



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
ING. ELÉCTRICA – TELECOMUNICACIONES

URBIROW: Mecanismo de estimación de dirección de
nodos móviles en una red oportunista WiFi para la mejora
de la calidad de las ciudades modernas.

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA EN
TELECOMUNICACIONES

PRESENTA:
ING. JULIO CÉSAR LÓPEZ MORENO

TUTOR:

DR. JAVIER GÓMEZ CASTELLANOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CD. UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO.

ENERO DE 2017

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. José María Matías Maruri
Secretario: Dr. Rangel Licea Víctor
1 er. Vocal: Dr. Javier Gómez Castellanos
2 d o. Vocal: Dra. María Elena Lárraga Ramírez
3 er. Vocal: Dr. Michael Pascoe Chalke

CD. UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Javier Gómez Castellanos

FIRMA

Agradecimientos

Agradezco a cada uno de mis profesores en esta Maestría en especial a mi tutor Dr. Javier Gomez por brindarme la oportunidad de ser su tutelado permitiéndome adentrarme en un área que me resulta de gran interés. Al Dr. Víctor Rangel un profesor de gran nivel y entrega profesional y Dr. Sergi quien brinda grandes oportunidades de desarrollo y capacitación. A los tres quiero agradecerles el esfuerzo realizado para que este posgrado sea de gran calidad y talla internacional preparando y apoyando a nosotros los alumnos con herramientas teóricas y de aplicación en la industria como certificaciones y cursos.

Quiero también agradecer el apoyo económico recibido por el CONACYT “El pan de cada día” y al proyecto PAPIIT IN 117017.

Agradezco a mis compañeros y amigos de la maestría especialmente a Andrés “Burbano”, Octavio, Mariela “Maye”, Miguel, Bernardo... Gracias por su apoyo y la ayuda prestada, recuerden que más que un compañero de escuela, en Julio Cesar siempre encontraran a un amigo.

Quiero agradecer indudablemente a mi familia, pero especialmente a mis padres, y quiero recalcar que digo padres en plural. Si, lo digo en plural porque quiero agradecer a:

Mi padrino Hugo y mi madrina Karla quienes son mis ejemplos a seguir de día y mis amigos de noche.

Adrián y Marilyn, mis padres consentidores mis padres chavo-rucos quienes admiro y quiero mucho.

Diego y Maythe mis padres siempre padres, mis padres siempre pendientes de mi, los cuatro brazos extras para los más importantes en mi vida mis padres.

Quisiera agradecerle a mi papá “mi apá” Rafael y mi mamá “mi amá” Elizabeth por tantas cosas, pero por el momento quiero decirles gracias por ser mis padres, gracias por su apoyo, gracias por estar siempre para mí, los amo con todo mi corazón.

Maria René “Nene”, Renata “Rena”, Adrián Enrique, Montserrat, Carlos “Seco”, Daniel “Pantera”, Luis, Guadalupe “Güada-lupe” Valeria “Vale”, Paloma no crean que los he olvidado. Ustedes mis hermanos también han sido parte muy importante de mi vida y en especial de esta etapa que está por concluir y con quienes también abro una nueva etapa.

A todos muchas gracias.

Tabla de contenido

Agradecimientos	III
Tabla de contenido	I
Lista de figuras	II
Índice de tablas	III
Glosario	IV
Capítulo 1 Introducción	1
1.1. <i>Introducción.....</i>	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
1.2. <i>Objetivo.....</i>	<i>3</i>
1.3. <i>Justificación.....</i>	<i>3</i>
1.4. <i>Contribución.....</i>	<i>3</i>
1.5. <i>Estructura y metodología.....</i>	<i>4</i>
Capítulo 2 Antecedentes y estado del arte	6
2.1. <i>Antecedentes generales.....</i>	<i>6</i>
2.2. <i>Antecedentes de localización y posicionamiento</i>	<i>7</i>
2.3. <i>Estado del arte</i>	<i>12</i>
Capítulo 3 Urbirow - Estimación de dirección de personas en una ciudad	16
3.1. <i>Urbirow</i>	<i>16</i>
3.2. <i>Desarrollo experimental del algoritmo.....</i>	<i>17</i>
Capítulo 4 Aplicación y utilidad	44
4.1. <i>Introducción a urbirow y los patrones de movilidad ..</i>	<i>44</i>
4.2. <i>Simulación y detección de nodos móviles con movilidad simple.....</i>	<i>44</i>
4.3. <i>Simulación y detección de nodos móviles con movilidad wdm.</i>	<i>53</i>
4.4. <i>Mapas de flujo oportunista – MFO.....</i>	<i>61</i>
Capítulo 5 Conclusiones y trabajo futuro.....	67
<i>Referencia.....</i>	<i>69</i>

Lista de figuras

FIGURA 1. ESCENARIO 1: "CAMINA & ESPERA"	21
FIGURA 2. GRÁFICA DE RSS, EXPERIMENTO 1: "CAMINA & ESPERA"	22
FIGURA 3. ESCENARIO 2: "GIRO D/I"	23
FIGURA 4. GRÁFICA DE RSS, EXPERIMENTO 2: "GIRO D/I"	24
FIGURA 5. ESCENARIO 3: "AUTOMÓVIL EN MEDIO"	25
FIGURA 6. GRÁFICA DE RSS, ESCENARIO 3: "AUTOMÓVIL EN MEDIO"	26
FIGURA 7. ESCENARIO 4: "CAMINATA"	27
FIGURA 8. AP DE TRES ANTENAS, CONFIG. 00	27
FIGURA 9. GRÁFICA DE RSS, EXPERIMENTO 4: "CAMINATA"	29
FIGURA 10. MUESTREO PARA LA SEÑAL RECIBIDA RSS DE IDA.	36
FIGURA 11. MUESTREO PARA LA SEÑAL RECIBIDA RSS DE REGRESO	36
FIGURA 12. MUESTRA DEL INTERVALO DE CONFIANZA DE LA SEÑAL RECIBIDA RSS DE IDA.	37
FIGURA 13. MUESTRA DEL INTERVALO DE CONFIANZA DE LA SEÑAL RECIBIDA RSS DE REGRESO	37
FIGURA 14. VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS SEGÚN INTERVALO DE CONFIANZA AL 90% PARA EVENTO DE IDA	38
FIGURA 15. VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS SEGÚN INTERVALO DE CONFIANZA AL 90% PARA EVENTO DE REGRESO.	39
FIGURA 16. VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS SUPERPUESTOS SEGÚN INTERVALO DE CONFIANZA AL 90% (IDA Y REGRESO)	40
FIGURA 17. EVALUACIÓN DE HIPÓTESIS "MAYOR QUE,>Q" Y "PENDIENTE"	41
FIGURA 18. SIMULACIÓN Y DETECCIÓN DE NODOS MÓVILES CON 100,50 20 APs EN THE ONE.	48
FIGURA 19. RUTA REAL Y ESTIMADA (LÍNEA ROJA) DE NODOS MÓVILES PARA 100, 50 Y 20 APs.	50
FIGURA 20. ERROR (%) EN LA ESTIMACIÓN DE LA UBICACIÓN DE NODOS MÓVILES PARA 100, 50 Y 20 APs.	51
FIGURA 21. TRAYECTORIA DE NODO MÓVIL EN SIMULADOR THE ONE	52
FIGURA 22. TRAYECTORIAS DE NODO MÓVIL, REAL Y ESTIMADA (LÍNEA ROJA CON CÍRCULOS) SIMULADA. ..	52
FIGURA 23. CONFIGURACIÓN DE UN GRUPO DE NODOS MÓVILES CON EL MODELO WDM EN EL SIMULADOR THE ONE.	55
FIGURA 24. CONFIGURACIÓN DE UN GRUPO DE AUTOBUSES EN ESCENARIO WDM	56
FIGURA 25. CONFIGURACIÓN DE TAXIS CON BASE EN UN GRUPO TIPO AUTOBÚS EN ESCENARIO WDM	57
FIGURA 26. RUTAS ESTIMADAS DE NODOS MÓVILES (Mx) ENTRE LAS 12 Y 14 HORAS DEL DÍA.	59
FIGURA 27. ÁREA DE SIMULACIÓN PARA EL MODELO WDM	59
FIGURA 28. ÁREA SIMULADA EN THE ONE CON APs Y NODOS MÓVILES.	60
FIGURA 29. RUTAS ESTIMADAS DE NODOS MÓVILES Y APs DE ALTO FLUJO PEATONAL	65
FIGURA 30. CLÚSTERS CON BASE EN APs DE ALTO FLUJO PEATONAL.	65
FIGURA 31. NUMERO DE EVENTOS VHMD POR HORA AL DÍA.	66

Índice de tablas

TABLA 1. RESUMEN DE EXPERIMENTOS 1,2,3,4.	31
TABLA 2. EXPERIMENTO 4 CON DIFERENTES CONFIGURACIONES EN LAS ANTENAS.	32
TABLA 3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS HIPÓTESIS.	42
TABLA 4. RESUMEN DE ESCENARIO WDM.	54
TABLA 5. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN GENERAL PARA NODOS MÓVILES.	55
TABLA 6. RESUMEN DE APs CON MAYOR VHMD, FHP Y FH DÍA.	62
TABLA 7. CLÚSTERS, APs ABSORBIDOS Y ESTADÍSTICAS DE FLUJO.	64

Glosario

WSN. “Wireless Sensor Network” Redes Inalámbricas de Sensores

URBIROW. Mecanismo para la estimación de la dirección de nodos móviles en una red oportunista WiFi.

LORAN. LOng RAnge Navigation, navegación de largo alcance. es un sistema de ayuda a la navegación electrónico hiperbólico.

RADAR. “Radio detection and ranging” o detección y medición [de distancias] por radio”. Primer sistema de localización y posicionamiento basado en ondas electromagnéticas.

RTLS. Real Time Location System. Sistema de Localización en Tiempo Real.

WiFi. “Wireless Fidelity”. Mecanismo de conexión inalámbrico que usa el estándar IEEE 802.11

Zigbee. Especificación de un conjunto de protocolos de alto para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4.

DTN. Delay Rolerant Networks.Redes Tolerantes a Retardos.

PDRs Pick ups and Drops taxis

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

En este capítulo se describe principalmente la necesidad o problema a atacar en la tesis y asu vez las contribuciones que se obtienen del presente trabajo.

Con la gran popularidad que han tenido los dispositivos móviles es fácil encontrarlos en cualquier parte de nuestras ciudades. La alta densidad de estos dispositivos nos permite usar redes inalámbricas privadas y públicas desplegadas en las ciudades para emular una Red Inalámbrica de Sensores (WSN) [1] [2]. Esta red inalámbrica es de tamaño Metropolitano (MAN), y en ella se puede compartir y obtener información global del movimiento de los usuarios móviles dentro de la ciudad.

Conforme las ciudades crecen, servicios como las comunicaciones, el desarrollo de vivienda y el transporte público resultan cada vez más complicados y críticos. Por esta razón es necesario disponer de herramientas e información actualizada acerca de la movilidad de sus habitantes para mejorar la planeación de servicios. Dicha información debe ser actualizada y estar disponible en periodos relativamente cortos (horas, por ejemplo). Lo anterior es radicalmente opuesto a los métodos tradicionales de obtención de información relacionada con los habitantes de una ciudad. Uno de estos métodos tradicionales sería el censo poblacional que se realiza en la mayoría de los países alrededor del mundo cada determinado número de años. En México, por ejemplo, actualmente el único mecanismo que se tiene para conocer los hábitos de movilidad de los

habitantes es el censo de población que se realiza cada 5-10 años. El censo del 2010 en México tuvo un presupuesto multianual para los últimos tres años previos de 5,450 millones de pesos, es decir, 48 pesos por persona. Dado todo lo anterior se hace necesario disponer de métodos más económicos, y sobre todo que proporcionen información con una resolución de horas acerca del comportamiento y movilidad de los habitantes para diseñar mejores soluciones con respecto a la seguridad, transporte, movilidad, vivienda, comercio y comunicación que mejoren la calidad de vida de los habitantes en una ciudad.

Una red WSN-MAN formada por dispositivos WiFi permitiría monitorear la movilidad de los usuarios en una ciudad para mejorar el desarrollo y planificación de los servicios que la ciudad ofrece a sus habitantes. A la fecha del desarrollo de esta tesis no es de mi conocimiento la existencia de un trabajo que realice este estudio. Los trabajos más similares son aquellos que modelan el comportamiento y las características de movilidad de las personas en una calle o ciudad. De la literatura revisada, sin embargo, existen dos trabajos que en particular llaman la atención al ser de los pocos que aprovechan la información referente a los habitantes en su interacción con la ciudad para el desarrollo y planificación de servicios. Estos dos trabajos utilizan información de la ciudad para la planeación del transporte público. El primero aprovecha la información obtenida del transporte tipo taxi [3], y el segundo utiliza el modelado de la movilidad peatonal [4]. Estos dos trabajos dan una idea del beneficio que puede traer el estudio de la movilidad de los habitantes en la ciudad mediante una red inalámbrica de sensores metropolitana (WSN-MAN).

1.2. Objetivo.

El objetivo de esta tesis es realizar una investigación con el fin de modificar la operación del estándar IEEE 802.11 (WiFi) de tal manera que los puntos de acceso (AP) no solo reenvíen la información de y hacia terminales móviles, si no que también detecten la dirección con la que los nodos móviles atraviesan el área de cobertura de los APs. Se plantea utilizar las redes inalámbricas desplegadas bajo el protocolo IEEE 802.11 y el contacto de nodos móviles y fijos en un ambiente oportunista para crear un algoritmo que estime la dirección de nodos móviles. Dicho algoritmo será la base para el desarrollo de diversas aplicaciones, de las cuales se pretende estudiar e implementar las relacionadas con sistemas de localización, seguimiento, análisis de densidad y flujo de usuarios dentro de una ciudad.

1.3. Justificación.

La seguridad, el transporte, movilidad, vivienda, comercio y comunicación son algunos de los servicios y segmentos de mercado que las ciudades ofrecen a los habitantes. Para un buen aprovechamiento de estos servicios, estos deben de analizarse, planearse y desarrollarse de manera informada. Debido a lo anterior es necesario generar un método accesible y capaz de aprovechar la infraestructura desplegada de redes WiFi para obtener información del comportamiento y movilidad de los habitantes a lo largo del día.

1.4. Contribución.

- En este trabajo se introduce el concepto de una Red Oportunista WiFi

“ROW”. Consideramos que el concepto ROW nos permite explotar la infraestructura existente de telecomunicaciones WiFi y otras tecnologías para la obtención de información acerca de los patrones de movilidad de los habitantes de una ciudad.

- Introducimos una técnica de detección de la dirección de nodos móviles (URBIROW) mediante la medición de los niveles de señal medida “RSSI” al atravesar el área de cobertura de los APs. Proponemos un estudio de patrones de movilidad que permita mejorar el desarrollo y planificación de los servicios que la ciudad ofrece a sus habitantes.
- Proponemos un estudio de patrones de movilidad que permita mejorar el desarrollo y planificación de los servicios que la ciudad ofrece a sus habitantes.

1.5. Estructura y metodología

Para lograr el desarrollo de esta tesis se utilizaron técnicas conocidas de análisis bibliográfico basadas en SCOPUS, Web of Science e IEEE explore. Simultáneamente, se realizaron lecturas de libros, artículos y tesis que, complementadas con reuniones periódicas con el tutor, permitieron adquirir los conocimientos necesarios para desarrollar el proyecto. El trabajo de investigación se desarrolló en un ambiente de simulación con el software THE ONE [5] [6] [7] [8], y el análisis se realiza con ayuda del mismo y MATLAB. Estas permiten usar representaciones geográficas de nodos y simulación de comportamiento humano en una ciudad. La validación se realiza con la simulación de una aplicación sumado a algunos otros ejemplos extraídos de la literatura especializada. El sistema final se analiza en términos de sus posibles aplicaciones, desempeño y factibilidad.

A partir de esta sección, éste trabajo de tesis se encuentra organizado de la siguiente forma:

Capítulo 2: Antecedentes y estado del arte

En lo que al capítulo 2 respecta se presenta información en relación al surgimiento del concepto “ROW” y el mecanismo URBIROW, que se basan en el concepto de ciudades inteligentes y en la localización y posicionamiento de nodos móviles en una ciudad. El capítulo 2 presenta el estado del arte de nuestra investigación.

Capítulo 3: Urbirrow - Estimación de dirección de personas en una ciudad

El capítulo 3 presenta al método de detección de dirección de personas llamado URBIROW y como fue desarrollado dicho algoritmo de detección de personas.

Capítulo 4: Aplicación y utilidad

Encontrar la ubicación y trayectoria de varios nodos móviles sobre las calles de una ciudad usando diferentes números de APs es el tema principal del capítulo 4. En este capítulo también se introduce como resultado agregado el análisis de número de eventos para el diseño de sistemas de transporte público como el de autobuses.

Capítulo 5: Conclusiones y trabajo futuro.

En el quinto capítulo de esta tesis se presentan las conclusiones a las que se han llegado a lo largo de la investigación y las oportunidades para realizar un trabajo futuro y su aplicación fuera de un ambiente de simulación.

Capítulo 2

Antecedentes y estado del arte

2.1. Antecedentes generales

Debido al gran avance de la electrónica, existen dispositivos de tamaños muy pequeños y con capacidades de procesamiento y comunicación muy grandes comparadas con los que se tenían en décadas anteriores. Actualmente, se puede considerar un nodo a cualquier dispositivo con capacidad de procesamiento y comunicación, por ello, computadoras, servidores, teléfonos inteligentes, repetidores, entre otros, se consideran nodos de red. Los nodos pueden interconectarse ya sea de manera alámbrica (fibra óptica, cable coaxial, cobre y sus variantes de cableado como UTP, etc.) o de forma inalámbrica.

Existen actualmente muchos tipos de interfaces inalámbricas según los estándares de comunicación que definen su potencia, rangos, algoritmos y frecuencias de comunicación. Por ejemplo, por lo que respecta a redes de área local o personal tenemos WiFi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15) y ZigBee (IEEE 802.15.4). Los nodos pueden ser interconectados mediante uno o varios estándares inalámbricos de comunicación conformando una red inalámbrica. Los nodos inalámbricos pueden tener funciones muy variadas adicionales al envío, recepción y reenvío de información, y pueden formar parte de un sistema como, por ejemplo, para el sensado y localización de algún parámetro o dispositivo en ambientes como el campo y la ciudad.

2.1.1. Ciudades inteligentes.

En investigaciones científicas y en marketing es común ver el término “Smart City” o Ciudad Inteligente, sin embargo, aún no se ha consolidado una definición que rijan y que pueda determinar si una ciudad es o no inteligente. En lo que nos atañe, la definición que más se apega a nuestro objetivo es la descrita por el Centro de Innovación del Sector Público de PwC e IE Business School.: “Ciudad inteligente, es aquella que utiliza la tecnología para prestar de forma más eficiente los servicios urbanos y mejorar la calidad de vida de los habitantes” [9]. Cada ciudad es diferente, por lo que es congruente que cada ciudad tenga planes de desarrollo diferentes en función de su situación y demandas ciudadanas.

2.2. Antecedentes de localización y posicionamiento

El RADAR (patentado en 1935 por el escocés Robert Watson –Watt) fue el primer sistema de localización y posicionamiento basado en ondas electromagnéticas. El RADAR, que era capaz de detectar objetos en un radio determinado, se basaba en los principios de dispersión de una onda electromagnética al chocar contra un cuerpo sólido [10]. El Sputnik I (Octubre 4 de 1957), fue el primer satélite artificial puesto en órbita y marcó el comienzo de una nueva generación en los sistemas de localización y posicionamiento [11]. Tres años después entra en funcionamiento la red TRANSIT, un sistema de navegación satelital de Estados Unidos que era basado en el efecto Doppler.

Los sistemas de localización y posicionamiento en los últimos años no únicamente se han desarrollado en el ámbito satelital, sino de manera conjunta y paralela se han desarrollado sistemas basados en radiofrecuencia. Tenemos el caso de los sistemas de localización en tiempo real (Real Time Location System - RTLS), implementados en tecnologías WiFi, Bluetooth, RFID y Zigbee.

En lo que respecta a los métodos para la estimación de la ubicación de nodos dentro de redes inalámbricas podemos clasificarlos en dos grupos: por conectividad y por distancia.

- **Estimación por conectividad:** En este grupo se determina la ubicación mediante la detección de presencia de nodos vecinos. Aquí los métodos generalmente necesitan saber la cobertura, rutas y nodos en ruta de comunicación de un nodo respecto a otros.
- **Estimación por distancia:** En este grupo los métodos de localización requieren como información clave la distancia o el ángulo y distancia entre algunos de los nodos de referencia (nodos ancla).

Para ambos grupos es necesario contar con nodos de referencia que poseen una posición conocida. Estos nodos permiten entregar una posición absoluta de los nodos para los cuales se calcula la ubicación.

