internet en un local.

ESPACIO-REFERENCIAMIENTO DE LAS MEDIDAS DE THROUGHPUT Y RETARDO:

Al observar que se logró obtener una medida de la cobertura de los APs de forma espacio-referenciada, surgió otra inquietud: ¿Qué pasaría si la aplicación fuese capaz de espacio-referenciar las otras medidas?

Resulta interesante poder contar con un mapa que además de presentar la información de la cobertura de los APs en cada punto (nivel físico), muestre información referida a la calidad en la comunicación percibida por el usuario.

INTEGRACIÓN DE LAS MEDIDAS DE THROUGHPUT Y RETARDO A *Yacaré*:

Como se mencionó antes, *Yacaré* realiza medidas de cobertura outdoor de forma geo-referenciada. La aplicación desarrollada en este trabajo está pensada para tomar medidas a nivel indoor, aunque algunas de las medidas que presenta podrían ser ejecutadas a nivel outdoor. Este es el caso de las medidas de calidad en la comunicación percibida por el usuario es decir, throughput y retardo. Considerando la gran utilidad de *Yacaré* como software diseñado para la toma de medidas a nivel outdoor, resulta razonable reunir esfuerzos para complementar las medidas de cobertura que actualmente proporciona con las medidas de throughput y retardo.

11 Conclusiones

11.1 Trabajo realizado

Este proyecto surge con el objetivo de brindar al Plan Ceibal una herramienta capaz de evaluar el desempeño de la red en su tramo wireless. Como conclusión general se puede afirmar que al día de hoy este objetivo fue más que cumplido, incluso llegando más allá de lo previsto. En general, se han implementado medidas a un nivel más profundo que el propuesto en una primera instancia, brindando así información adicional a la ya prometida en un principio.

Se desarrolló y testeó una aplicación que calcula parámetros que permiten concluir sobre la performance de la red Ceibal. Los parámetros de performance incluidos en la aplicación logran dar una idea global de la situación de la red. Se incluyeron medidas que apuntan a analizar el estado del medio, así como medidas orientadas a la calidad percibida por el usuario. Además, se logró incluir una medida del estado físico del canal por el cual se cursan los datos (cobertura indoor).

Se creó exitosamente una interfaz gráfica que le ofrece al usuario una mirada integradora de los parámetros que la aplicación calcula, dada su estructura de pestañas que permite incorporar todas las funcionalidades de la aplicación en una única ventana.

Se considera que el producto creado será de gran ayuda para el cliente. Esto es debido a que la aplicación, además de brindar la posibilidad de realizar mediciones de parámetros que actualmente no son medidos por el cliente, automatiza otras ya implementadas. Es decir, al día de hoy el cliente cuenta con la posibilidad de realizar algunas de las medidas que implementa la aplicación desarrollada, pero de forma independiente entre sí. Sin embargo, con esta nueva herramienta es posible integrar las medidas en una sola aplicación automática, pensada para satisfacer los requerimientos del cliente y con el objetivo de facilitar las tareas.

Todo este trabajo se logró realizar antes del 30 de abril de 2010, cumpliendo con la fecha límite para el proyecto fijada en un comienzo.

Por todo lo anterior, se puede decir que los autores de este trabajo están más que satisfechos con los logros alcanzados.

11.2 Aprendizaje

Se puede decir que el desarrollo del proyecto se dividió en distintas etapas, las cuales se detallan a continuación.

En los comienzos de esta tarea, la atención estuvo focalizada en pensar en la base y los fundamentos del trabajo a realizar. Es decir, luego de pensar en las necesidades del cliente y luego de investigar las herramientas con las cuales el mismo cuenta actualmente, se logró llegar a un acuerdo entre todas las partes (entiéndase autores, tutor y cliente), en donde se detallaron las funcionalidades deseadas y algunos lineamientos en cuanto a cómo iban a ser llevadas a cabo. Se puede decir que en esta etapa, se concentra la mayor parte de la investigación que se llevó a cabo durante el correr de todo el pasado año, y donde se reflejan los conceptos ingenieriles que aportan al presente proyecto.

Luego de haber culminado la etapa descripta anteriormente, se pasó a investigar el lenguaje de programación elegido: Python. Al igual que con Linux, al comienzo existieron algunas dificultades debido a que ninguno de los tres integrantes contaba con experiencia previa. Sin embargo, dichas dificultades fueron superadas, logrando que hoy en día los tres autores cuenten con experiencia en dicho lenguaje.

Una vez que se contó con la implementación de todas las funcionalidades y la interfaz gráfica, se procedió a la etapa de validación de la aplicación. En esta etapa surgieron algunos problemas que no habían sido previstos debido a que la validación se realizó en ambientes reales. Esto último resultó en un nuevo desafío, incentivando a los autores a continuar con la etapa de investigación y pruebas.

