



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**



**CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEXCOCO**

**DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN.**

**PROTOCOLO CROSS-LAYER PROACTIVO BASADO EN TÉCNICAS DE  
INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA HANDOVER SIN FISURAS EN AMBIENTES  
MÓVILES WLAN.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN.**

**PRESENTA:  
JOSUÉ VICENTE CERVANTES BAZÁN.**

**TUTOR ACADÉMICO:  
DRA. ALMA DELIA CUEVAS RASGADO.**

**TUTORES ADJUNTOS:  
DR. FARID GARCÍA LAMONT.  
DR. ADRIÁN TRUEBA ESPINOSA.**

**TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, DICIEMBRE<sup>1</sup> DE 2020.**

# CONTENIDO

CONTENIDO .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
Resumen .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Definición del problema de investigación .....	3
1.2 Justificación .....	6
1.3 Hipótesis .....	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 Pertinencia.....	7
1.6 Aportaciones.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Handover en redes IP .....	9
2.1 Redes Neuronales Artificiales .....	11
2.2 Filtros para estimación de posición .....	12
2.2.1 Kalman Filter (KF).....	12
2.2.2 Extended Kalman Filter(EKF) .....	14
2.2.3 Unscented Kalman Filter(UKF) .....	15
2.2.4 Particle Filter(PF).....	17
2.3 Lenguajes de Ontologías .....	18
2.3.1 Breve descripción de los lenguajes de definición de Ontologías .....	19
2.3.2 El lenguaje OM .....	20
2.3.3 Análisis comparativo de los lenguajes de definición de ontologías expuestos .....	23
CAPÍTULO III: ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	24
3.1 Estado del conocimiento en Medición de <i>handover</i> e inicialización.....	24
3.1.1 Escaneo .....	24

3.1.2 Autenticación .....	25
3.1.3 Reasociación .....	25
3.2 Estado del conocimiento en Decisión de <i>handover</i> .....	25
3.2.1 Algoritmos basados en una característica de decisión.....	26
Algoritmos basados en RSS.....	27
Algoritmos basados en Ancho de banda. ....	27
3.2.2 Algoritmos basados en Inteligencia Artificial .....	27
Algoritmos basados en lógica difusa. ....	28
Algoritmos basados en Máquinas de Soporte Vectorial.....	28
Algoritmos basados en Bosque aleatorio .....	29
Algoritmos basados en K vecinos más cercanos.....	29
3.3 Estado del conocimiento en Ejecución del <i>handover</i> . ....	30
3.3.1 Análisis desde la capa de aplicación.....	30
3.3.2 Análisis desde la capa de red .....	31
3.4 Análisis y Discusión del Estado del Arte .....	32
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA.....	36
4.1 Protocolo Cross-Layer Proactivo.....	36
4.1.1 Adquisición de direcciones (AA) .....	37
4.1.2 Preservación de la continuidad de los servicios (POC) .....	40
4.1.3 Mecanismo suavizador de pérdidas proactivo(MSHO-P) .....	41
4.2 Algoritmo de toma de decisión basado en ontologías. ....	43
CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS.....	45
5.1. Escenario de pruebas para algoritmos de toma de decisión .....	45
5.2 Resultados de algoritmo de toma de decisión basado en ontologías. ....	46
5.3 Simulación del entorno de movilidad con estimación de movilidad .....	47
5.4 Escenario controlado para pruebas en ambiente real para protocolo Cross-Layer proactivo .....	53
5.4.1 Definición de problema de selección de siguiente red. ....	53
5.4.2 Proceso de selección de red según el protocolo Cross-Layer proactivo. ....	54
5.4.3 Arquitectura del sistema .....	56