2.2.1. Estimación por conectividad

En estos métodos el nodo ancla posee una cobertura limitada a la vez que monitorea el resto de los nodos con ubicación desconocida en la red. Para un nodo ancla no es necesario estimar la distancia a la que está el nodo de ubicación desconocida. Si un nodo de ubicación desconocida detecta preferentemente a dos o más nodos de referencia, el nodo se encuentra en la intersección de la cobertura de los nodos de referencia [12].

2.2.2. Intersección hexagonal

Se utiliza el trazado de hexágonos con apotema de longitud correspondiente al radio de cobertura, los cuales se intersecan formando polígonos. Los polígonos,

o pseudo-hexágonos, poseen un centro cuyo valor es la ubicación del nodo [12] [13].

2.2.3. Ubicación aproximada en una triangulación de punto aproximado

Este método se basa en APIT (approximated point in triangulation), triangulación de punto aproximado y es un método de auto ubicación. El nodo de ubicación desconocida crea, a partir de grupos de tres nodos ancla, vértices para formar triángulos. Este procedimiento lo realiza con todos los nodos ancla posibles y realiza una superposición de los todos los triángulos dejando como ubicación el área intersecada por los triángulos [14].

2.2.4. Estimación por distancia

En este grupo, al saber la distancia entre nodo ancla y nodo de ubicación desconocida es posible estimar su posición por métodos como triangulación, trilateralización y multilateración [12].

2.2.5. Triangulación

En la triangulación, la distancia entre dos nodos ancla y el ángulo de llegada (AOA) de la señal proveniente del nodo a ubicar respecto a las antenas de nodos ancla son conocidas. Con las distancias y ángulos conocidos se realizan cálculos de trigonometría para determinar la ubicación antes desconocida del nodo.

2.2.6. Trilateración

La localización de un nodo mediante trilateración se determina con los tres nodos ancla más próximos. Para cada nodo ancla se trazan áreas circulares de radio igual a su distancia respecto al nodo de ubicación desconocida. Al trazar las áreas circulares estas se intersecarán en la ubicación antes desconocida del nodo.

2.2.7. Multilateración

En la multilateración se conocen la distancia entre dos nodos ancla y el ángulo de llegada (AOA) de la señal proveniente del nodo a ubicar. En este método no basta con tener dos nodos ancla debido a que se desea hacer el sistema muy preciso y conocer otras variables como la elevación del nodo o su posición en tres dimensiones.

2.2.8. Estimación de distancia entre nodos

Las distancias entre nodos en una red inalámbrica generalmente se estiman mediante los siguientes métodos:

- a) Tiempo de arribo de una señal (Time of Arrival, TOA).
- b) Tiempo diferencial del arribo de dos señales (Time Difference of Arrival, TDoA).
- c) Ángulo de arribo de una señal (Angle of Arrival, AoA).
- d) Intensidad o calidad de la señal recibida (Received Signal Strength Indicator, RSSI).

2.2.9. Tiempo de arribo de una señal

La determinación de la distancia por el tiempo de arribo de una señal es un método de tiempo de vuelo (Time of Flight, TOF). Se mide el tiempo de propagación de la señal enviada por un transmisor a un receptor y se estima la distancia con base en la velocidad con la que viaja la señal. Este método requiere de sincronización nodo-nodo ancla. Al contar con sincronización en tiempo, los nodos ancla pueden enviar peticiones para medir la distancia a algún otro nodo, quienes responderán con la información de tiempo de envío. De esta manera el nodo ancla podrá determinar la distancia entre nodos.

2.2.10. Tiempo de llegada diferencial

En este método se envían dos señales de frecuencias y velocidades diferentes, el receptor mide y compara los tiempos de llegada de ambas señales. De esta manera, y contando con la velocidad de propagación, se estima la distancia entre emisor y receptor. Si no se cuenta con sincronización entre nodo y nodo ancla, se puede estimar la distancia con base en la diferencia en tiempos de llegada de la señal del nodo de ubicación desconocida hacia dos o más estaciones base. Sin embargo, en este método debe de existir sincronización entre nodos ancla.

2.2.11. Ángulo de llegada

Este método es más complejo respecto al hardware para los nodos ancla, ya que necesitan arreglos de antenas capaces de medir el ángulo con la que incide la señal transmitida por un nodo. Los nodos medirán el ángulo de arribo a un punto de referencia. Generalmente, esto se realiza con un arreglo de antenas donde individualmente se mide el tiempo diferencial de llegada de la señal.

2.2.12. Intensidad de señal recibida

La intensidad de la señal recibida también conocida como RSSI (Received Signal Strength Indicator) es un parámetro muy fácil de estimar en las redes inalámbricas con el cual es posible estimar la distancia entre nodos. Existen relaciones (empíricas y teóricas) entre potencia recibida y potencia transmitida que envuelven a la distancia. Es por ello que es posible despejar y determinar la distancia entre nodos al conocer la potencia con la que fue transmitida una señal y con la que fue recibida. Sin embargo, con este método resulta complicado estimar la dirección de los nodos al desplazarse por un área cualquiera.

2.3. Estado del arte

El crecimiento de las ciudades alrededor del mundo ha traído consigo grandes necesidades, desde las relacionadas con las telecomunicaciones [15] [16] hasta vivienda y transporte [17]. La población urbana es predominante y se espera que continúe creciendo a medida que para el 2050, en el mundo, habrá un 34% de personas viviendo en un ambiente rural, lo que deja un 66 por ciento de personas viviendo en ambientes urbanos [18]. Lo anterior genera la necesidad de desarrollar nuevas técnicas de generación y obtención de información para el desarrollo y planificación de los servicios que la ciudad ofrece a sus habitantes.

La localización y comportamiento de las personas durante el transcurso del día es información clave para el desarrollo y planificación de servicios públicos.

Por lo que respecta a la localización de habitantes, el sistema de navegación satelital (satnav) utilizado para el sistema de posicionamiento global (GPS), la triangulación en una red celular, y bases de datos IP de dispositivos WiFi han tenido un gran auge en los últimos años. Los sistemas antes mencionados no solo se encuentran en constante mejora si no que sus principios básicos de funcionamiento han servido para el desarrollo de nuevos sistemas, técnicas o estándares de localización. Por ejemplo, el sistema de posicionamiento global (GPS) posee algunos principios de medición de tiempo de arribo y triangulación, y estos mismos se emplean en algunos sistemas de localización por WiFi y RFID, que se mencionan más adelante.

El grupo de trabajo IEEE 802.11_(mc) y WiFi Alliance se encuentran muy interesados en la estandarización de la localización con dispositivos WiFi, “WiFi Location”. Actualmente, se están implementando técnicas como la medición precisa del tiempo (FTM) [19] [20]. Ésta técnica consiste en medir el tiempo que le lleva a una señal “viajar” de uno a otro dispositivo (uno de los métodos de

tiempo de vuelo TOF). Para llevar a cabo esto, se considera que a una señal transmitida le toma 333 nanosegundos recorrer 100 metros. A estos dispositivos también se les está dotando con la capacidad para compartir ya sea su localización geográfica, dirección postal y/o el piso del edificio donde el AP se encuentre. Sin embargo, esta información por lo general debe de ser preestablecida en su configuración inicial. Sumada a éstas técnicas de localización tenemos aquellas donde se crean mapas sintéticos y neuronales [21], que van enfocadas a la obtención de varios tipos de información para determinar la localización de dispositivos.

Otra técnica de localización es la triangulación por menos de tres nodos. En ésta técnica se utilizan nodos virtuales [22] para la construcción de un polígono (diagramas de Voronoi) que encierra a cada nodo real y virtual. Los centros de los polígonos se unen y se traza la localización y ruta que sigue un nodo móvil.

En muchas ocasiones, las técnicas de localización como el caso de la medición fina del tiempo (FTM) de una señal que viaja del AP al nodo cliente (descrito anteriormente), parten del estudio de los fenómenos de propagación como retardos, atenuación e interferencia. En WiFi, se utilizan frecuencias de la portadora de radio muy grandes, ya sea del rango de 2.4 o 5 GHz, para transportar una gran cantidad de datos (kbps/s). Por ello, las caídas en la potencia de la señal RSS pueden ser grandes respecto a la distancia [23] y/o paredes y áreas arboladas. Por otro lado, el uso de las tarjetas RFID ha ido ganando terreno poco a poco, al igual que WiFi, y ambos han aprovechado los fenómenos de propagación de señales para el desarrollo de sistemas de localización [24] [25]. Estos sistemas pueden ser por determinación del Tiempo (TOA) [26] [27] o ángulo (AOA) de arribo de la señal transmitida. También se llega a implementar sistemas de localización por diferencial de tiempo (TDOA) [28] [29] [30], fase (PDOA) o frecuencia (FDOA) de arribo de varias señales.

Una de las técnicas más utilizadas actualmente para localización y que parten de fenómenos de propagación y de la fuerza de la señal recibida es el “Fingerprinting”, o indicadores de la potencia de la señal RSS (RSSI). Esta técnica consiste en la creación previa de un mapa de RSSIs de los APs que son comparadas con las lecturas actuales de RSS del nodo móvil o AP [31] [32] [33].

El comportamiento humano sigue patrones de movilidad guiados por actividades tales como ir a trabajar, salir a comer, visitar amigos, realizar alguna actividad recreativa y regresar a sus casas, sin olvidar el viajar fuera de la ciudad [34] [35]. El estudio de este comportamiento es muy importante para el diseño de sistemas de telecomunicaciones, desarrollo urbano, y planeación de servicios en las ciudades. En el artículo “Opportunistic Communication and Human Mobility [36]”, se estudia la movilidad peatonal en términos de redes ad-hoc y redes tolerantes a retardos (DTN), para la evaluación de la comunicación inalámbrica. La idea central de ese estudio es determinar bajo qué características de movilidad el comportamiento de la red se ve afectada, por ejemplo, por la llegada o salida de un nodo en la red y la interacción entre personas con dispositivos WiFi. A esta interacción y comportamiento de nodos la llaman oportunista, ya que pueden suceder un sin número de veces o por única vez, pero puede ser altamente aprovechada. Por ejemplo, nodos no pertenecientes a una misma red pueden comunicarse por una red en común o entregar y recibir mensajes en modo difusión. Existen ya algunos trabajos que aprovechan éste fenómeno oportunista para compartir información. Una de estas aplicaciones es el monitoreo de fenómenos como la poca luminosidad en áreas urbanas [37], utilizando únicamente las interfaces WiFi de nodos móviles. Dado lo anterior es posible emular una Red Inalámbrica de Sensores (WSN) [1] [2] pero de tamaño Metropolitano (MAN), donde se crea y comparte información global de algún fenómeno a monitorear. Esto se puede lograr al usar redes inalámbricas bajo el estándar 802.11 privadas y públicas desplegadas en ciudades modernas.

Una red WSN-MAN formada por dispositivos WiFi permitiría monitorear la movilidad humana a lo largo de la ciudad para el desarrollo y planificación de los servicios que la ciudad ofrece a sus habitantes. A la fecha del desarrollo de esta tesis no existe trabajo que realice exactamente este estudio. Tal vez los trabajos más similares sean los que modelan el comportamiento y las características de personas en una calle o ciudad. De la literatura revisada existen dos trabajos en particular que llaman la atención al ser de los únicos que aprovechan la información de la ciudad para la planeación del transporte público. Uno de ellos aprovecha información de los GPS instalados en los taxis y datos de abordaje y descenso (PDRs) de personas [3] para planear rutas bidireccionales de autobuses. En este trabajo se generan clústers de alta densidad de PDRs y con base a los clústers finales se definen puntos origen y destino. Los clusters finales en conjunto con el resto de clústers se introducen en un algoritmo para determinar rutas posibles. Del conjunto de rutas posibles se selecciona una la cual es la que puede transportar la mayor cantidad de personas dadas algunas condiciones y restricciones. El segundo trabajo que nos llama la atención es “Using Space Syntax to Model Pedestrian Movement in Urban Transportation Planning [4]”. En este trabajo se superponen algunos modelos de movilidad peatonal y tráfico motorizado, así como las redes de transporte público y de bicicleta, entre otros. Con la superposición de los modelos de movilidad los autores crean mapas de predicción de la movilidad del volumen peatonal esto para la planeación del transporte urbano en años futuros. Los dos trabajos anteriormente descritos dan una idea del beneficio que puede traer el estudio futuro de la movilidad humana en la ciudad.

Capítulo 3

Urbirow - Estimación de dirección de personas en una ciudad

3.1. URBIROW

En este capítulo se presenta URBIROW, un método que simula ser una red WSN para sensar el flujo de personas en una ciudad mediante la estimación de la dirección de nodos móviles en una red ROW. ROW es un acrónimo de “Red Oportunista WiFi”, que representa al conjunto de APs desplegados en una ciudad que tienen un encuentro oportunista (ocasional) con nodos móviles. La movilidad de los nodos es representada por un escenario “Working Day Movement, WDM”. El encuentro oportunista antes mencionado es aprovechado por los APs para estimar la dirección de uno o más nodos móviles en la ciudad. URBIROW utiliza un algoritmo de estimación de trayectoria que utiliza la infraestructura de APs, su limitada cobertura y las afectaciones en la fuerza de la señal recibida (RSS). Este algoritmo así como el desarrollo de URBIROW es presentado a continuación.

Para el desarrollo de URBIROW se ha realizado lo siguiente:

- Desarrollo experimental de algoritmo.
 - ✓ Estudio empírico de las afectaciones en la RSSI AP-nodo móvil.
- Simulación simple de movilidad de nodos.
- Simulación de detección de nodos móviles en movilidad simple.

- Simulación de nodos móviles en escenario WDM.
- Simulación de detección de nodos móviles en escenario WDM.

3.2. Desarrollo experimental del algoritmo

El algoritmo debe de contar con un elemento o dato importante con el cual sea posible estimar de la dirección de un nodo móvil. Este elemento debe de ser un parámetro que todos los nodos tengan en común y esté disponible en hardware comercial.

Debido a que la función principal de un nodo móvil es el envío, recepción y reenvío de información, todos los nodos cuentan con la característica de tener una tarjeta para comunicación inalámbrica. En caso de que estos nodos se comuniquen con WiFi, los nodos se registrarán bajo el estándar IEEE 802.11. Este estándar define el uso de los dos niveles inferiores; Enlace “MAC-LLC” y Físico “PHY” de la arquitectura o modelo OSI (Open System Interconnection) en una Red Inalámbrica de Área Local (WLAN).

Existe una modificación al estándar, 802.11 (IEEE 802.11k [38]), donde se hace notar la necesidad de la medición de los recursos de radio para aplicaciones de localización. Lo anterior es debido a que en la capa física de redes inalámbricas se encuentran parámetros útiles como la fuerza de señal recibida (RSS), tiempo de llegada (Time of Arrival, TOA), tiempo diferencial de llegada (Time of Difference Arrival, TDOA) y ángulo de llegada (Ángle of Arrival, AOA) que pueden utilizarse para estimar la ubicación de un nodo. Una ventaja de AOA sobre las demás, es que basta tener un arreglo de dos antenas para obtener una localización muy precisa de un nodo. Sin embargo, AOA no es un parámetro que se pueda obtener en equipos convencionales como teléfonos celulares los cuales

tienen capacidades básicas de conectividad. Debido lo anterior AOA no es un parámetro viable para considerar en este trabajo de tesis. Para el caso de TOA, o el diferencial TDOA, es necesario medir respectivamente el tiempo que transcurre cuando una o varias ondas se propagan de emisor a receptor. La distancia que existe entre emisor y receptor es directamente proporcional al TOA, y existe también una relación inversa del TOA respecto a la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas que viajan en el espacio libre. TOA o TDOA parecieran ser los parámetros que buscábamos para nuestro algoritmo. La cobertura habitual de nodos WiFi es de alrededor de 100 metros por lo que los TOA de las señales estarían en el orden de nanosegundos ($100\text{m} > 333.33\text{ns}$ a la velocidad de la luz).

Existe un estándar de “Temporización y Sincronización para aplicaciones sensibles al tiempo en redes de área local (IEEE 802.1AS)”, el cual es utilizado principalmente para aplicaciones de datos sincronizados de audio y vídeo sobre redes LAN (AVB). IEE 802.11AS fue introducido por la IEEE como 802.11TM-2012, donde se usa el Protocolo de Tiempo Preciso (PTP) para la Medición del Tiempo (TM) con una resolución de 10ns - 0.3m . Este estándar no está específicamente diseñado para aplicaciones relacionadas a la localización, lo cual ha llevado al desarrollo de IEEE802.11mc (por publicarse en 2016), donde se hace una Medición Fina del Tiempo (FTM) con una resolución de 10ns - 0.03m . Ambos estándares, IEEE 802.1AS y 802.11mc, pueden ser utilizados para aplicaciones de localización, pero requieren un hardware de reloj de alta precisión, por lo que su implementación no es posible con los dispositivos WiFi existentes lo que descarta la posibilidad de usar TOA o TDOA.

Finalmente, se considera usar la fuerza de señal recibida RSS en los nodos como parámetro para elaborar nuestro algoritmo. La fuerza de señal recibida es un parámetro muy sencillo de obtener y que no tiene grandes limitantes en hardware, es dependiente de la distancia y puede ser determinada fácilmente por APs o nodos móviles. Lo anterior hace que la fuerza de señal recibida o RSS sea un parámetro idóneo para el desarrollo de nuestro algoritmo.

La idea base de URBIROW es la estimación de la dirección de los nodos móviles en las vialidades peatonales de una ciudad. Por ello, es necesario estudiar el comportamiento de nuestro parámetro en calles y banquetas para modelar y recabar información que pueda contribuir al desarrollo del algoritmo.

3.2.1. Estudio de las afectaciones en la RSS AP- Nodo móvil

En toda comunicación que utiliza un medio inalámbrico, la intensidad de señal recibida pueden ser asociada a la distancia entre dos dispositivos, por ejemplo, AP-Nodo móvil. En una transmisión en espacio libre, es decir en el caso ideal sin obstáculos, la propagación se puede modelar mediante la ecuación de Friis (1). En este modelo la ganancia del receptor y transmisor son representadas por G_r y G_t , respectivamente, mientras que λ representa la longitud de onda y la distancia por la letra d . Siendo en esta ecuación P_t la potencia transmitida y P_r la potencia recibida en el receptor.

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2} \quad (1)$$

En un escenario real, sin embargo, la fuerza con la que las señales son recibidas no dependen únicamente de las atenuaciones debidas a la distancia. Hay 3 efectos principales que afectan la medición de RSS. En primer lugar, la potencia de recepción disminuye con respecto a la distancia, y lo hace inversamente con un factor mayor de d^2 a distancias cortas, y con un factor de d^4 a grandes distancias en términos de números de λ s. En segundo lugar está el “shadowing”, que es un efecto que se presenta a distancias relativamente grandes de λ s (aproximadamente 10 metros en interiores y 100 metros en exteriores). La distribución de potencias recibidas ocasionadas por shadowing generalmente se aproxima a una distribución gaussiana o normal centrada alrededor de su valor medio, y con un valor de desviación estándar que va de 6 a 10dB [23]. A esta distribución de potencia normalmente se le conoce como una Distribución Log – Normal. A distancias pequeñas, ocurren variaciones pequeñas en la intensidad de la señal recibida en el orden de $\frac{\lambda}{2}$. Estas variaciones se atribuyen al tercer efecto de la medición de RSS; la multitrayectoria es debida a las interferencias de fase destructiva o constructiva ocasionadas por las múltiples trayectorias de la señal que viaja del transmisor al receptor.

En resumen, podemos decir que la potencia recibida, o su representación en RSS, depende del escenario en el que el transmisor y receptor se encuentren. Por esta razón se decidió realizar un estudio práctico de las afectaciones de RSS para recabar información útil en el desarrollo del algoritmo. Se proponen a continuación una serie de experimentos referentes al movimiento de personas caminando al desplazarse por la ciudad en presencia de APs basados en el estándar IEEE 802.11.

3.2.2. Experimento 1: “Camina y Espera”.

El primer experimento se basa en el comportamiento realizado por una persona al cruzar una calle en la ciudad. Hoy en día es muy común que las casas, departamentos o edificios tengan puntos de acceso inalámbrico (AP) bajo el certificado WiFi para brindar a los usuarios acceso a la red local o servicios de internet. Al caminar por las aceras de la ciudad, bastaría con encender nuestro transceptor WiFi para ver los cientos de redes inalámbricas que difunden su identificador de red. Bajo esta premisa, es posible que al caminar por la acera exista un AP con el cual es posible que el WiFi del teléfono de la persona haga contacto. El escenario antes descrito se ha capturado de la siguiente manera, un AP se coloca aproximadamente a unos 40 metros del final de la acera mientras una persona con el WiFi de su teléfono encendido y en su bolsa camina a lo largo de la acera y se detiene por unos breves segundos antes de cruzar la calle (Figura 1). La misma persona vuelve a pasar por la misma acera, pero en sentido contrario, deteniéndose de nuevo por unos segundos y aproximadamente en el mismo lugar.