En cuanto al desarrollo personal de cada uno de los autores existe una gran satisfacción debido a que se han tenido experiencias sumamente enriquecedoras, no solamente a nivel curricular, sino también extracurricular. Las exigencias en cuanto al conocimiento técnico que se presentan en este proyecto de fin de carrera llevaron a que cada uno de los integrantes adquiriera experiencia en algo tan importante como la investigación de tecnologías desconocidas por los mismos. Esto último lleva a otra etapa de crecimiento, de igual o mayor importancia, y es la que concierne la adaptación de los conocimientos adquiridos a lo que se desea desarrollar. Por último, pero no menor, es importante destacar la importancia del trabajo en equipo llevado a cabo por este grupo de proyecto. Por todo lo anterior, se considera que este proyecto ha sido un importante acercamiento al mundo laboral del ingeniero, lo cual es considerado fundamental por los autores de este proyecto.

Anexos

Tarjeta en *modo monitor*:

Una tarjeta en *modo monitor* es aquella que es capaz de capturar todas las tramas que se trafican en una cierta banda de frecuencias. Para reconocer que una tarjeta está efectivamente capturando en *modo monitor*, se debe analizar la captura y lograr determinar que se tiene tráfico de datos Unicast en ambos sentidos de la comunicación entre dos dispositivos inalámbricos.

Es muy común tener tarjetas que si bien soportan *modo monitor*, sin el driver adecuado sólo capturan tráfico de control, management y datos Broadcast y Multicast, pero no de datos Unicast; o incluso que capturen datos Unicast pero lo hagan en uno sólo de los sentidos. Dado que se tienen tarjetas que capturan en lo que sería un modo “pseudo-monitor”, es muy importante realizar el chequeo de tener tráfico Unicast en ambos sentidos para asegurar que la combinación driver-tarjeta proporcionan lo que se está buscando.

Para el caso de la tarjeta que utiliza *Zorzal* (chipset: rtl8187b) y con Ubuntu 9.04 kernel version 2.6.28-14-generic, para que la misma capture en *modo monitor* se siguieron los siguientes pasos:

- Instalar el paquete aircrack-ng:

```
sudo apt-get install aircrack-ng
```

- Parchear el driver rtl8187 (que viene por defecto con Ubuntu) con el parche para que capture con aircrack:

```
wget http://dl.aircrack-ng.org/drivers/rtl8187\_linux\_26.1010.zip
unzip rtl8187_linux_26.1010.zip
cd rtl8187_linux_26.1010.0622.2006/
wget http://patches.aircrack-ng.org/rtl8187\_2.6.24v3.patch
tar xzf drv.tar.gz
tar xzf stack.tar.gz
patch -Np1 -i rtl8187_2.6.24v3.patch
make
sudo make install
```

- Crear la interfaz en *modo monitor*:

```
sudo airmon-ng start interfaz
```

Luego de estos pasos se crea una interfaz virtual con nombre *mon0* en la cual se puede capturar en *modo monitor*. Para chequear que los pasos fueron exitosos, observar que en la captura haya tráfico de datos Unicast de todas las estaciones traficando, en ambas direcciones.

Referencias

- [1] Wireless-tools for Linux
- [2] Monografía de redes Mesh - 802.11s. Proyecto de Fin de Carrera. Facultad de Ingeniería. UDELAR
- [3] Active Antenna. OLPC. http://wiki.laptop.org/go/Active_Antenna
- [4] Python_wifi. Python Library. <http://pypi.python.org/pypi/python-wifi>
- [5] Redes Mesh. OLPC. http://wiki.laptop.org/go/Mesh_Network_Details
- [6] 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. Matthew Gast. O'Reilly. 2002.
- [7] Librería matplotlib. <http://matplotlib.sourceforge.net>
- [8] Redes de Computadoras 4ª Edición. Andrew S. Tanenbaum. Pearson - Prentice Hall. 2003
- [9] Documentación del Proyecto Yacare. Proyecto de Fin de Carrera. Facultad de Ingeniería. UDELAR
- [10] Tutorial de Python. <http://docs.python.org/tutorial>
- [11] IEEE 802.11 Handbook. Bob O'hara, Al Petrick. 1999
- [12] Glade a User Interface Designer for GTK+ and GNOME. <http://glade.gnome.org>
- [13] Medidas de Performance en la red CEIBAL. Matías Mateu. Trabajo final del curso de Evaluación de Performance en Redes de Telecomunicaciones. 2008
- [14] Ubuntu: SSH - SCP. <http://qazrix-ubuntu.blogspot.com/2007/08/ssh-scp.html>
- [15] Wireless airtime analysis. http://wiki.laptop.org/go/Wireless_Artime_Analysis
- [16] Estudio del Parámetro Quality de la XO. Andrés Nacelle. Informe técnico del Plan Ceibal. 2009