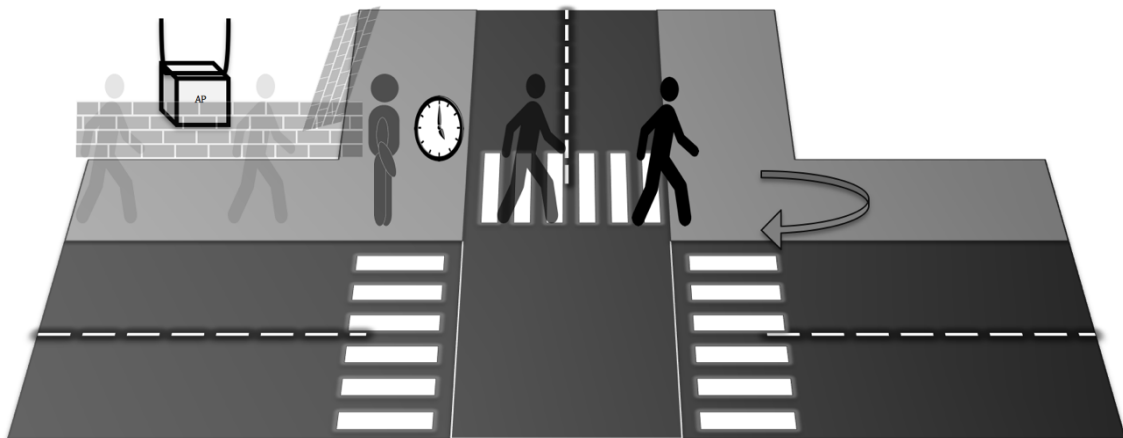


Figura 1. Escenario 1: "Camina & Espera"

En el escenario antes descrito se emula que el AP detecta al nodo móvil y se mide la intensidad de señal recibida. De forma general, como se puede ver en la Figura 2, el comportamiento de RSS es el de una distribución gaussiana o normal centrada alrededor de su valor medio. En el sentido de movimiento izquierda a derecha, representado en la gráfica por una línea con círculos, es posible notar como la RSS aumenta al aproximarse al AP, y pocos metros después decae de una forma un poco lineal respecto a la distancia. Para el movimiento de regreso (de derecha a izquierda), es posible ver como la RSS aumenta lentamente, llega a su valor medio y justo al pasar y dejar atrás al AP hay una caída notable en los valores de RSS.

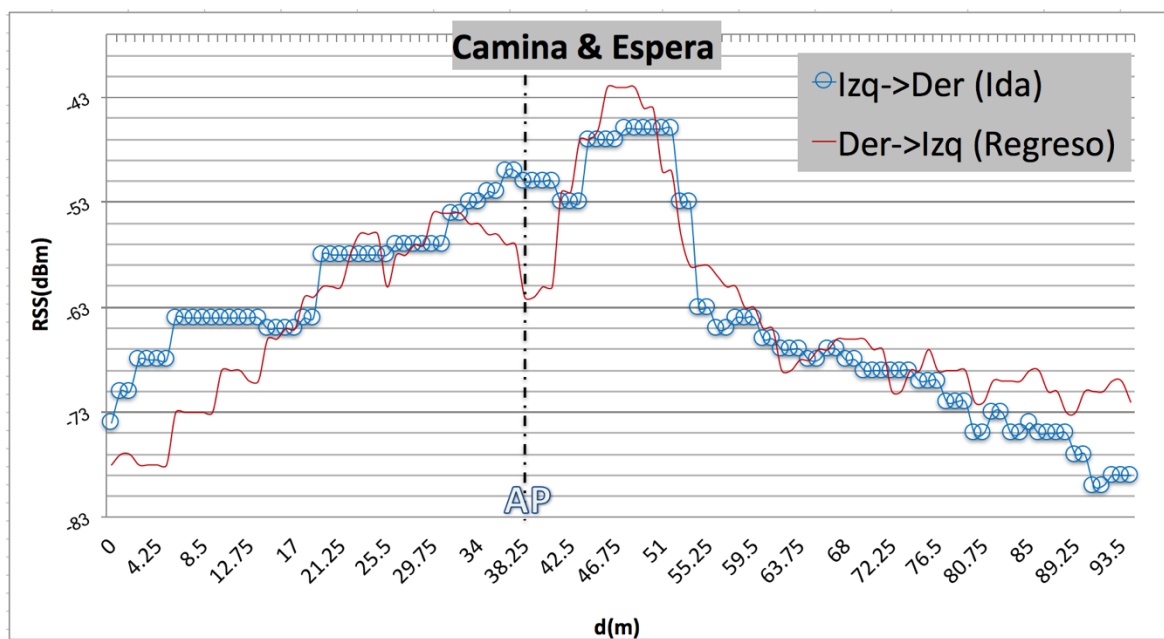


Figura 2. Gráfica de RSS, Experimento 1: "Camina & Espera".

3.2.3. Experimento 2: "Giro D/I"

Al caminar por la acera de una ciudad y llegar a su final no necesariamente se cruza la calle pues en muchas ocasiones viramos a la derecha o izquierda, según sea el caso. Es así que por simplicidad hemos llamado a este experimento como Experimento 2: "Giro D/I".

El escenario para este experimento es el siguiente: Un AP es colocado de la misma posición que en el Experimento 1, en este caso una persona con el WiFi de su teléfono encendido camina por la acera y gira a la derecha (Figura 3). De manera similar, cuando la persona hace un recorrido de la acera pero en sentido contrario al antes descrito, esta persona realiza un giro pero esta vez a su izquierda.

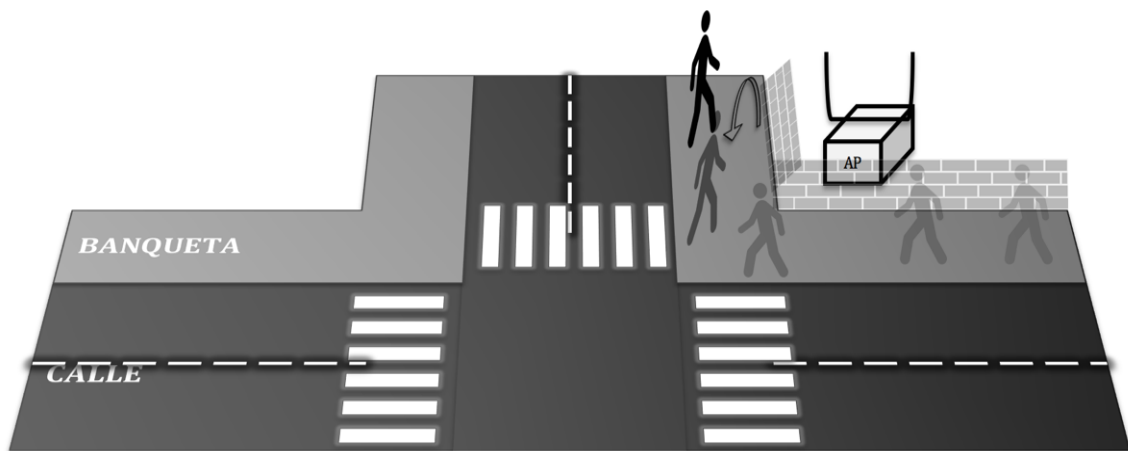


Figura 3. Escenario 2: "Giro D/I".

El comportamiento de la RSS es nuevamente capturado y se muestra en la gráfica por una línea con círculos cuando se realiza un giro a la derecha de la persona, y a su regreso por una línea simple que representa la trayectoria con el giro a la izquierda, como se puede observar en la Figura 4. Cuando se realiza el giro a la

derecha, justo al dejar atrás al AP, la señal decae un poco, pero a escasos metros del giro la señal decae abruptamente. En su regreso, al girar a la izquierda, el RSS aumenta considerablemente en el giro y a metros después de pasar por el AP vuelve a disminuir su valor. Es importante destacar que en el regreso, una vez que la persona deja atrás al AP, la señal de RSS jamás supera los valores obtenidos cuando se realiza un giro a la derecha.

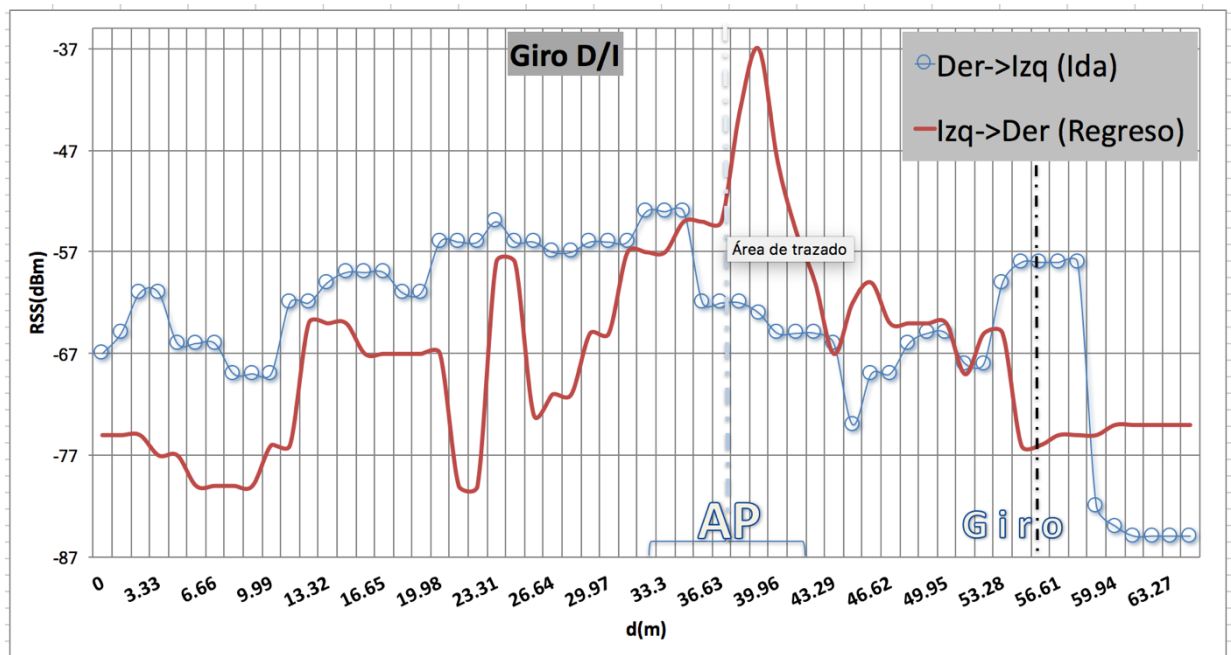


Figura 4. Gráfica de RSS, Experimento 2: "Giro D/I".

3.2.4. Experimento 3: "Automóvil en medio".

Ahora queremos capturar el comportamiento de la señal recibida (RSS) cuando una persona camina sobre la acera contraria de un automóvil estacionado y ver el efecto sobre el RSS cuando la señal es obstruida por un obstáculo. Para realizar este experimento se ha colocado un automóvil de aproximadamente 7 metros de largo por 2.2 metros de altura. En esta ocasión, nuestro AP se coloca al final del automóvil de manera que la persona con el teléfono y WiFi encendido (guardado en la bolsa) no pueda ver al AP, sino hasta llegar al final del automóvil (Figura

5). En un recorrido de regreso, la persona en su caminata tiene línea de vista con el AP, pero al llegar a lo que en su momento le llamamos “final del automóvil” pierde la línea de vista (Obstrucción de más del 40% de la primera zona de Fresnel).

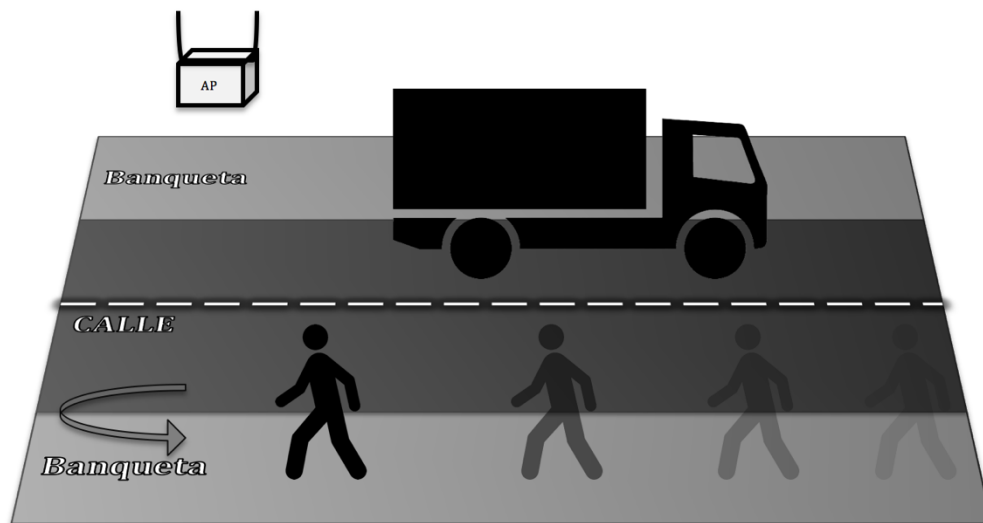


Figura 5. Escenario 3: "Automóvil en medio".

Al caminar en el primer caso no se tiene línea de vista al acercarse al automóvil. Era de esperarse entonces que la RSS mejore conforme se acerque al AP y fue así como sucedió, pero con una mejora de RSS muy pequeña debido posiblemente a la interferencia causada por el propio automóvil. Una vez que el automóvil deja de obstruir se esperaría nuevamente una mejora en la RSS, pero en realidad la señal decae ya que la persona empieza a alejarse del AP y su propio cuerpo obstruye la recepción de la señal proveniente del AP. El comportamiento representado por una línea plana en la gráfica de la Figura 6 corresponde al recorrido de regreso. En este caso, al encontrarse la persona de regreso se tiene

una mejora de RSS lineal desde valores muy pequeños de -85 dBm a valores de -65 dBm. Lo anterior es debido a que no se tiene línea de vista, el teléfono se encuentra muy distante del AP y solo se tienen las pequeñas contribuciones de multitrayectoria. A los -65 dBm la persona ya se encuentra prácticamente sobre el AP y sobre lo que ahora es el inicio del automóvil, por lo que probablemente debido a la distancia se tiene como resultado una potencia elevada y el AP y el teléfono logran tener una RSS buena. A lo largo de las dimensiones del automóvil prácticamente se observan valores pico de -50 dBm, y luego decae a valores no muy alejados a los obtenidos cuando no se tenía una perfecta línea de vista a esa misma distancia del AP.

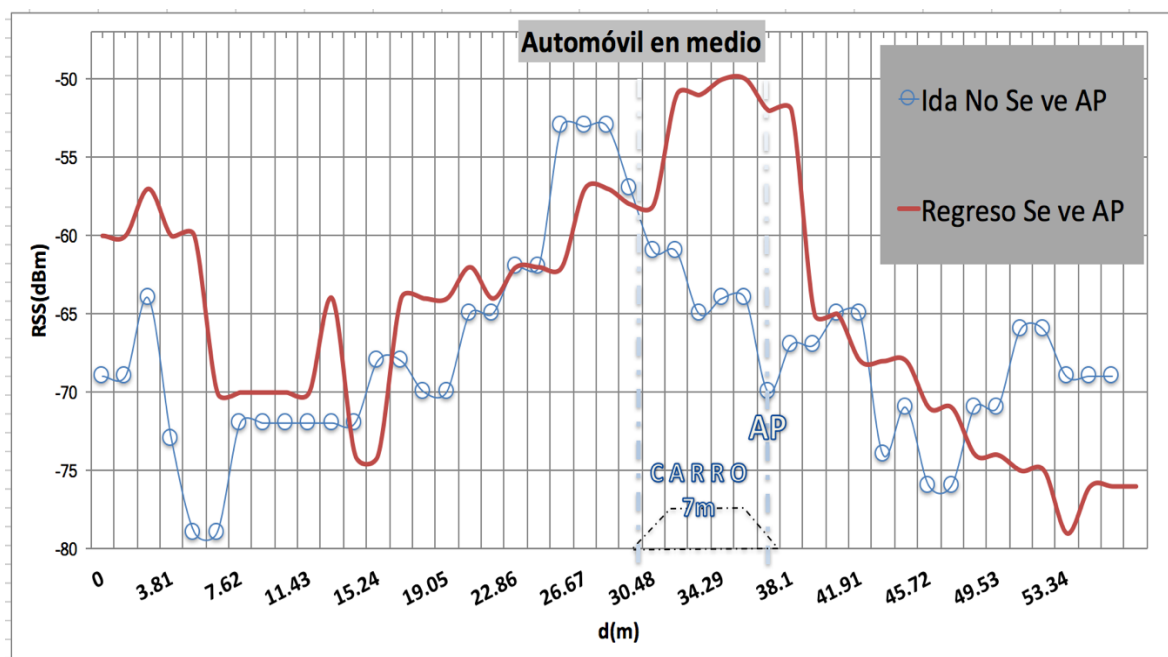


Figura 6. Gráfica de RSS, Escenario 3: "Automóvil en medio".

3.2.5. Experimento 4: "Caminata"

Esté experimento llamado "Caminata", tiene un escenario muy simple (Figura 7), donde un peatón con el WiFi de su teléfono encendido camina a lo largo 60 metros de banqueta. Adicional a esto, un AP es colocado aproximadamente a la

mitad de la acera, es decir a 30 metros. En este caso, el AP posee tres antenas y se ha seleccionado así dado que en los últimos años las compañías proveedoras de acceso a internet están cambiando sus AP por modelos más robustos que tienen antenas direccionales. Dos de las antenas son direccionales y se colocaron apuntando hacia arriba. La tercer antena se encuentra entre las dos antenas direccionales y es una antena semi direccional y está en línea con las dos antenas direccionales (Figura 8).

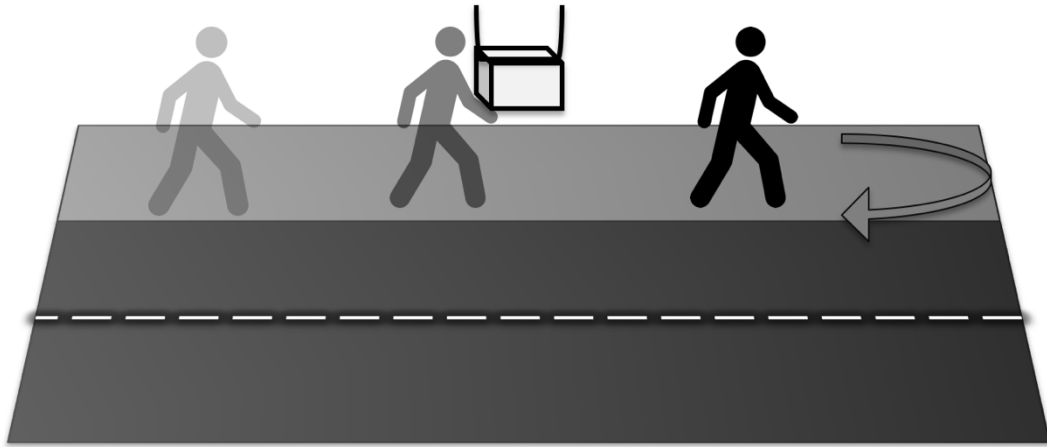


Figura 7. Escenario 4: "Caminata".



Figura 8. AP de tres antenas, Config. 00.

En la gráfica de la Figura 9 se representan los valores de RSS del escenario de la Figura 7 y con ella se logra ver claramente el efecto de tener o no línea de vista con el AP. Cuando el peatón con el WiFi encendido (teléfono en bolsa) se aproxima de frente al AP tiene Línea de Vista (Line Of Sight - LOS), y se observan valores de RSS de alrededor de los -58 dBm (señal óptima), que son valores buenos para una conexión inalámbrica WiFi. Posteriormente llega un momento, en que el peatón que comienza a dar la espalda al AP y a los pocos metros (aproximadamente 4 m) de seguir avanzando, donde los valores de RSS caen y en adelante oscilan en valores cercanos a los -66 dBm. Estos valores de RSS son bajos al no tener línea de vista, pero aun así es posible mantener una comunicación con el AP. Las dos observaciones antes descritas se presentan de manera muy similar cuando el peatón realiza la caminata en sentido contrario (regreso). La única diferencia es que en el regreso, al dejar atrás al AP, los valores de RSS son aún más bajos (-69 dBm) que en la primera situación (ida). En general, se puede ver en la gráfica de la Figura 9 que el no tener línea de vista con el AP se ve reflejado en niveles de RSS muy bajos, por lo que podría ser útil para el algoritmo de esta tesis al indicarnos al menos que el peatón ya pasó por la cobertura del AP, pero dejando aun la incógnita de cuál era la dirección que llevaba el peatón o nodo móvil al momento de cruzar.

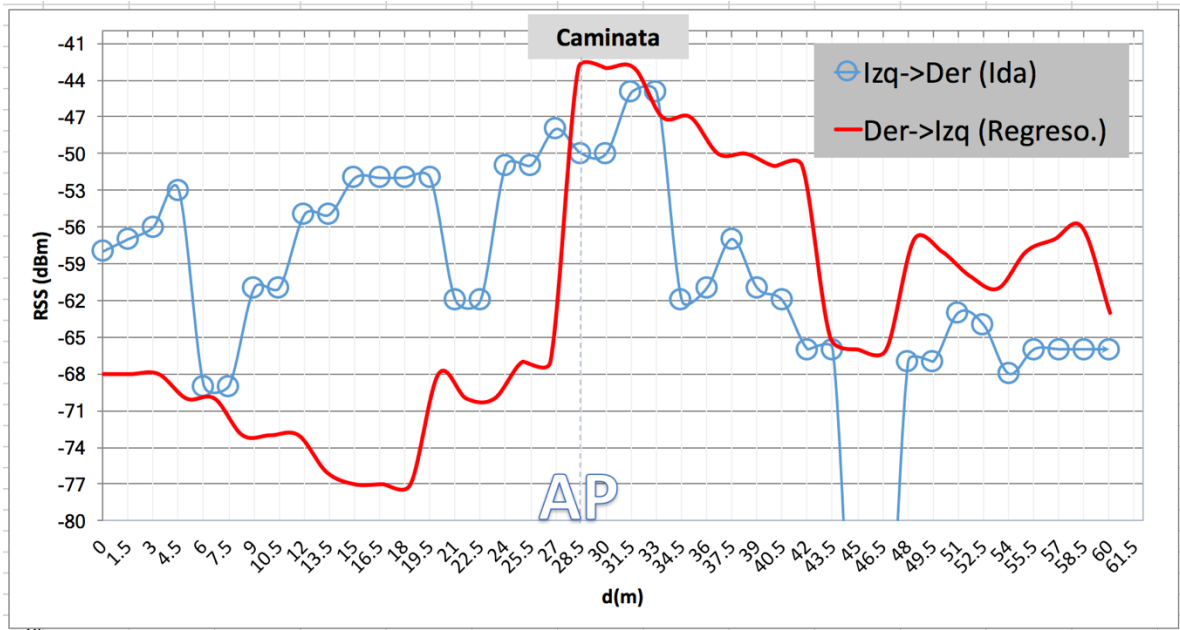


Figura 9. Gráfica de RSS, Experimento 4: "Caminata".

3.2.6. Resumen experimental 1-4.

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos de los experimentos 1, 2, 3 y 4. En general, se han estudiado los escenarios más comunes de los peatones al andar por la acera de una calle. En estos escenarios se utiliza un teléfono celular con WiFi encendido, el cual se encuentra en la bolsa derecha del peatón. El teléfono celular es quien sensa el contacto con el AP para los experimentos realizados, pero esto no significa que el AP no pueda hacerlo, sino que se eligió así por simplicidad.

En cada uno de los experimentos anteriores la información es grabada en video, exportada a una hoja de Excel y con base a ella se generaron las gráficas mostradas. En general, todas las gráficas presentan una imagen de una RSS con Distribución Logarítmica – Normal. La potencia central de la distribución normal para todos los experimentos está cerca de los -45 dBm. De manera similar, todos

los experimentos contienen el experimento 4, por lo cual se decide utilizarlo, pero ahora con diferentes configuraciones (posiciones) de las antenas.


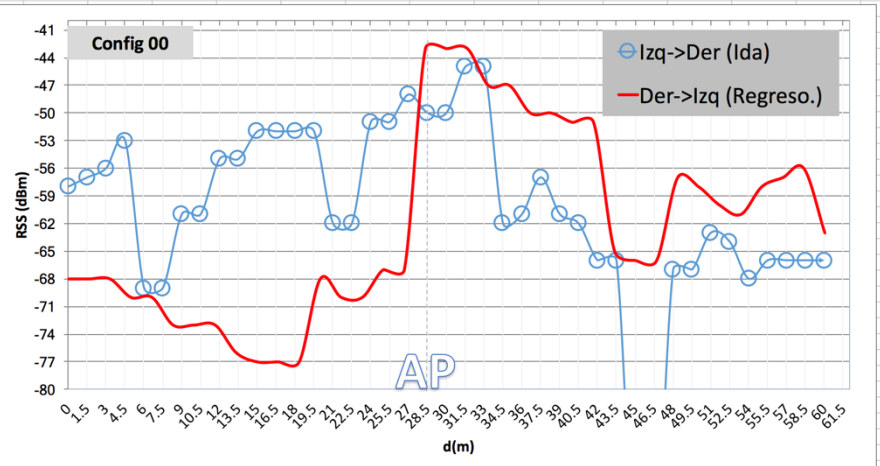

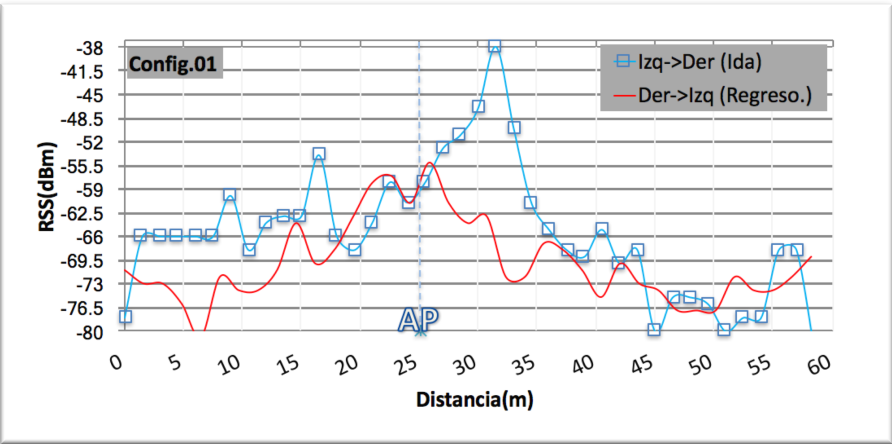
El resultado de esta sección se muestra en la Tabla 2, donde se aprecia para cada configuración un comportamiento en la RSS muy similar (de ida y de vuelta) al experimento inicial o experimento 4, el cual es representado por la configuración 00. Sin embargo, la configuración *01 Antenas direccionales a 0° hacia la izquierda y semidireccional en alineación a las direccionales* mostró ser lo que estábamos buscando. Ésta configuración, en su grafica de RSS, muestra un comportamiento de IDA de Distribución Logarítmica – Normal donde adicionalmente se alcanza a ver que en las muestras finales es evidente la perdida de señal al no tener línea de vista con el AP. En el recorrido de REGRESO, al aproximarse el usuario al AP, la RSS comienza a mejorar e inclusive se forma una Distribución Logarítmica – Normal de RSS, pero nunca supera los -56 dBm. Esto puede ser por la interferencia causada por el cuerpo humano sumado a la poca recepción que se tiene en el bolsillo donde se encuentra el teléfono. Dado lo anterior, se procedió a validar el comportamiento y se realizó este experimento con esta misma configuración 10 veces más para a completar 11 pruebas. Todas las pruebas presentaron comportamientos similares por lo que se prosiguió a generar dos hipótesis. La primera hipótesis establece que es posible estimar la dirección del nodo calculando la pendiente conforme se toman las muestras de RSS. La segunda hipótesis establece que un valor de RSS mayor que un valor determinado (-48.94 dBm) por un intervalo de confianza nos indicaría la dirección del nodo. En la siguiente sección, “Evaluación y selección de algoritmo”, se evalúan precisamente estas dos hipótesis.

Tabla 1. Resumen de experimentos 1,2,3,4.

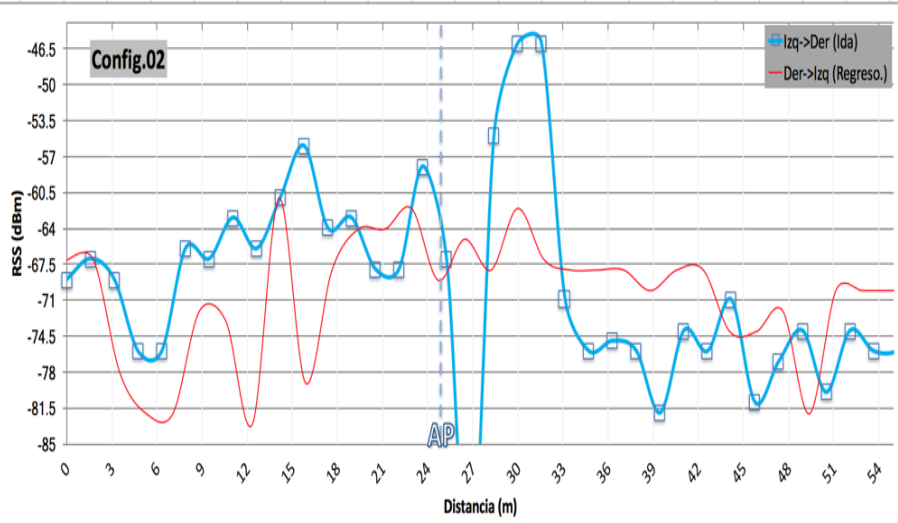
Experimento	Ilustración de la señal recibida RSS
<p>Experimento 1: “Camina & Espera”. Caminar por banqueta y detenerse unos segundos antes de cruzar la calle.</p>	<p>Camina & Espera</p> <p>Legend: ○ Izq->Der (Ida) — Der->Izq (Regreso)</p> <p>Y-axis: RSS (dBm) X-axis: d(m)</p>
<p>Experimento 2: “Giro D/P”. Caminar por la banqueta y girar para seguir caminando.</p>	<p>Giro D/I</p> <p>Legend: ○ Der->Izq (Ida) — Izq->Der (Regreso)</p> <p>Y-axis: RSS (dBm) X-axis: d(m)</p>
<p>Experimento 3: “Automóvil en medio”. Caminar por la banqueta opuesta a un automóvil que hace una línea de obstrucción entre AP y cliente.</p>	<p>Automóvil en medio</p> <p>Legend: ○ Ida No Se ve AP — Regreso Se ve AP</p> <p>Y-axis: RSS (dBm) X-axis: d(m)</p>
<p>Experimento 4: “Caminata”. Caminar linealmente por la banqueta próxima al AP.</p>	<p>Caminata</p> <p>Legend: ○ Izq->Der (Ida) — Der->Izq (Regreso.)</p> <p>Y-axis: RSS (dBm) X-axis: d(m)</p>

3.2.7. Experimento 4 con diferentes configuraciones en las antenas

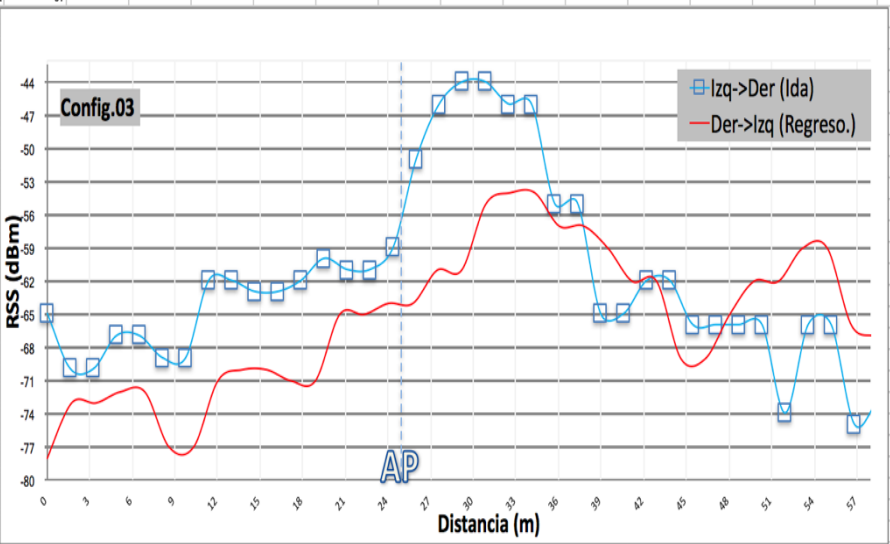
Tabla 2. Experimento 4 con diferentes configuraciones en las antenas.

Configuración	Ilustración de la señal recibida RSS
<p>Config.00 Antenas direccionales a 90° y semi direccional en alineación al eje x con las direccionales.</p> 	 <p>The graph for Config.00 plots RSS (dBm) on the y-axis (from -80 to -41) against distance d (m) on the x-axis (from 0 to 61.5). A vertical dashed line at 28.5m marks the 'AP' location. The blue line with circles (Izq->Der) shows a peak of -44 dBm at 31.5m. The red line (Der->Izq) shows a peak of -43 dBm at 30m.</p>
<p>Config.01 Antenas direccionales a 0° hacia la izquierda y semi direccional en alineación a las direccionales.</p> 	 <p>The graph for Config.01 plots RSS (dBm) on the y-axis (from -80 to -38) against Distancia (m) on the x-axis (from 0 to 60). A vertical dashed line at 25m marks the 'AP' location. The blue line with squares (Izq->Der) shows a peak of -38 dBm at 32.5m. The red line (Der->Izq) shows a peak of -52 dBm at 25m.</p>

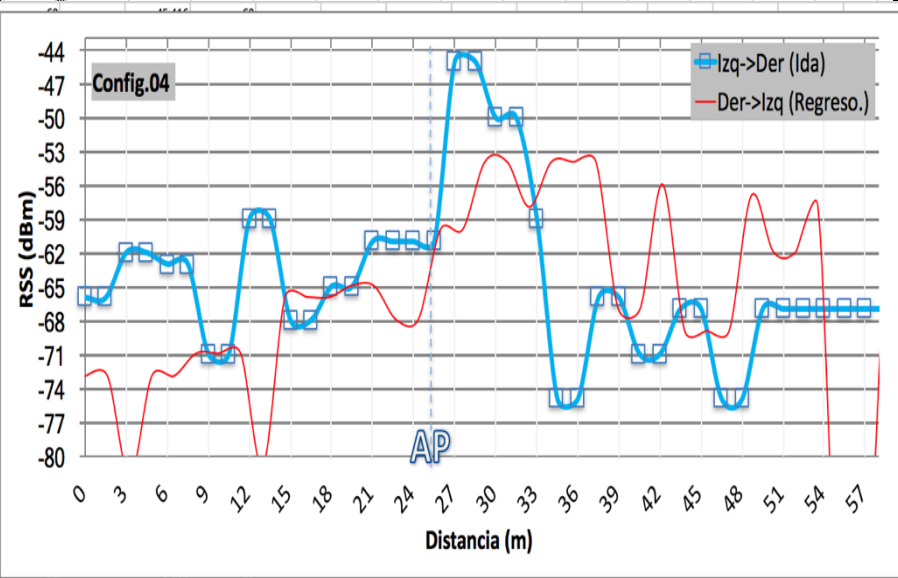
Config.02 Antenas direccionales a 0° hacia la derecha y semi direccional en transversal a las direccionales.



Config.03 Antenas direccionales a 45° y semi direccional alineada a las direccionales.



Config. 04 Antenas direccionales a 45° y semi direccional transversal a las direccionales.



<p>Config.05 Direccionales entre cruzadas y semi direccional alineada a las direccionales.</p>	<p>Config.05</p> <p>RSS (dBm)</p> <p>Distancia (m)</p> <p>Legend: Izq->Der (Ida) (blue line with squares), Der->Izq (Regreso.) (red line)</p>
	<p>Config.06</p> <p>RSS (dBm)</p> <p>Distancia (m)</p> <p>Legend: Izq->Der (Ida) (blue line with squares), Der->Izq (Regreso.) (red line)</p>
<p>Config.06 Direccionales entre cruzadas y semi direccional transversal a las direccionales.</p>	
<p>Config.07 Direccional izquierda a 45° y derecha a 90° sin semi direccional.</p>	<p>Config.07</p> <p>RSS (dBm)</p> <p>Distancia (m)</p> <p>Legend: Izq->Der (Ida) (blue line with squares), Der->Izq (Regreso.) (red line)</p>
	<p>Config.08</p> <p>RSS (dBm)</p> <p>Distancia (m)</p> <p>Legend: Izq->Der (Ida) (blue line with squares), Der->Izq (Regreso.) (red line)</p>
<p>Config.08 Direccionales a 90° sin semi direccional.</p>	

3.2.8. Evaluación y selección de algoritmo

La configuración 01, en su grafica de RSS, muestra en su forma general un comportamiento de Distribución Logarítmica – Normal.

Gracias a eso es posible realizar un intervalo de confianza de valores futuros de la señal recibida (RSS), lo cual se realizó con 10 muestreos adicionales de la RSS con la configuración 01 (Figura 10, Figura 11), y se construyó el intervalo de confianza al 90% (probabilidad de éxito) como se muestra en la Figura 12 y Figura 13. El intervalo de confianza nos permite evaluar las dos hipótesis que llamamos “Mayor que, >Q” y “Pendiente”, con una posibilidad de falla del 10% ($\alpha= 0.1$).

La Figura 10 muestra el resumen del muestreo de la señal recibida “RSS” de ida para 11 eventos, donde se puede observar los niveles de RSS antes y después del punto de acceso “AP” que se encuentra a 30 metros del punto inicial. La Figura 12, por su parte, nos muestra en base al intervalo de confianza del 90% tipo “T Student” los valores máximos de -53.38, -45.05 y -41.64 dBm para las distancias del punto inicial 29, 30 y 31, donde 30 representa la posición del AP. La Figura 11 muestra el resumen de cuando el usuario se encuentra de derecha a izquierda, es decir de regreso al punto inicial (distancia 0 m), y sus correspondientes máximos y mínimos con un intervalo de confianza del 90% tipo “T Student” los muestra la Figura 13.

1	DISTANCE_GO	RSS_GO_00	RSS_GO_01	RSS_GO_02	RSS_GO_03	RSS_GO_04	RSS_GO_05	RSS_GO_06	RSS_GO_07	RSS_GO_08	RSS_GO_09	RSS_GO_10
2	0	-78	-71	-71	-74	-72	-69	-71	-76	-86	-74	-72
3	1	---	-71	-77	-76	-72	-69	-71	-76	-78	-85	-73
4	2	-66	---	---	---	---	---	---	---	-82	-85	-79
5	3	-66	-73	-77	-76	-79	-73	-79	-73	---	---	-81
6	4	---	-73	-95	-76	-82	-73	-76	-73	-83	-83	-81
7	5	-66	-73	---	---	---	---	-76	-74	-84	-83	-80
8	6	-66	---	-78	-73	-77	-73	---	-81	-74	-87	-77
9	7	---	-73	-77	-72	-70	-73	-74	---	-78	-87	-75
10	8	-66	-77	-75	-68	-69	-72	-74	-76	-78	---	-75
11	9	-60	---	---	---	---	---	-75	-77	-77	-72	-68
12	10	---	-77	-81	-67	-69	-68	-75	-78	---	-72	---
13	11	-68	-70	-72	-67	-74	-68	---	-82	-77	-71	-74
14	12	-64	-70	---	---	---	---	-77	---	-76	-71	-68
15	13	---	---	-73	-66	-74	-71	-77	-74	-69	-78	-68
16	14	-63	-68	-73	-65	-69	-71	-75	-74	-68	---	-76
17	15	-63	-73	-80	-65	-69	-71	---	-74	-68	-66	-76
18	16	---	-73	---	---	---	---	-75	---	-69	-67	-77
19	17	-54	---	-68	-69	-69	-70	-67	-74	---	-78	-73
20	18	-66	-64	-68	-69	-75	-70	-67	-74	-74	-65	-73

Figura 10. Muestreo para la señal recibida
RSS de ida.

1	DISTANCE_BACK	RSS_BACK_00	RSS_BACK_01	RSS_BACK_02	RSS_BACK_03	RSS_BACK_04	RSS_BACK_05	RSS_BACK_06	RSS_BACK_07	RSS_BACK_08	RSS_BACK_09	RSS_BACK_10
2	60	---	-75	-72	-69	---	-81	-80	-73	-88	-100	-83
3	59	-69	-75	-66	-70	-70	-81	-80	-71	-87	-100	-79
4	58	-72	---	---	---	-78	---	---	---	-82	-82	-79
5	57	---	-74	-68	-78	-78	-79	-80	-90	---	---	-79
6	56	-74	-70	-73	-79	---	-79	-88	-90	-72	-82	---
7	55	---	---	---	---	-85	---	-87	---	-74	-82	-79
8	54	-74	-85	-73	-79	-85	-74	---	-78	-73	-82	-70
9	53	-72	-71	-76	-79	---	-74	-75	-78	-72	-80	-70
10	52	---	---	---	---	-77	---	-75	---	---	---	-77
11	51	-77	-72	-74	-81	-77	-77	---	-74	-70	-80	-77
12	50	-77	-81	-72	-81	---	-78	-82	-75	-77	-73	-76
13	49	---	---	---	---	-73	---	-75	-77	-76	-73	-75
14	48	-77	-81	-72	-77	-73	-72	-75	---	-75	-73	-75
15	47	---	-85	-70	-77	---	-71	---	-77	---	-73	---
16	46	-74	---	---	---	-73	---	-75	-70	-78	---	-78
17	45	-73	-85	-70	-77	-73	-71	-71	---	-76	-74	-83
18	44	---	-75	-70	-63	-67	-77	-74	-70	-79	-75	-73
19	43	-70	---	---	---	---	---	---	-68	-73	-81	-73
20	42	---	-68	-70	-72	-67	-68	-75	---	---	-81	-75

Figura 11. Muestreo para la señal recibida
RSS de regreso.

INT. CONFIANZA 90% T STUDENT	MIN	MAX	DISTANCE_GO	n(# Muestras)	X (Media)	S (DESVIACION ESTANDAR)
2.586404018	-74.586404	-69.413596	0	11	-72	4.732863826
2.702417172	-77.2024172	-71.7975828	1	10	-74.5	4.66190233
9.844825569	-90.3448256	-70.6551744	2	4	-80.5	8.366600265
2.819765764	-78.8197658	-73.1802342	3	9	-76	4.549114688
3.981134168	-82.4811342	-74.5188658	4	10	-78.5	6.86779259
4.642323571	-80.6423236	-71.3576764	5	7	-76	6.320789583
3.624632025	-80.624632	-73.375368	6	9	-77	5.847601598
3.085441553	-77.0854416	-70.9145584	7	9	-74	4.977728174
2.36653862	-76.8665386	-72.1334614	8	10	-74.5	4.082482905
5.425683792	-78.9256838	-68.0743162	9	6	-73.5	6.595452979
3.451668712	-76.9516687	-70.0483313	10	8	-73.5	5.153015761
2.692035201	-74.1920352	-68.8079648	11	10	-71.5	4.643992535
4.030096747	-74.5300967	-66.4699033	12	6	-70.5	4.898979486
2.513597584	-75.5135976	-70.4864024	13	9	-73	4.05517502
2.516407035	-72.516407	-67.483593	14	10	-70	4.341018826
3.082562281	-73.0825623	-66.9174377	15	10	-70	5.317685378
3.953986757	-76.9539868	-69.0460132	16	5	-73	4.147288271
4.116803574	-73.1168036	-64.8831964	17	9	-69	6.641619615
2.149590789	-71.1495908	-66.8504092	18	11	-69	3.933538772
0.522193684	-74.5221937	-73.4778063	19	5	-74	0.547722558
2.206514381	-71.2065144	-66.7934856	20	10	-69	3.806427313
2.519958448	-74.5199584	-69.4800416	21	9	-72	4.065436973
2.138631755	-70.1386318	-65.8613682	22	10	-68	3.689323937
5.035381493	-74.0353815	-63.9646185	23	6	-69	6.121002097
2.085599573	-71.0855996	-66.9144004	24	10	-69	3.597838857
3.414934307	-71.4149343	-64.5850657	25	7	-68	4.649628761

Figura 12. Muestra del intervalo de confianza de la señal recibida RSS de ida.

INT. CONFIANZA 90% T STUDENT	MAX	MIN	DISTANCE_BAC	n(# Muestras)	X (Media)	S (DESVIACION ESTANDAR)
5.932807026	-85.932807	-74.067193	60	9	-80	9.571369344
5.412360763	-80.4123608	-69.5876392	59	11	-75	9.904085475
3.907739707	-82.9077397	-75.0922603	58	5	-79	4.098780306
4.125255746	-82.6252557	-74.3747443	57	8	-78.5	6.158617656
4.384214088	-83.3842141	-74.6157859	56	9	-79	7.073031725
4.889324492	-86.8893245	-77.1106755	55	5	-82	5.128352562
3.092236883	-79.0922369	-72.9077631	54	10	-76	5.334374898
2.027503563	-76.5275036	-72.4724964	53	10	-74.5	3.497618237
1.946657054	-78.9466571	-75.0533429	52	3	-77	1.154700538
1.979045188	-78.9790452	-75.0209548	51	10	-77	3.414023368
1.966744047	-78.966744	-75.033256	50	10	-77	3.39280284
1.317936805	-76.3179368	-73.6820632	49	6	-75	1.602081979
1.616653648	-76.6166536	-73.3833464	48	10	-75	2.788866755
4.528258024	-79.528258	-70.471742	47	6	-75	5.504543578
2.531094696	-77.0310947	-71.9689053	46	6	-74.5	3.076794869
2.956437304	-76.4564373	-70.5435627	45	10	-73.5	5.100108931
2.800792874	-76.3007929	-70.6992071	44	10	-73.5	4.831608888
4.719044027	-77.719044	-68.280956	43	5	-73	4.949747468
3.202422338	-74.2024223	-67.7975777	42	8	-71	4.780914437
2.186968519	-70.1869685	-65.8130315	41	10	-68	3.772709018
1.433505689	-74.4335057	-71.5664943	40	7	-73	1.951800146
3.41869318	-72.4186932	-65.5813068	39	7	-69	4.654746681
2.879018489	-69.3790185	-63.6209815	38	10	-66.5	4.966554809

Figura 13. Muestra del intervalo de confianza de la señal recibida RSS de regreso.

La Figura 14 muestra en una gráfica los valores máximos y mínimos según el intervalo de confianza al 90% . Para el evento de ida podemos observar que a los 30 metros del punto inicial del evento los valores de RSS la línea que representa el máximo y la línea que representa al mínimo casi se cruzan en valores cercanos a -50 dBm.

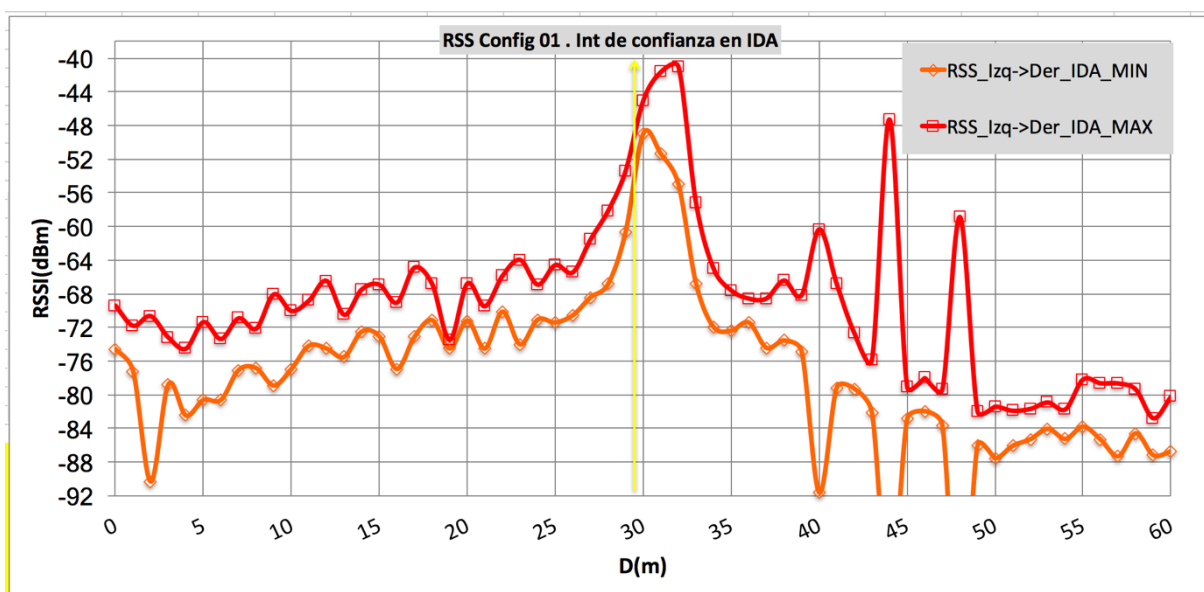


Figura 14. Valores máximos y mínimos según intervalo de confianza al 90% para evento de IDA.

Los valores máximos y mínimos para la RSS se encuentran representados por al grafica de la Figura 15, donde se puede observar que los valores máximos y mínimos a lo largo de todo el recorrido son siempre distantes, contrario a el evento de ida donde si existe un momento en el cual prácticamente los máximos y mínimos se cruzan en el AP que se encuentra gráficamente a la distancia de 30 m. Lo que resulta aún más interesante ocurre al superponer las Figura 14 y Figura 15 como se observa en la Figura 16. En esta figura los valores máximos, tanto de IDA como de REGRESO, son máximos al acercarse al AP (30 m), pero al pasar el AP la línea RRS_Izq-Der_IDA_MAX tiene valores promedios entre el

RSS_Der->Izq_REGRESO_MAX y RSS_REGRESO_MIN. Esto no sucede para la RSS_REGRESO_MAX, ya que estos muestran valores (menores de -51 dBm) con una tendencia por debajo de los valores de RSS_Izq->Der_IDA_MIN con 5 metros de convergencia. Gráficamente, no resulta tan fácil validar o descartar la hipótesis de la pendiente, pero lo anteriormente descrito refuerza gráficamente la hipótesis de que los valores RSS_Der->Izq_REGRESO_MAX y RSS_Der->Izq_REGRESO_MIN en la misma dirección de las antenas cuando estas se enfocan en una misma dirección tenderán a ser menores que un RSS_Izq->Der_IDA_MAX o RSS_Izq->Der_IDA_MIN. Esto nos permitiría saber que van en dirección opuesta a las antenas de un AP, gráficamente para este ejemplo, de izquierda a derecha.

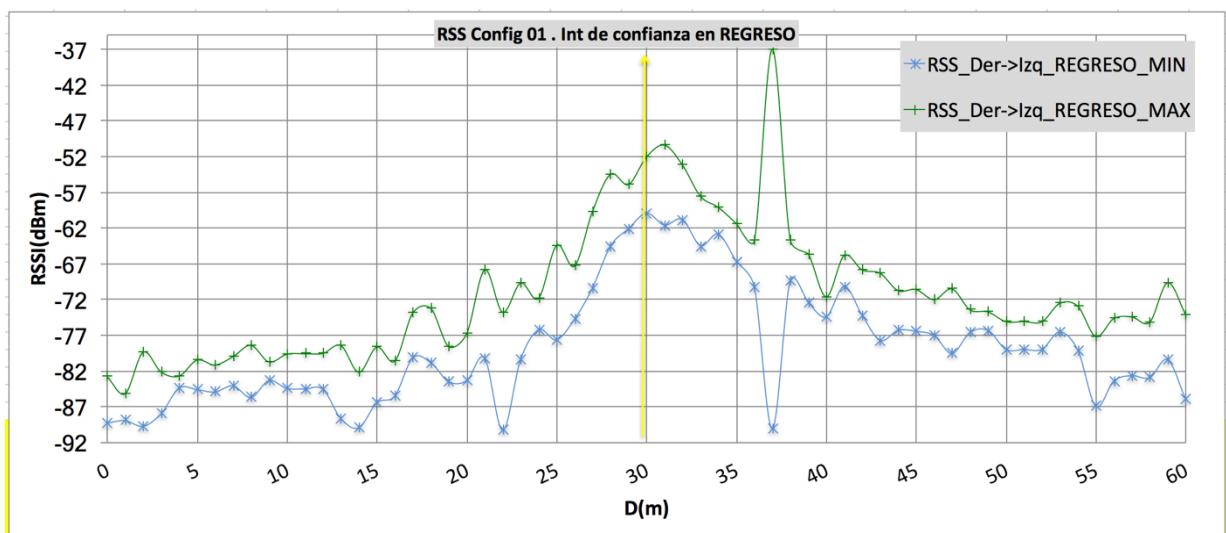


Figura 15. Valores máximos y mínimos según intervalo de confianza al 90% para evento de REGRESO.

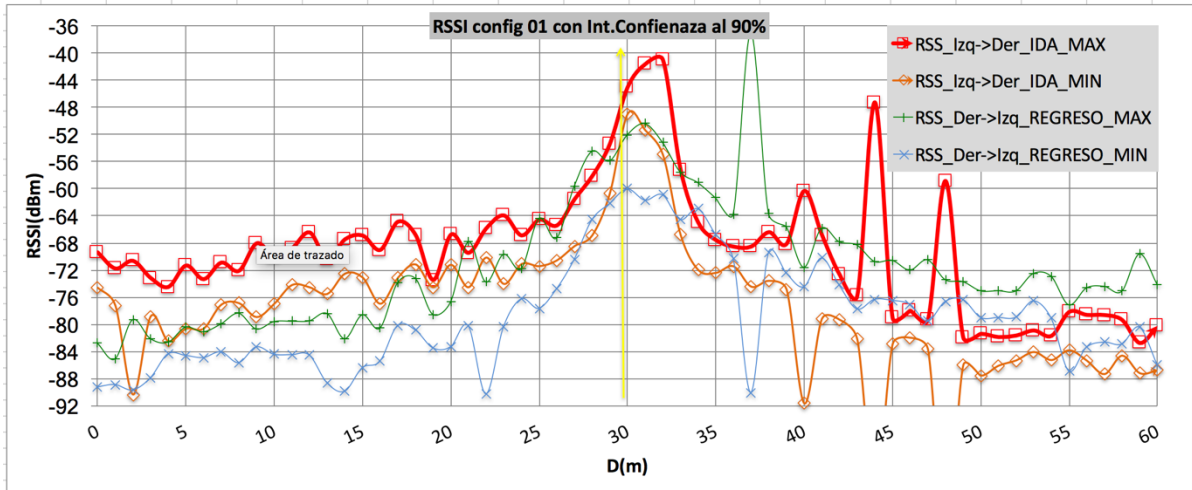


Figura 16. Valores máximos y mínimos superpuestos según intervalo de confianza al 90% (Ida y Regreso)

De manera no gráfica y más precisa, con base al intervalo de confianza creado se seleccionaron los valores de RSS para la hipótesis “Mayor que $>Q$ ” de -48.94 y 5.5 para la hipótesis de “Pendiente”. Las hipótesis se probaron con base en las muestras obtenidas (Figura 17, Tabla 3), cada muestra de RSS es evaluada para ver si supera el valor $Q = -48.94$ y si éste es superado se asume que el nodo móvil va en dirección opuesta a las antenas del AP (Izquierda a Derecha). A su vez, se evalúa la pendiente con la RSS actual e inmediata anterior y si la pendiente es de 5.5 el nodo móvil va en dirección opuesta a las antenas del AP (Izquierda a Derecha). El resultado obtenido fue que el método “Mayor que, $>Q$ ” es mejor para estimar la dirección de nodos móviles al pasar la cobertura de un AP. El método “Mayor que, $>Q$ ” obtuvo 21 aciertos de las 22 pruebas realizadas contra los 10 aciertos del método “Pendiente”.

	A	B	C	D	E
1	DISTANCE_GO_0	GO_02	¿RSS> -48.94?	Pendiente con punto vecino	
2		0	-71 GO_L		
3		1	-77 GO_L	GO_L	-6
4		3	-77 GO_L	GO_L	0
5		4	-95 GO_L	GO_L	-18
6		6	-78 GO_L	GO_L_to_R	8.5
7		7	-77 GO_L	GO_L	1
8		8	-75 GO_L	GO_L	2
9		10	-81 GO_L	GO_L	-3
10		11	-72 GO_L	GO_L_to_R	9
11		13	-73 GO_L	GO_L	-0.5
12		14	-73 GO_L	GO_L	0
13		15	-80 GO_L	GO_L	-7
14		17	-68 GO_L	GO_L_to_R	6
15		18	-68 GO_L	GO_L	0
16		20	-71 GO_L	GO_L	-1.5
17		21	-71 GO_L	GO_L	0
18		22	-71 GO_L	GO_L	0
19		24	-71 GO_L	GO_L	0
20		25	-71 GO_L	GO_L	0
21		26	-70 GO_L	GO_L	1
22		28	-62 GO_L	GO_L	4
23		29	-62 GO_L	GO_L	0
24		31	-36 GO_L_to_R	GO_L_to_R	13
25		32	-36 GO_L_to_R	GO_L	0
26		33	-70 GO_L	GO_L	-34
27		35	-70 GO_L	GO_L	0
28		36	-70 GO_L	GO_L	0
29		38	-79 GO_L	GO_L	-4.5
30		39	-79 GO_L	GO_L	0
31		40	-79 GO_L	GO_L	0
32		42	-76 GO_L	GO_L	1.5
33		43	-76 GO_L	GO_L	0
34		45	-79 GO_L	GO_L	-1.5
35		46	-70 GO_L	GO_L	0

01_01 01_02 01_03 01_04 01_05 01_06 01_07

Listo

Figura 17. Evaluación de hipótesis "Mayor que,>Q" y "Pendiente".

Tabla 3. Resultados de la evaluación de las hipótesis.

3	Recorrido	ACIERTOS	
		>Q	Pendiente
01_00	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
01_01	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
01_02	IDA	1	1
	REGRESO	x	x
01_03	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
01_04	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
01_05	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
01_06	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
01_07	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
01_08	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
01_09	IDA	1	x
	REGRESO	1	x
01_10	IDA	1	1
	REGRESO	1	x
	Total, ida	11/11	10/11
	Total, regreso	10/11	0/11
	TOTAL, aciertos	21/22	10/22

3.2.9. Algoritmo

Una vez realizados los experimentos y evaluadas las hipótesis, el algoritmo de URBIROW consiste en que un equipo de punto de acceso WiFi puede determinar la dirección de un nodo móvil WiFi respecto a el mismo cuando el nodo móvil atraviesa la cobertura del punto de acceso y su señal recibida “RSS” supera un valor dado Q . La dirección del nodo móvil será entonces la opuesta a la dirección de las antenas con un 90% de certeza si y solo si la mayoría (60%) de las antenas están en una misma dirección.

Capítulo 4

Aplicación y utilidad

4.1. Introducción a urbirow y los patrones de movilidad

El estudio de los patrones de movilidad es pieza clave para el diseño de infraestructura y sistemas de transporte. Un diseño de un sistema de transporte acompañado de un buen estudio de patrones de movilidad puede mejorar la movilidad en las ciudades y es aquí donde le encontramos tiene su mayor utilidad URBIROW. URBIROW puede utilizarse como un mecanismo para obtener patrones de movilidad de habitantes mediante la detección de la dirección de Dispositivos/Nodos con WiFi en una ciudad y en este capítulo se enfatiza en la detección de dispositivos móviles para el análisis de patrones de movilidad y flujo de personas.

En este capítulo se estudia el comportamiento de URBIROW bajo diferentes modelos de movilidad en un ambiente de simulación: la simulación de detección de nodos móviles (personas) con movilidad simple, movilidad de un día en un día de trabajo “WDM”, y el estudio de los patrones de huellas de la movilidad humana en la simulación WDM se usará como herramienta para el diseño de sistemas de transporte público como el de autobuses.

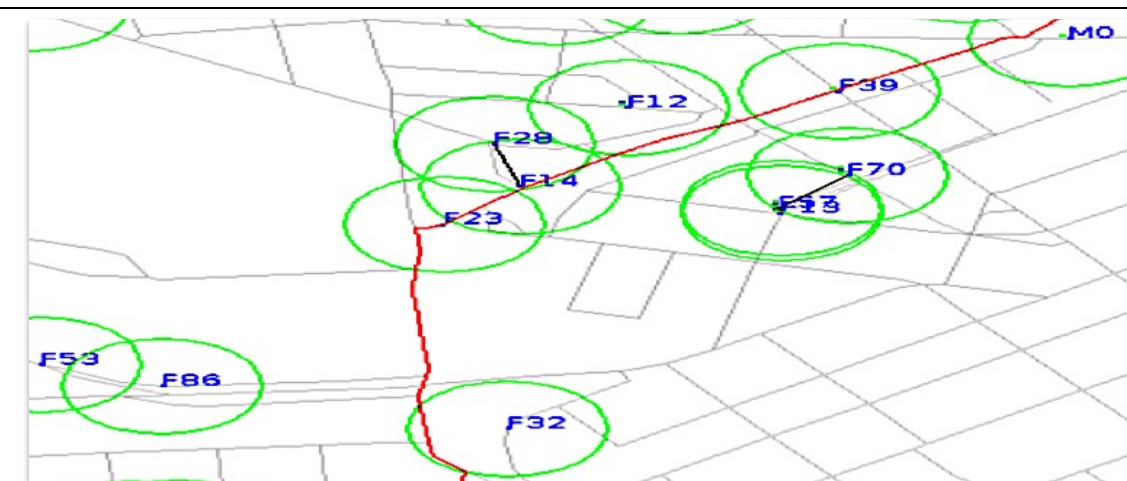
4.2. Simulación y detección de nodos móviles con movilidad simple.

Se realizaron simulaciones con base a la movilidad propuesta en [5] [8] y el modelo basado en mapas, “Map-Based Model, MBM” presentado en [39] .

Este modelo representa el movimiento aleatorio de personas restringidos a moverse en los trazados de calles de una ciudad únicamente. Este modelo no representa muy bien el comportamiento humano debido a que sigue un patrón de movimiento aleatorio y no se basa en el comportamiento humano regido por actividades diarias y el área donde se desarrollan esas actividades. Sin embargo, este modelo resulta útil para implementar las primeras simulaciones de nodos móviles y fijos para, principalmente, ver el error de detección de nodos móviles.

La

The ONE 100 nodos



The ONE 50 nodos

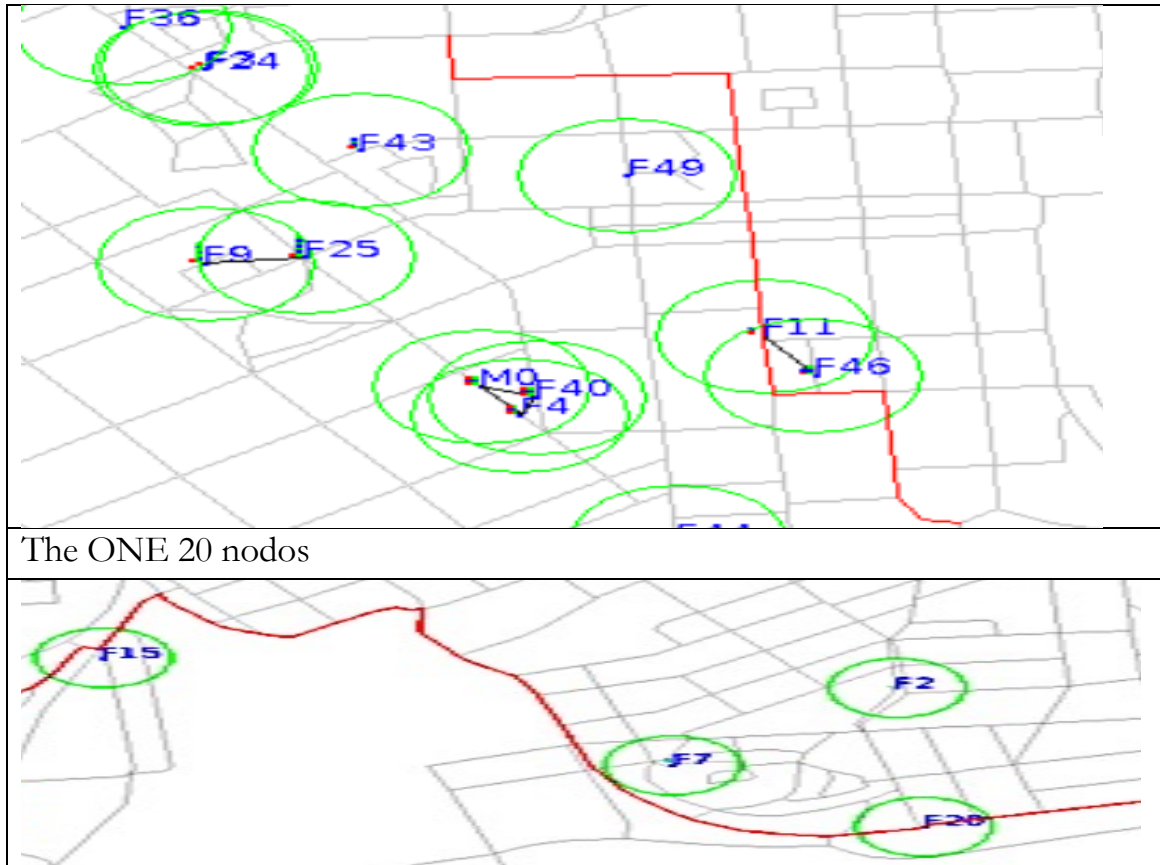


Figura 18 muestra parte de la simulación para 100, 50 y 20 APs, así como la ruta real de un nodo móvil en el simulador THE ONE. Visualmente, suponer la hipótesis de que la ubicación y detección de ruta/trayectoria del nodo móvil presentará grandes errores respecto al tiempo con poca densidad de APs (ejemplo 20 nodos). En la misma figura, se puede ver que para una relación 1 nodo móvil a 100 fijos se tendrá posiblemente un error menor en la estimación de la trayectoria del nodo móvil respecto al tiempo.

En la Figura 19 se muestran las trayectorias reales (línea azul) y estimadas (línea roja con círculos) de los nodos móviles. Aquí se puede ver que para 50 y 100 APs podríamos estimar la zona por la que se desplaza el nodo móvil. En presencia de

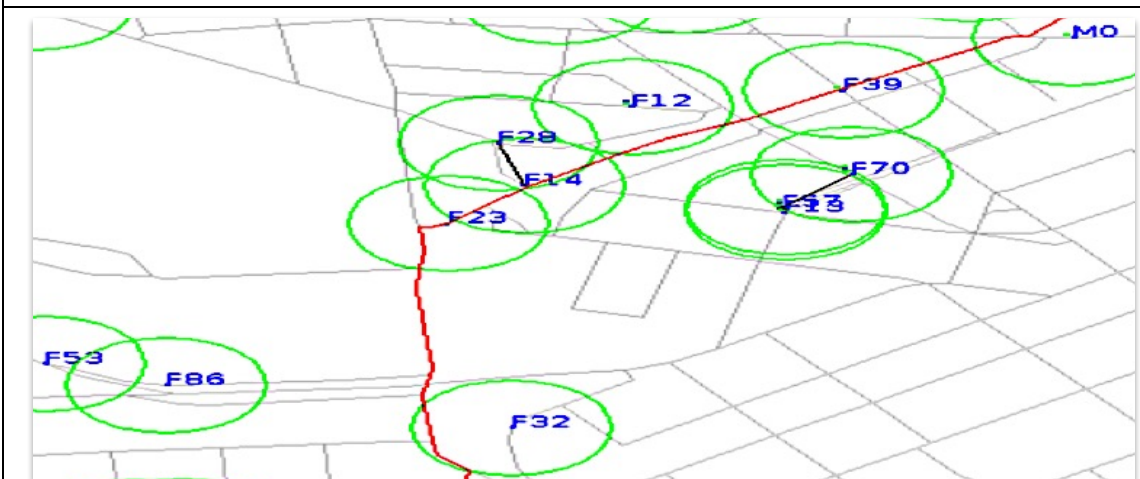
una alta densidad (100 APs o más) se puede ver en la Figura 19 que sería posible tener una buena estimación de la trayectoria real de un nodo móvil.

Las dos hipótesis anteriores se ven un tanto reforzadas en la Figura 20, donde se muestra el error de ubicación respecto al tiempo. La Figura 20 muestra eventos muy interesantes, por ejemplo, para 20 APs el error de estimación de ubicación se encuentra alrededor de 25 %, con picos que llegan a poco más del 50%. Sumado a esto, se desconoce por un largo periodo la ubicación del nodo móvil. En la simulación con 50 APs el error disminuye a picos de 15 % y 25 %, y ya para 100 APs el error se estabiliza en valores de 5 %, 10 % y en algunos escasos valores pico de 20% y 40%, pero que caen rápida y abruptamente a valores de cero o cercanos al 4 %. Estos valores son debido a que en ese momento se conoce de nuevo la ubicación del nodo móvil con un error dependiente de la cobertura del AP.

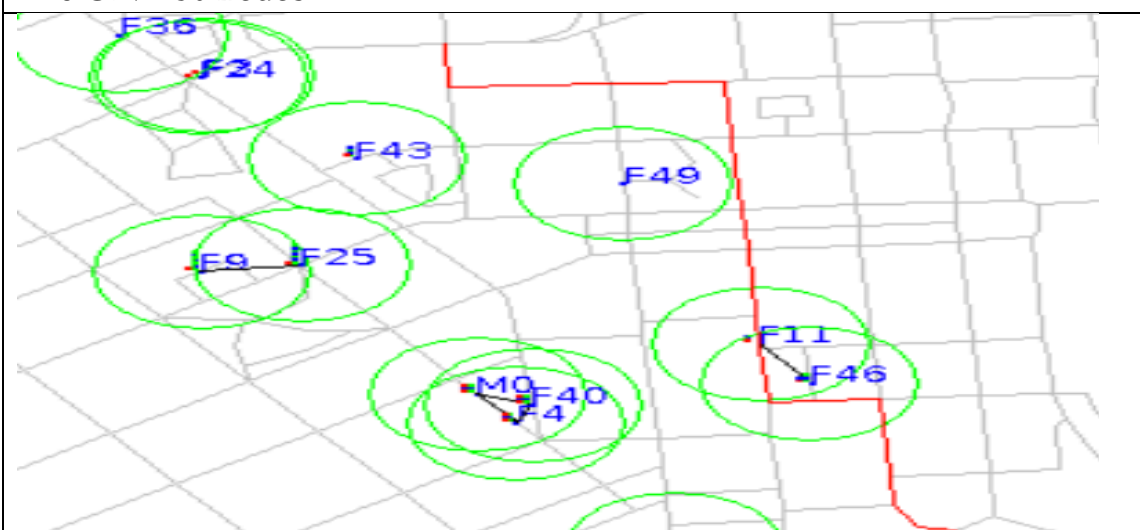
En resumen, en la Figura 20 podemos ver como el error de la estimación de la ubicación del nodo móvil es significativamente grande para 20 APs, y relativamente menor para 50 y 100 APs. Cabe resaltar que estas simulaciones se han realizado para un solo nodo móvil. Las Figura 21 y Figura 22 muestran un ejemplo de las trayectorias simuladas y de forma visual el error de estimación de la ubicación del nodo móvil. Dicho error de ubicación del nodo móvil, sin importar el número de APs, aumenta conforme el tiempo pasa. Esto se debe a que el error de estimación de la dirección del nodo móvil se calcula con su última posición conocida. Las simulaciones realizadas en éste apartado han sido muy útiles para ver que no es necesario una densidad muy alta de APs para estimar la ubicación y trayectoria de un nodo móvil. Por lo que sería posible conocer patrones de movilidad de uno o más nodos móviles en una ciudad y el error de

ubicación sería muy pequeño para ciudades densamente pobladas y modernas con gran cantidad de APs desplegados.

The ONE 100 nodos



The ONE 50 nodos



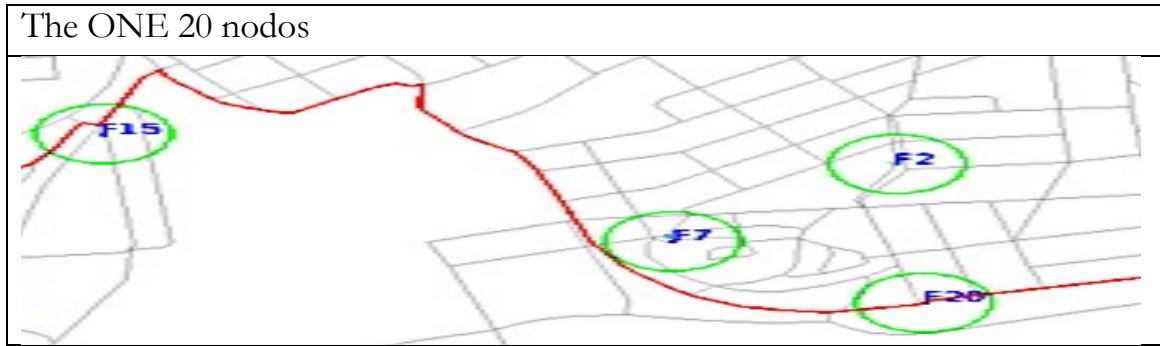
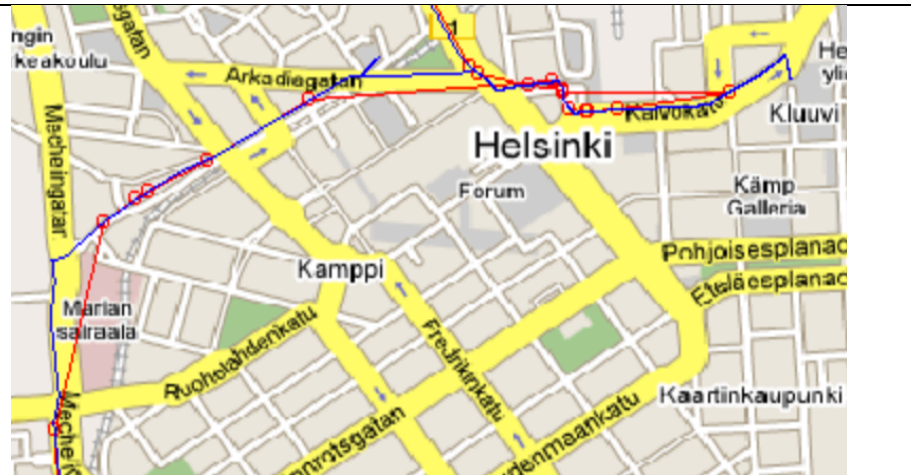


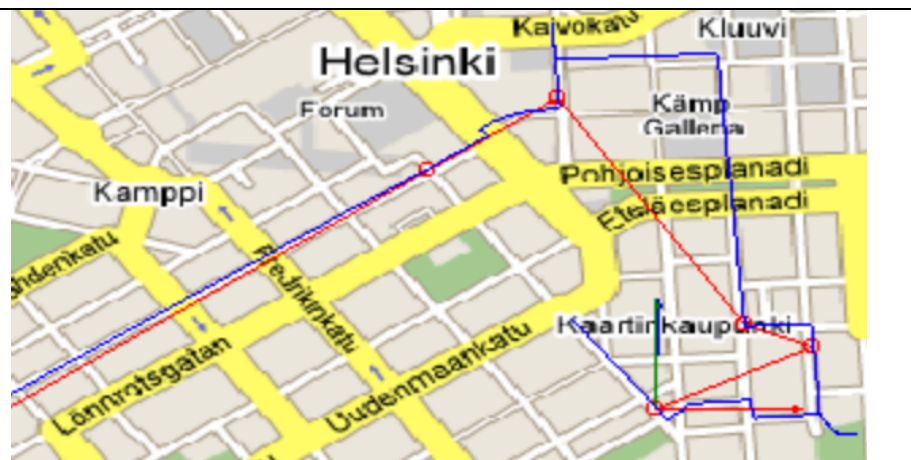
Figura 18. Simulación y detección de nodos móviles con 100,50 20 APs en THE ONE.

Error (%) Eje x

MATLAB 100 APs



MATLAB 50 APs



MATLAB 20 APs



Figura 19. Ruta real y estimada (línea roja con círculos) de nodos móviles para 100, 50 y 20 APs.

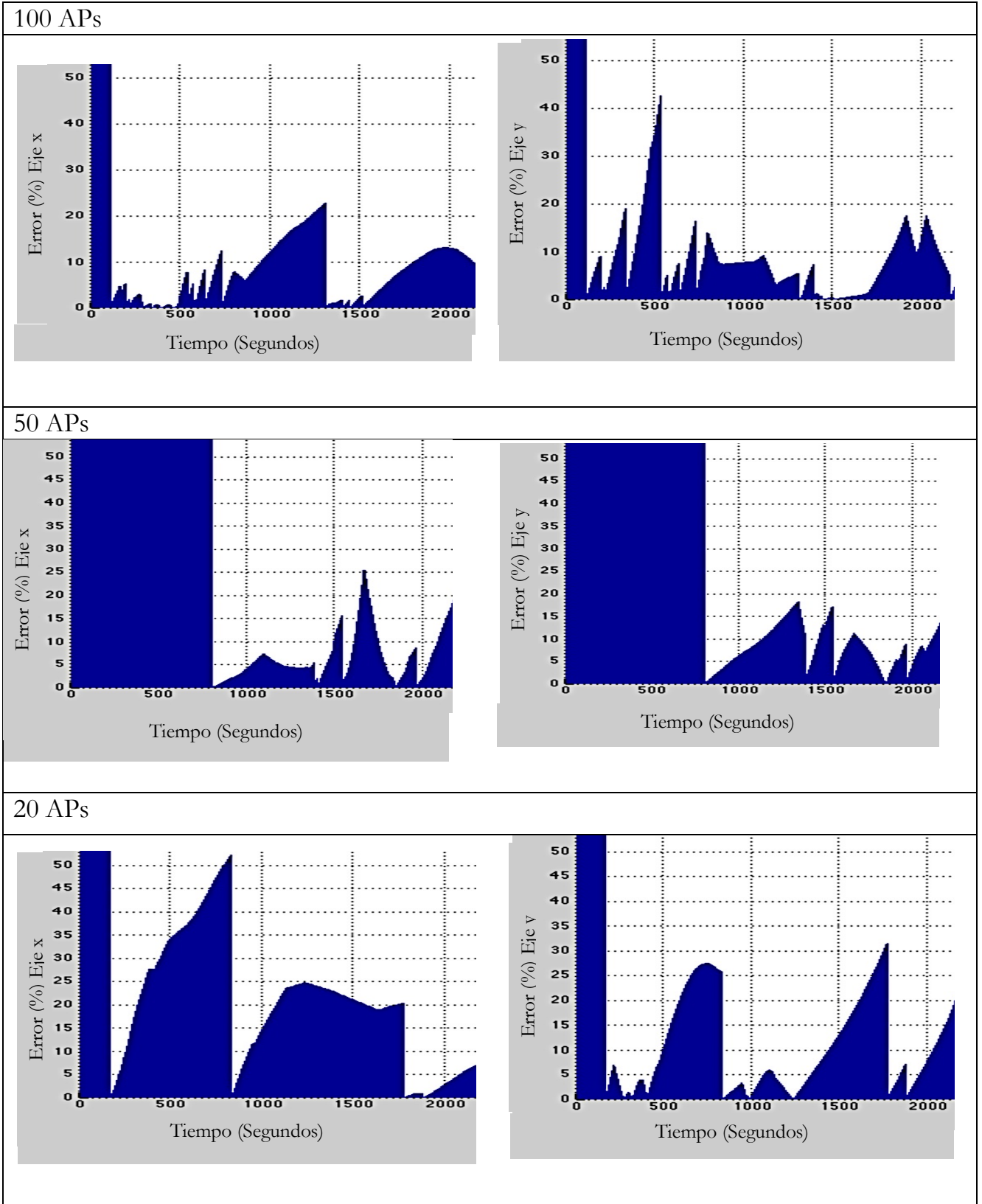


Figura 20. Error (%) en la estimación de la ubicación de nodos móviles para 100, 50 y 20 APs.

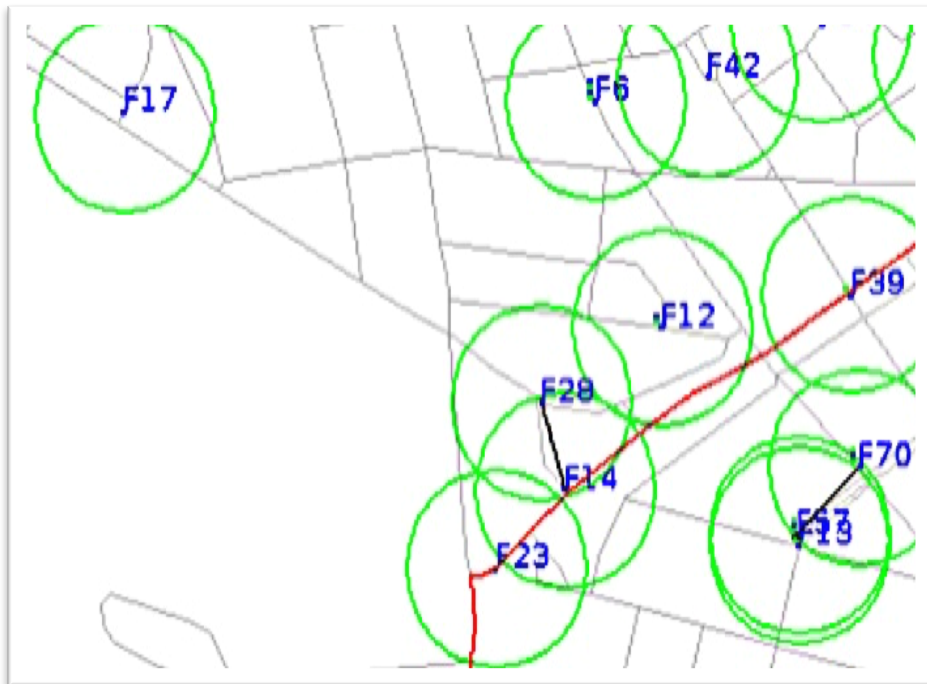


Figura 21. Trayectoria de nodo móvil en simulador THE ONE.

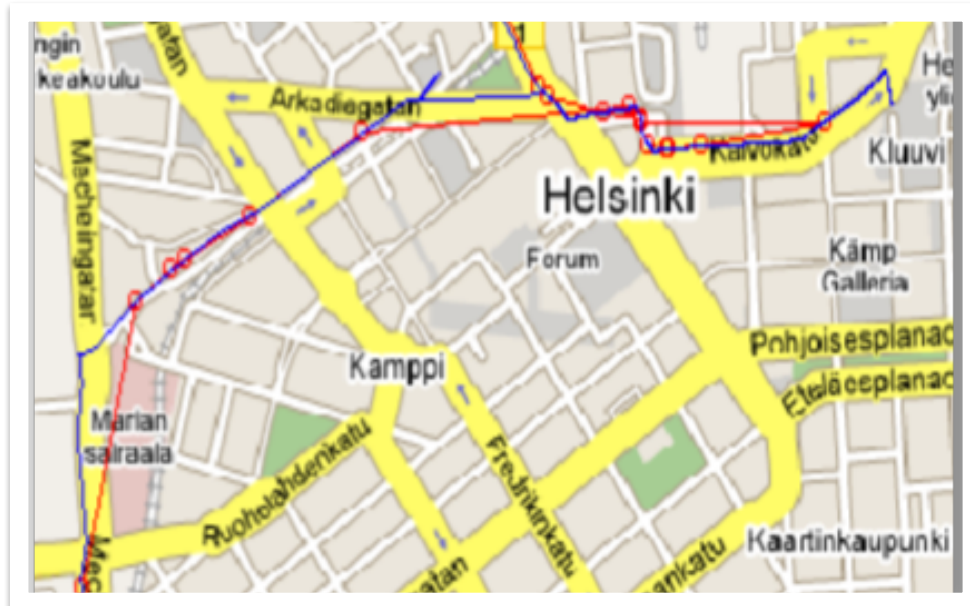


Figura 22. Trayectorias de nodo móvil, real y estimada (línea roja con círculos) simulada.

4.3. Simulación y detección de nodos móviles con movilidad wdm.

En el apartado anterior simulamos a un nodo móvil con movilidad simple, es decir, que utilizamos un movimiento o comportamiento aleatorio y muy alejado del comportamiento humano en una ciudad. Es momento de estudiar a nodos móviles, pero con un comportamiento más real, donde los nodos simulados representan humanos reales que van a trabajar, comer, estudiar, salen de compras, etc.

Para este apartado vamos a emplear un modelo llamado Movilidad de un día de trabajo del inglés “Working Day Movement Model WDM [34]”. Este modelo de movilidad trata de capturar las propiedades de los escenarios de la vida real que mencionábamos anteriormente como ir a trabajar y visitar a amigos. El modelo presentado en [34] por la Universidad de Helsinki está diseñado para redes tolerantes a retardos, y es capaz de reproducir el tiempo de contacto entre nodos y su distribución de tiempo de contacto.

El modelo WDM se configura en el simulador THE ONE como una combinación de varios modelos de movilidad, por ejemplo, el modelo de movilidad principal es el encargado de activar los modelos relacionados a las actividades del hogar, el trabajo y extras, y los sub-modelos ligados a estas actividades como el del transporte; caminar, automóvil y autobús.

En el ambiente del simulador THE ONE existen nodos que representan autobuses (pueden también representar taxis), cuya movilidad es representada por una ruta en un archivo “Well-Known Text - WKT”. Los nodos móviles, quienes al igual tienen la opción de desplazarse como si lo hicieran en automóvil, interactúan con el sistema de control de autobuses ligado al grupo de nodos

móviles por un ID. El sistema de control es quien informa a los nodos móviles pasajeros cuando el autobús se detiene o cuando los nodos deben entrar o salir del autobús. La ubicación de las oficinas, casas, y centros de reunión como centros comerciales o parques se pueden encontrar en un archivo WKT, que puede representar ubicaciones de una ciudad real, o si se desea, estos puntos pueden ser seleccionados aleatoriamente por el simulador THE ONE.

El escenario WDM empleado para nuestra simulación fue de 300 APs, la Tabla 4 muestra un resumen del número de nodos móviles, puntos de reunión, oficinas, etc.

Tabla 4. Resumen de escenario WDM.

ÁREAS	NODOS MÓVILES	OFICINAS	PUNTOS DE REUNIÓN	AUTOBUSES	TAXIS	APS
A	30	30	4	3	-	-
B	30	10	1	3	-	-
C	30	20	2	3	-	-
D	30	20	2	3	-	-
E (A & B)	30	20	2	5	-	-
F (A & C)	30	30	4	5	-	-
G (A & D)	30	30	4	6	-	-
H (TODO EL MAPA)	90	40	5	12	10	300

Tabla 5. Parámetros de configuración general para nodos móviles.

Parámetro	Ejemplo en THE ONE
Tamaño del área de simulación.	# World's size for Movement Models (width, height; meters) MovementModel.worldSize = 10000, 8000
Tiempo de simulación	# How long the simulation will run (in seconds) Scenario.endTime = 86400
Interfaz de Nodos	#NETWORK INTERFACE SETTINGS # "WIFI" interface for all nodes wifiInterface.type = SimpleBroadcastInterface # Transmit speed of XXXXXX wifiInterface.transmitSpeed = 1000k # Range of transmission (in meter) wifiInterface.transmitRange = 100
Horas de trabajo	Group.workDayLength = 28800 Group1.officeWaitTimeParetoCoeff = 0.8 Group.officeMinWaitTime = 10 Group.officeMaxWaitTime = 100000 #Group.officeMaxWaitTime = 1000
Índices de actividades	Group.probGoShoppingAfterWork = 0.5 Group.nrofMeetingSpots = 2

Cualquier elemento que pudiera tener movimiento (inclusive APs de velocidad cero) se declara en el simulador mediante un grupo que posee ciertos parámetros o características. La Tabla 5 muestra algunos parámetros generales para nodos móviles como la interfaz WiFi y las horas de trabajo. Estos serán parámetros default para los nuevos grupos, y pueden ser modificados según sean las necesidades para el nuevo grupo de nodos.

```

79 #A
80 Group1.groupID = M
81 Group1.waitTime = 0, 1
82 #Group1.nrofHosts = 0
83 Group1.nrofHosts = 15
84 Group1.movementModel = WorkingDayMovement
85 Group1.busControlSystemNr = 1
86 Group1.speed = 0.8, 1.4
87 Group1.ownCarProb = 0.2
88 Group1.shoppingControlSystemNr = 1
89 Group1.meetingSpotsFile = /home/jlmc/THE_ONE/one_1.5/data/HelsinkiMedium/A_meetingspots.wkt
90 Group1.officeLocationsFile = /home/jlmc/THE_ONE/one_1.5/data/HelsinkiMedium/A_offices.wkt
91 Group1.homeLocationsFile = /home/jlmc/THE_ONE/one_1.5/data/HelsinkiMedium/A_homes.wkt
92
93 Group1.officeWaitTimeParetoCoeff = 0.8
94 Group1.probGoShoppingAfterWork = 0.6

```

Figura 23. Configuración de un grupo de nodos móviles con el modelo WDM en el simulador THE ONE.

La Figura 23 muestra la configuración específica para un grupo de nodos móviles llamado “A” que pertenece al grupo de simulación “M” que diferencia a los nodos Móviles(Mx) de los Fijos (Fx - AP) de la simulación. El grupo A tiene 15 nodos móviles (Línea 83 Figura 23), su modelo de movilidad es tipo laboral “Working Day Movement” (Línea 84) y su sistema de control de autobús es 1(Línea 85).

Todas las propiedades del grupo relacionadas con algún tipo de distribución se indican mediante el índice de Pareto, el cual es una medida de la amplitud de distribución de los recursos y su desequilibrio, por ejemplo, que porcentaje del grupo tiene un automóvil. El índice de Pareto es utilizado en la línea 87 y 93 de la Figura 23. En la línea 87, con un índice muy pequeño (0.2) se indica que la probabilidad de que los nodos móviles se desplacen en automóvil será relativamente grande, caso contrario para la línea 94 donde el índice es el triple (0.6), por lo que la probabilidad de que los nodos móviles vayan de compras después del trabajo sería alta.

La Figura 24 presenta la configuración de un grupo de nodos móviles tipo autobús, mientras que la Figura 25 muestra una configuración similar para simular taxis. La principal diferencia con un grupo móvil tipo peatonal es la velocidad y el modelo de movilidad.

```
506##BUS B
507Group28.groupID = BUS_B
508Group28.speed = 7, 10
509Group28.waitTime = 10, 30
510Group28.nrofHosts = 1
511#Group28.nrofHosts = 0
512Group28.movementModel = BusMovement
513Group28.routeFile = /home/jlmc/ECLIPSE/PROJECTS/test1/src/data/HelsinkiMedium/B_bus.wkt
514Group28.routeType = 2
515Group28.busControlSystemNr = 2
```

Figura 24. Configuración de un grupo de autobuses en escenario WDM.

```

776 #####
777 # Taxis
778 Group51.groupID = Taxi_
779 Group51.speed = 7, 10
780 Group51.waitTime = 100, 300
781 Group51.nrofHosts = 10
782 #Group51.nrofHosts = 0
783 Group51.movementModel = BusMovement
784 Group51.routeFile = /home/jlmc/ECLIPSE/PROJECTS/test1/src/data/demo_bus.wkt
785 Group51.routeType = 1
786 Group51.busControlSystemNr = 25
---
```

Figura 25. Configuración de taxis en base a un grupo tipo autobús en escenario WDM.

Tal como lo planea hacer realidad el grupo de trabajo 802.11(mc), donde los APs pueden compartir información con otros APs o se puedan implementar algoritmos como Urbihoc [37] para APs (o dispositivos móviles) con el objetivo de recabar una visión completa de la movilidad de usuarios móviles, en esta tesis se asume que es posible generar una base de datos que pueda utilizarse para el diseño de servicios como el de transporte público. En lo siguiente, suponemos algún mecanismo para recolección de información de varios APs como los antes mencionados, y así obtener la información de contacto entre nodos móviles y APs en un día laboral como una muestra del mismo a lo largo de un año. En base a esta información creamos las rutas estimadas de los nodos móviles, Mapas de Flujo Oportunista – MFO, y realizamos un análisis de flujo y patrones de movilidad, cada una de estas actividades se describen a continuación.

4.3.1. Rutas estimadas de nodos móviles.

La ubicación, ruta y dirección del nodo móvil es capturada cada segundo, pero puede muestrearse según las necesidades de tiempo o por evento de contacto entre el nodo móvil y un AP.

La Figura 26 muestra las rutas estimadas para varios nodos móviles entre las 12 y 14 horas del día considerando cada evento de contacto entre nodo móvil y AP. La Figura 29 muestra la ubicación, y la unión de cada evento respecto al tiempo de ocurrencia del evento. En esta figura se muestran ligeras concentraciones de nodos móviles donde posiblemente se encuentran los puntos de reunión, oficinas u hogares de las personas (nodos móviles).

El simulador THE ONE toma en este caso la cartografía, centros de reunión, y hogares entre otras características de simulación de Helsinki, la capital y la ciudad más grande de Finlandia, la cual posee una Población de 629,512 (al 2016) en 715.4 km². La simulación más apegada a los 75 km² simulados serían con 13,199 nodos móviles (80/20 de 65,995 habitantes en 75 km²), sin embargo, por restricciones computacionales no fue posible realizar esta simulación. Pero se realizó una simulación de menor escala con la información de la Tabla 4 y el área ilustrada de la Figura 27, que para ejemplificar la utilidad de explotar una Red Oportunista WiFi resultan suficientes.

En el área “A” de la Figura 28 se ve claramente la alta concentración de nodos móviles donde se localizan los puntos centrales de la ciudad, por lo que muy probablemente en un análisis detallado será donde se encuentren los APs de alto flujo peatonal de nodos móviles.

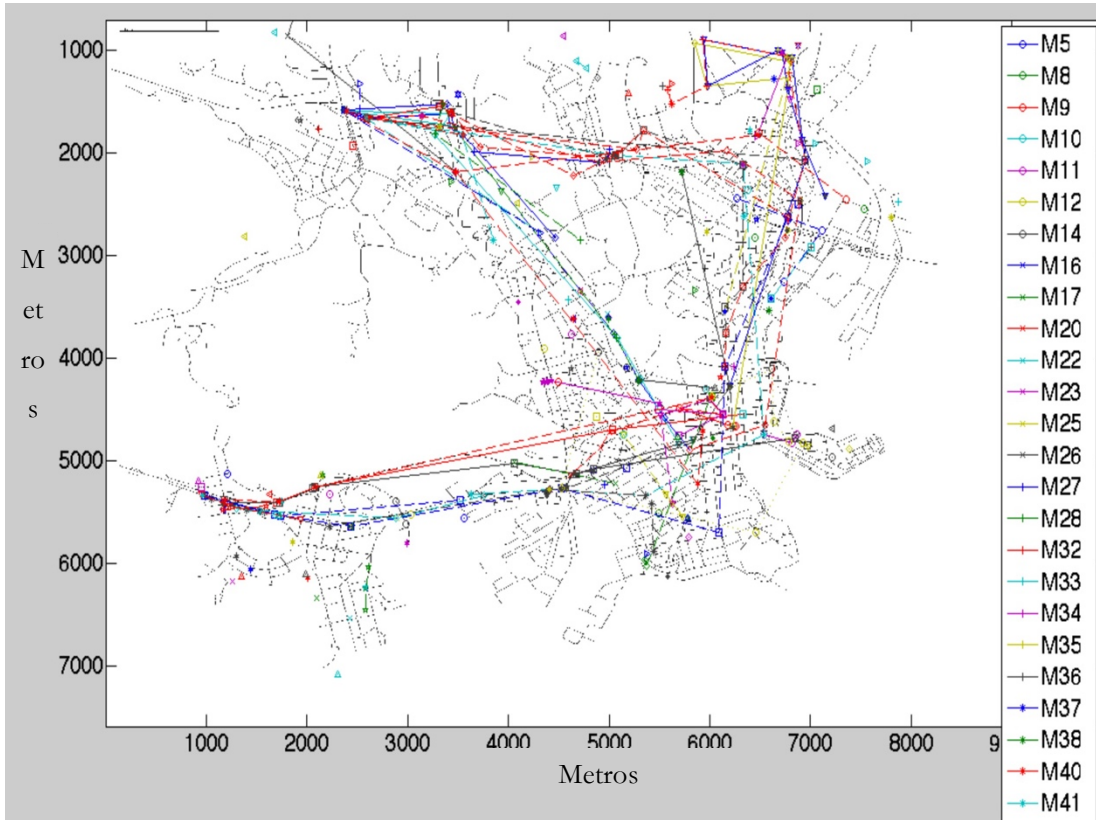


Figura 26. Rutas estimadas de nodos móviles (Mx) entre las 12 y 14 horas del día.

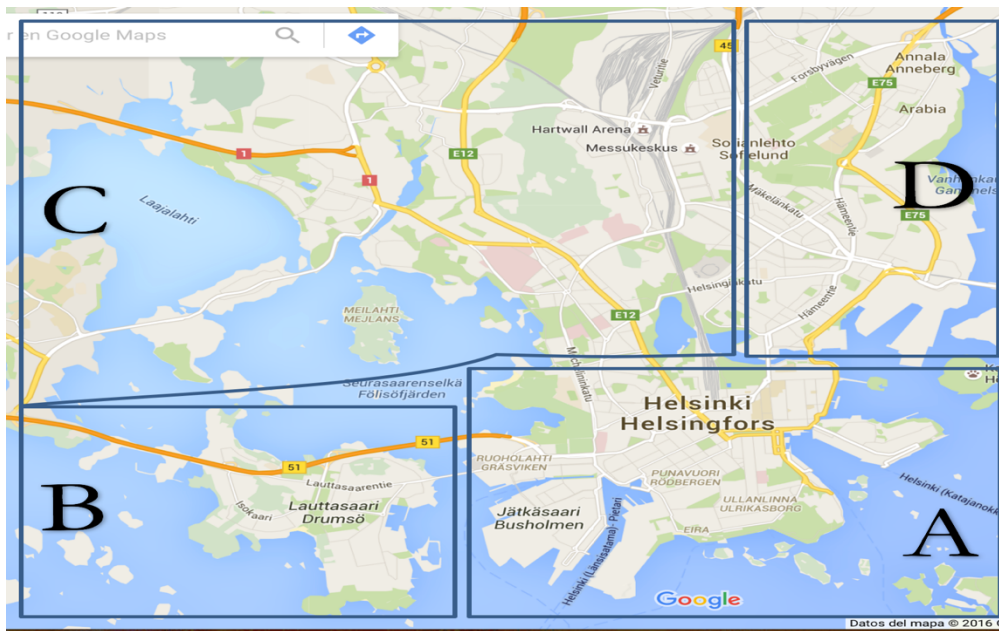


Figura 27. Área de simulación para el modelo WDM.

4.4. Mapas de flujo oportunista – MFO.

Introducimos el concepto de Mapa de Flujo Oportunista como un mapa donde se muestran los APs, quienes en sus mediciones de flujo poseen los más altos volúmenes de tránsito. Estos mapas son utilizados junto con tablas de flujo para la detección de problemas por altas concentraciones de flujo y son la base para la planeación y diseño de infraestructura de transporte. Para determinar los APs pertenecientes al mapa MFO se realizaron unas tablas de flujo determinando parámetros por AP, como el Factor de Hora Pico (FHP) y Volumen de Horario de Máxima Demanda (VHMD).

El Volumen de Horario de Máxima Demanda, para nuestro estudio, lo definimos como el número de dispositivos WiFi (nodos móviles) que pasan por un determinado AP durante un intervalo de tiempo (hora o día). El resultado resumido de este cálculo se puede ver en la

Tabla 6 en la columna 7.

El Factor de Hora Pico (FHP) representa la variación del flujo de nodos móviles circulando dentro de una hora y se calcula en base al VHMD y el volumen máximo (q_{max}) registrado en un intervalo de quince minutos dentro de la hora pico (Hora de mayor VHMD al día), como se muestra en la ecuación (2).

$$FHP = \frac{VHMD}{q_{max} * 4} \quad (2)$$

Tabla 6. Resumen de APs con mayor VHMD, FHP y FH día.

AP	Cx	Cy	Flujo Total de IZ a DE	Flujo Total de DE a IZ	Flujo Total	VHMD max en Hora Pico	Horas Pico en el día		FHP		FH. variación circulación al día.	FH. Flujo sostenido (promedio)
'F302'	1076.7942	5376.71384	15	22	37	8	5	-	0.66	-	0.66666667	0.237847222
'F324'	6407.99675	3230.55489	14	11	25	7	15	-	0.4375	-	0.5	0.136284722
'F325'	2490.85227	1624.54346	21	13	34	7	3	-	0.583	-	0.583333333	0.232638889
'F331'	3633.39559	1883.08328	25	15	40	7	5	-	0.4375	-	0.5	0.245659722
'F338'	1835.51889	5549.35575	10	18	28	6	14	-	0.5	-	0.75	0.190972222
'F356'	4566.9625	2289.2304	13	11	24	7	5	-	0.35	-	0.5	0.139583333
'F365'	6192.52419	4162.81278	38	22	60	8	5	14	0.5	0.66	0.75	0.325520833
'F366'	6186.05645	3392.6043	15	23	38	6	6	-	0.5	-	0.5	0.209201389
'F385'	6193.07899	3400.22732	12	15	27	6	15	-	0.5	-	0.5	0.196180556
'F402'	6226.43169	4560.66173	13	11	24	8	3	-	0.5	-	0.5	0.145833333
'F415'	5462.42194	5970.46535	5	21	26	6	15	-	0.5	-	0.625	0.182291667
'F418'	1627.67265	5485.99215	23	21	44	7	5	14	0.35	0.4375	0.75	0.258506944
'F461'	4478.62027	5352.75115	24	27	51	8	5	-	0.5	-	0.75	0.3125
'F485'	3427.27233	1589.61742	14	16	30	6	6	-	0.5	-	0.5	0.197916667
'F492'	3499.08229	1526.99201	17	19	36	6	5	6	0.5	0.375	0.5	0.178819444
'F521'	4961.24642	2010.63244	22	19	41	6	5	15	0.3	0.375	0.5	0.205208333
'F525'	4368.15508	4130.37305	15	12	27	7	9	-	0.875	-	0.875	0.206597222
'F540'	5747.11724	5644.59549	16	10	26	6	15	-	0.3	-	0.375	0.163541667
'F563'	3609.83315	5420.04428	13	16	29	6	5	-	0.375	-	0.5	0.180555556
'F581'	5001.06766	2045.12279	15	10	25	7	5	-	0.35	-	0.5	0.134375

Los puntos o APs en la Tabla 6 fueron seleccionados como de mayor flujo peatonal al tener valores de VHMD, FHP y FH altos. En esta misma tabla los nodos F302, F365, F402 y F461 (que se muestran de rojo) son nodos de cuello de botella es decir que por ellos pasan la mayor cantidad de dispositivos WiFi en la ciudad. Este tipo de flujo es el que se presenta en avenidas principales o rutas de conexión con aires de disfrute para los ciudadanos de ciudades densamente pobladas.

Cuando se diseña algo del orden público no puede ser específicamente para un punto, si no que es necesario diseñarse para un área en específica para servir a la mayor cantidad de personas y por ello se han creado clústers en base a los APs de alto flujo peatonal. Los APs de alto flujo peatonal fueron introducidos de mayor a menor flujo en una matriz, y se corrió un pequeño análisis en MATLAB para crear los clústers en base a los nodos de mayor VHMD (valor de 8). Para determinar si un nodo es absorbido por un clúster se calcula la distancia en línea recta entre los APs de alto flujo peatonal y si es menor o igual a 500 metros el nodo es absorbido, y si un nodo no es absorbido este crea para este nodo un clúster propio. El número total de clústers obtenidos fue de 12 en base a 21 nodos iniciales, y el flujo promedio para cada clúster es el correspondiente al que se muestra en la

Tabla 7. Por ejemplo, el clúster 1 está compuesto por los APs F365 y F402 con horas pico 5, 14 y 3, los cuales presentan variaciones de flujo medianas.

Las rutas estimadas de los nodos móviles y los APs de alto flujo peatonal en la Figura 29, CX y CY en la

Tabla 7, representan las coordenadas del clúster en base a el promedio de las coordenadas de los APs absorbidos y los cuales se muestran gráficamente en la Figura 30.

Tabla 7. Clústers, APs absorbidos y estadísticas de flujo.

Cluster	AP	CX	CY	Flujo	VHMD max en Hora Pico	Horas Pico en el día		FHP		FH. variación circulación al día.	FH. Flujo sostenido (promedio)
1		6209.47794	4361.7373	42							
	'F365'	6192.52419	4162.8128	60	8	5	14	0.5	0.66	0.75	0.325520833
	'F402'	6226.43169	4560.6617	24	8	3	-	0.5	-	0.5	0.145833333
2		4478.62027	5352.7512	51							
	'F461'	4478.62027	5352.7512	51	8	5	-	0.5	-	0.75	0.3125
3		1731.59577	5517.6739	36							
	'F418'	1627.67265	5485.9921	44	7	5	14	0.35	0.438	0.75	0.258506944
	'F338'	1835.51889	5549.3558	28	6	14	-	0.5	-	0.75	0.190972222
4		4981.15704	2027.8776	24							
	'F521'	4961.24642	2010.6324	41	6	5	15	0.3	0.375	0.5	0.205208333
	'F581'	5001.06766	2045.1228	7	7	5	-	0.35	-	0.5	0.134375
5		3519.91674	1666.5642	35.33							
	'F331'	3633.39559	1883.0833	40	7	5	-	0.4375	-	0.5	0.245659722
	'F492'	3499.08229	1526.992	36	6	5	6	0.5	0.375	0.5	0.178819444
	'F485'	3427.27233	1589.6174	30	6	6	-	0.5	-	0.5	0.197916667
6		6262.3774	3341.1288	30							
	'F366'	6186.05645	3392.6043	38	6	6	-	0.5	-	0.5	0.209201389
	'F385'	6193.07899	3400.2273	27	6	15	-	0.5	-	0.5	0.196180556
	'F324'	6407.99675	3230.5549	25	7	15	-	0.4375	-	0.5	0.136284722
7		1076.7942	5376.7138	37							
	'F302'	1076.7942	5376.7138	37	8	5	-	0.66	-	0.666667	0.237847222
8		2490.85227	1624.5435	34							
	'F325'	2490.85227	1624.5435	34	7	3	-	0.583	-	0.583333	0.232638889
9		3609.83315	5420.0443	29							
	'F563'	3609.83315	5420.0443	29	6	5	-	0.375	-	0.5	0.180555556
10		4368.15508	4130.373	27							
	'F525'	4368.15508	4130.373	27	7	9	-	0.875	-	0.875	0.206597222
11		5604.76959	5807.5304	26							
	'F415'	5462.42194	5970.4654	26	6	15	-	0.5	-	0.625	0.182291667
	'F540'	5747.11724	5644.5955	26	6	15	-	0.3	-	0.375	0.163541667
12		4566.9625	2289.2304	24							
	'F356'	4566.9625	2289.2304	24	7	5	-	0.35	-	0.5	0.139583333

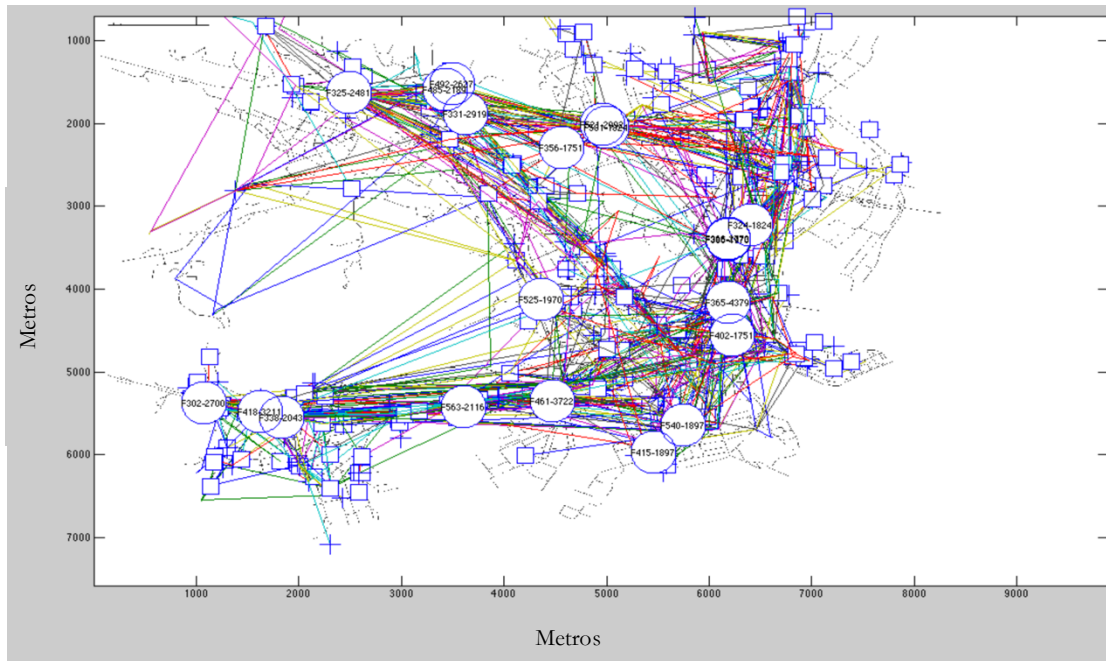


Figura 29. Rutas estimadas de nodos móviles y APs de alto flujo peatonal.

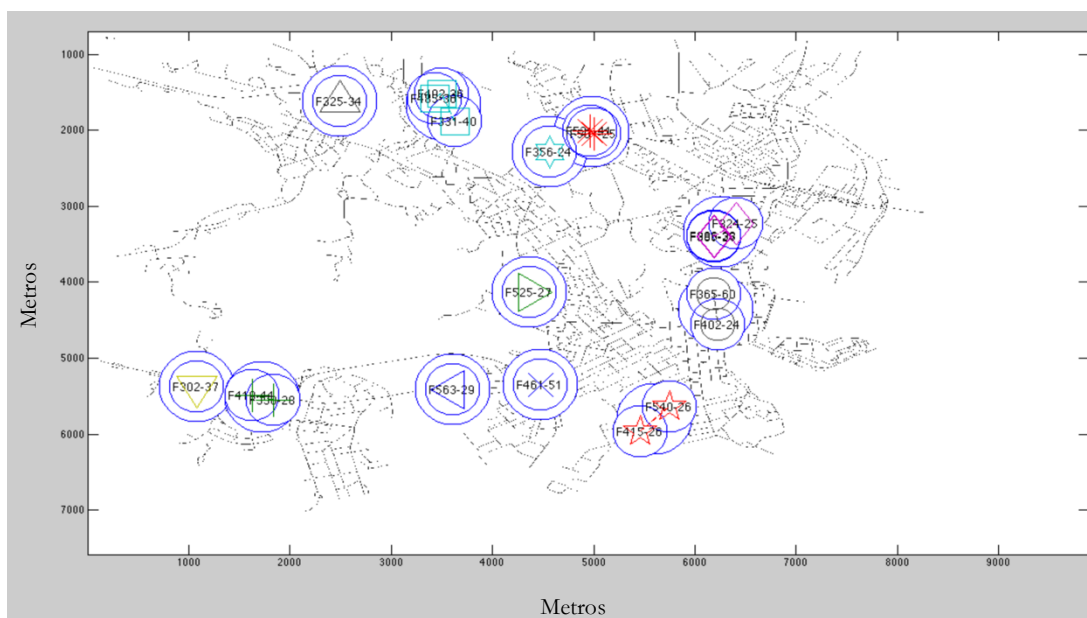


Figura 30. Clústers formados por APs de alto flujo peatonal.

A manera de verificar el comportamiento WDM se calculó el VHMD de cada AP a lo largo de un día, y se sumaron cuantas veces ocurren sus valores máximos para obtener gráficamente los horarios donde la ciudad tiene un gran flujo de habitantes en las calles.

La Figura 31 muestra el número de eventos máximo por hora en toda la ciudad, y de esta figura se puede observar que las horas de mayor concentración de eventos máximos son de las 4 a las 16 horas donde las 5 am y las 3 pm (15 horas) muestran mayor concentración. Las horas de mayor concentración corresponden con las horas pico de la

Tabla 7, que podrían interpretarse como las horas de entrada al trabajo y la hora de comida.

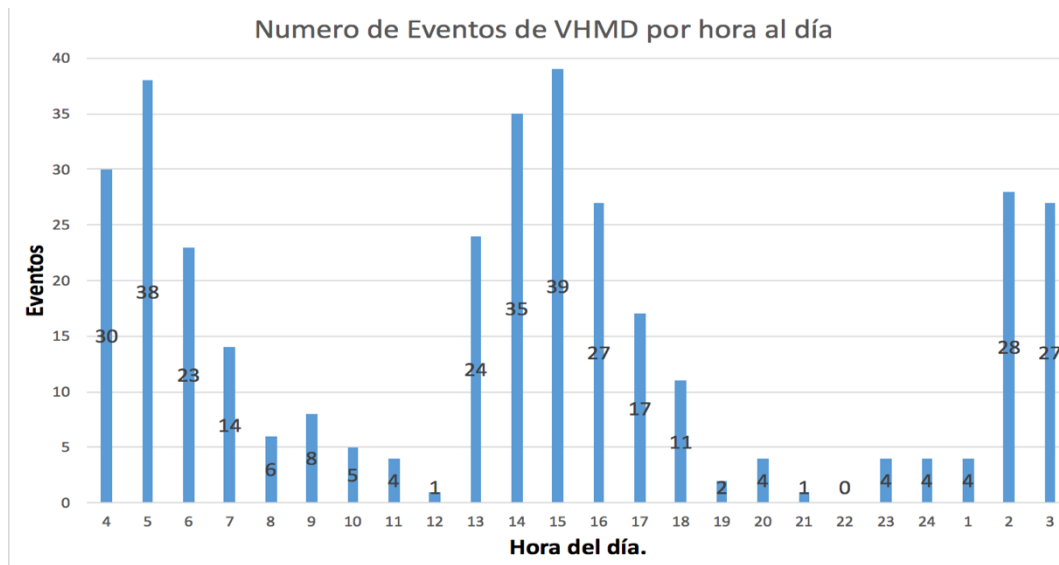


Figura 31. Numero de eventos VHMD por hora al día.

Hasta el momento se han creado clústers y queda como trabajo pendiente utilizar los clústers y APs de alto flujo peatonal para la creación de rutas de transporte bajo criterios de distancia y eficiencia que den a las personas placer, comodidad, seguridad, accesibilidad y factibilidad.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajo futuro

Se realizó una investigación con el fin de modificar la operación del estándar IEEE 802.11 de tal manera que los puntos de acceso (AP) no solo reenvíen la información de y hacia terminales móviles, sino que también detecten la dirección con la que los nodos móviles atraviesan el área de cobertura de los APs. Se encontró una configuración de antenas en APs que permiten determinar la dirección con la que los nodos móviles atraviesan el área de cobertura del AP. Se simuló una red inalámbrica desplegada en Helsinki bajo el protocolo IEEE 802.11 y el contacto de nodos móviles y fijos en un ambiente oportunista donde se supone el uso del algoritmo URBIROW para estimar la dirección y ubicación de nodos móviles. Dicho algoritmo puede ser la base para el desarrollo de diversas aplicaciones como las relacionadas con sistemas de localización, seguimiento, análisis de densidad y flujo de usuarios en la red dentro de una ciudad. En la aplicación propuesta se ha corroborado que es posible obtener información útil, específica y actual de los patrones de movilidad en una ciudad con poca inversión, aprovechando la infraestructura inalámbrica desplegada de redes WiFi para el análisis de patrones de movilidad y diseño de infraestructura de transporte. Se ha introducido el concepto de una Red Oportunista WiFi “ROW”, el cual consideramos permite explotar la infraestructura existente de telecomunicaciones WiFi en una ciudad.

Queda como trabajo futuro la propuesta y simulación nuevas formas de transporte, o la modificación de las rutas actuales de transporte que mejoren el flujo de la ciudad estudiada, reduciendo los cuellos de botella en la ciudad. Así también, resta como trabajo futuro el análisis de flujo en términos de tiempo con el objetivo de reducir los tiempos en que una persona se transporta.

Por último, queda resaltar que este tipo de estudios y aplicaciones pueden realmente impactar y mejorar la calidad de vida de las personas al transportarse en ciudades tan problemáticas como Helsinki o la Ciudad de México.

Referencia

- [1] G. M. O. S. B. B. Dias, «A Centralized Mechanism to Make Predictions Based on Data from Multiple WSNs,» de *Multiple Access Communications: 8th International Workshop, MACOM 2015*, Helsinki, Board, 2015, pp. 19-32.
- [2] a. K. S. B. S. C. H. M. A. M. A. U. A. S. (Eds.), *Wireless sensor networks for developing countries : first International Conference, WSN4DC,, Jamshoro: Board, 2013.*
- [3] D. Z. N. L. a. Z.-H. Z. Chao Chen, «B-Planner: Planning Bidirectional Night Bus Routes Using Large-Scale Taxi GPS Traces,» de *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, 2014.
- [4] Y. R. I. O. Yoav Lerman, «Using Space Syntax to Model Pedestrian Movement in Urban Transportation Planning,» de *Geographical Analysis* , 2014.
- [5] X. L. *. Y. Chen, «Report of A DTN Simulator - THE ONE,» 2013.
- [6] X. L. *. Y. Chen, «THE ONE: How The Scenario Is Created by THE ONE,» 2013.
- [7] X. L. *. Y. Chen, «THE ONE - Case1: Capturing Average Connecting Time among Two Nodes,» 2013.
- [8] X. L. *. Y. Chen, «THE ONE - Case2: Customizing The Movement of Nodes,» 2013.
- [9] Centro de Innovación del Sector Público de PwC e IE Business School., «Smart Cities:La transformación digital de las ciudades.,» Telefonica.
- [10] P. Joubert de la Ferté, *The Third Service*, LONDON: THAMES AND HUDSON, 1955.
- [11] S. Garber, «NASA History Web Curator: Sputnik and The Dawn of the Space Age,» 10 10 2007. [En línea]. Available: <http://history.nasa.gov/sputnik/> . [Último acceso: 15 Enero 2016].
- [12] E. M. G. Polo, «Técnicas de Localización en Redes Inalámbricas de Sensores,» de *Actas XXI Curso de Verano de la Universidad de Castilla-La Mancha. "Redes inalámbricas de sensores: arquitecturas y aplicaciones"*, España, 2008.
- [13] FIP WG 6.8 First international conference on wireless sensor and actor networks, WSAN'07, Wireless sensor and actor networks, L. Orozco-Barbosa, T. Olivares y R. Casado, Edits., Albacete: Springer, 2007.
- [14] C.-Y. C. a. Y.-N. L. Chi-Chang Chen, «Range-Free Localization Scheme in Wireless Sensor Networks Based on Bilateralation,» *International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2013*, 2012.
- [15] Ericsson, «Ericsson Mobility Report on the Pulse of the Networked Society,» Ericsson, Stockholm, Sweden, 2015.
- [16] Wi-Fi Alliance, Qualcomm, 2015. [En línea]. Available: <http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/specifications>. [Último acceso: 10 Enero 2015].
- [17] Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México., «Desarrollo Orientado al Transporte en el CETRAM Constitución de 1917,» Mexico,D.F, 2015.
- [18] United Nations, «World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352),» United Nations, New York, 2014.

- [19] R. d. Vegt, «Never lost indoors – The promise of Wi-Fi® location,» 12 Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://www.wi-fi.org/beacon/rolf-de-vegt/never-lost-indoors-the-promise-of-wi-fi-location>. [Último acceso: 11 Enero 2016].
- [20] IEEE 802.11 resolution for draft 1.0, 17 09 2013. [En línea]. Available: <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/13/11-13-1178-00-000m-resolution-for-draft-1-0-lb-cid-s-cids-1424-1671-1418.docx>. [Último acceso: 5 01 2016].
- [21] P. Thornycroft, «Location Technologies,» de *Atmosphere 2015 how tomorrow moves*, 2015.
- [22] L. F. G. Jimenez, «Desarrollo de algoritmos para conocer la ubicación de terminales móviles y fijas par redes inalámbricas,» Mexico, 2015.
- [23] M. Schwartz, «Mobile Wireless Communications,» Reino Unido, Cambridge: University Press, 2005.
- [24] N. P. a. P. Cherntanomwong, «Empirical Evaluation of RFID-based Indoor Localization with Human Body Effect,» de *Proceedings of the 15th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2009)-114*, 2009.
- [25] Z. L. M. I. V. S. X. Q. Q. C. a. L.-R. Z. M. I. Zhi Zhang, «Item-Level Indoor Localization With Passive UHF RFID Based on Tag Interaction Analysis,» *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, vol. 61, n° 4, Abril 2014.
- [26] Y. C. y. P. Rapajic, «ultra-banda ancha a la red interrogador cognitiva: la iluminación adaptativa con sensores activos para la localización de destino,» *IET Commun*, vol. 4, pp. 573-584, Marzo 2010.
- [27] Z. C. Xiaoxiao Liu & Jun Steed Huang, «The Human Positioning System Based on the WiFi Direct and Precision Time Protocol,» de *International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE)*, Changchun,China, 2011.
- [28] B. P. S. A. Yanchuan Huang, «Active RFID location system based on time-difference measurement using a linear FM chirp tag signal,» de *IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor & Mobile Radio Communications*, 2008.
- [29] Union Internacional de Telecomunicaciones Sector de Radiocomunicaciones, «Comparación de los métodos de diferencia de tiempo de llegada y de ángulo de llegada para la localización geográfica de señales,» 2011.
- [30] R. W. (. T. U. Boyd, «Location system for wireless local area network (WLAN) using RSSI and time difference of arrival (TDOA) processing». USA Patente 7899006, 01 Marzo 2011.
- [31] B. Li, J. Salter, A. Dempster y C. Rizos, «Indoor positioning techniques based on wireless LAN,» de *In Proceedings of the First IEEE International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications*, Sydney,Australia, 2006.
- [32] Y. N. T. Sagar V. Ramani, «Indoor Navigation on Google Maps and Indoor Localization Using RSS Fingerprinting,» *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 11, n° 4, Mayo 2014.
- [33] Z. S. Z. S. J. H. S. N. E.-S. Y. Zhuang, «Autonomous WLAN Heading and Position for Smartphones,» IEEE, Calgary, 2014.
- [34] A. K. J. K. a. J. O. Frans Ekman, «Working Day Movement Model,» Helsinki .
- [35] J. Gehl, *Life between buildings: Using public space*, Washington, DC: Island Press, 2011.

- [36] S. T. K. a. G. K. Ólafur Helgason, «Opportunistic Communication and Human Mobility,» *IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING*, vol. 13, n° 7, Julio 2014.
- [37] M. M.-d.-O. J. G. L.-G. Pascoe-Chalke., «Urbihoc: A Mechanism to share data for Mobile CrowdSensing,» 2015.
- [38] IEEE Computer Society, «IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks— Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Radio Resource Measurement of Wireless LANs,» IEEE, New York, 2008.
- [39] T. K. & J. O. Ari Keränen, «Simulating Mobility and DTNs with the ONE,» *JOURNAL OF COMMUNICATIONS*, vol. 5, n° 2, 02 2010.
- [40] R. R. Luz, «Configuración de instalaciones fijas y unidades móviles.,» de *Sistemas de radiocomunicaciones*, Ediciones Paraninfo, S.A, 2005.
- [41] S. C. M. D. U. K. R. K. T. Azzouzi, «New measurement results for the localization of UHF RFID transponders using an Angle of Arrival (AoA) approach.,» de *IEEE International Conference on RFID*, 2011.
- [42] C. G. B. X. L. Z. Z. K. P. Hekimian-Williams, «Accurate localization of RFID tags using phase difference.,» de *IEEE International Conference on RFID*, 2010.
- [43] C.-H. Ko, «RFID 3D location sensing algorithms,» de *In Building Information Modeling and Collaborative Working Environments, Automation in Construction 2010*, 2010.
- [44] C. A. Kevin Stanton, «Addition of p802.11-MC Fine Timing Measurement (FTM) to p802.1AS-Rev: Tradeoffs and Proposals Rev 0.9,» Berlin, 2015.
- [45] M. A. ALFONZO, «TO WALK OR NOT TO WALK? The Hierarchy of Walking Needs,» *ENVIRONMENT AND BEHAVIOR*, vol. 37, n° 6, pp. 808-836, Noviembre 2005.