5.4.5 Procedimiento de toma de decisión .....	56
5.4.4 Adquisición de datos.....	57
5.4.6 Graficas de resultados de Clasificadores .....	59
5.5 Plataforma de prueba para validación de ejecución de handover. ....	63
5.5.1 Descripción de los componentes de prueba. ....	64
5.5.2 Adquisición de direcciones IP .....	64
5.5.3 Evaluación del desempeño del protocolo cross-layer Proactivo.....	66
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	68
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES .....	72
ANEXOS.....	75
A.1 Instalación del simulador NS3 .....	75
A.2. Visual de las pruebas .....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Escenario donde un nodo móvil puede cambiar a una red WLAN o WiMAX o UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) mejor conocida como red 3G. Imagen de (Sun, 2008) .....	3
Figura 2 Algoritmo genérico para la toma de decisión de cambio, (Cervantes-Bazán, 2019).....	4
Figura 3 Handover vertical y horizontal, elaboración propia. ....	9
Figura 4 Procedimiento general del handover, elaboración propia. ....	10
Figura 5 Representación de una ontología con siete nodos de una topología de red usando el lenguaje OM. ....	22
Figura 6 Presentación de la ontología bajo la anotación de OM.....	23
Figura 7 Mensajes emitidos por el servidor FCLH al recibir un mensaje DHCP discover-o, (Elaboración propia).....	37
Figura 8 Negociación de una dirección IP con la propuesta FDHCP. ....	38
Figura 9 Pérdida de un mensaje DHCP ACK del FDHCP. ....	39
Figura 10 Preservando al continuidad de los servicios en el proceso de handover. ....	40
Figura 11 Traspaso suave en FCLH. ....	41
Figura 12 Manteniendo la localización global .....	41
Figura 13 Proceso de handover Proactivo con FCLH.....	42
Figura 14 Proceso de handover sin protocolo de movilidad. ....	42
Figura 15 Algoritmo de toma de decisión .....	43
Figura 16 Diagrama de flujo para buscar nodos adyacentes.....	44
Figura 17 Imagen de cobertura de red de redes 802.11 en Simulador NS2 .....	45
Figura 18 Escenario de pruebas para algoritmo de toma de decisión basado en ontologías. ....	46
Figura 19 Algoritmo de simulación usando ontologías. ....	47
Figura 20 El camino de C a D se ha trazado de acuerdo a la sugerencia del simulador .....	47
Figura 21 Simulación de un nodo móvil, en Random Walk, etapa de obtención de datos. ....	48

Figura 22 Importación de datos a Matlab, para ser procesados. ....	49
Figura 23 Filtro de partículas, RNA simulando movimiento aleatorio.....	49
Figura 24 Segunda prueba se simulación de un nodo móvil, en Random Walk. ...	50
Figura 25 Importamos los datos a Matlab, para ser procesados. ....	50
Figura 26 Filtro de partículas, RNA simulando movimiento aleatorio.....	51
Figura 27 Escenario de pruebas con siete puntos de acceso WiFi con un área de cobertura de 100 m. ....	53
Figura 28 Diagrama de bloques del Protocolo Cross-layer proactivo, ilustración propia.....	54
Figura 29 Arquitectura del sistema.....	56
Figura 30 Diagrama de flujo del sistema .....	57
Figura 31 Interfaz de usuario de aplicación mostrando resultados de escaneo....	57
Figura 32 Archivo resultadosRED.csv en almacenamiento interno del dispositivo móvil .....	58
Figura 33 Datos del resultadoRED.csv.....	58
Figura 34 Interfaz de Grafica de muestras en 4D del punto de acceso con la posición y potencia de señal recibida.....	59
Figura 35 Grafica en Matlab de clasificador NB, con exactitud=71.42%.....	60
Figura 36 Grafica de comparación de exactitud contra el porcentaje de datos de prueba.....	61
Figura 37 Grafica de porcentaje y exactitud agrupadas por técnica .....	62
Figura 38 Escenario de pruebas para protocolo FCLH.....	63
Figura 39 Tiempo total en obtener una dirección IP y configurar la interfaz de red. .....	65
Figura 40 Gráfica de tiempo de handover vs retraso entre el MN y el CN. ....	66
Figura 41 Gráfica de paquetes almacenados en el AP vs retraso entre el MN y el CN. ....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de toma de decisión .....	4
Tabla 2 Etiquetas usadas en el lenguaje OM .....	21
Tabla 3 Características generales de los lenguajes para definir ontologías, En la cual OM puede representar la semántica a un nivel de granularidad mayor. ....	23
Tabla 4 Comparativa de propuestas de la etapa (Elaboración propia). ....	32
Tabla 5 Comparativa de propuestas de la etapa 2) Decisión de handover, (Elaboración Propia). ....	32
Tabla 6 Comparativa de propuestas de la etapa 3) Ejecución del handover, (Elaboración propia). ....	34
Tabla 7 Comparativa de propuestas seleccionadas para comparación de resultados obtenidos, (Elaboración propia). ....	34
Tabla 8 Comparativa de propuestas de IA predicción de movilidad. (Elaboración propia). ....	51
Tabla 9 Comparativa de técnicas contra el porcentaje de datos de prueba. ....	60

## Resumen

En este documento se presenta una nueva propuesta de protocolo predictivo basado en técnicas de inteligencia artificial para pronosticar la siguiente red a conectarse, este marco de referencia está basado en un protocolo de handover Cross-Layer y un pronosticador de siguiente red basado en cinco clasificadores: regresión logística, Bayes ingenuo, máquina de soporte vectorial, arboles de decisión y k vecinos más cercanos, obteniendo hasta un 92 % de exactitud en el pronóstico de red. Basado en este marco de referencia se obtiene un traspaso sin fisuras en ambientes móviles WLAN.

**Palabras clave:** capa-cruzada, traspaso, decisión de cambio, clasificador ingenuo de Bayes, regresión logística, k vecinos más cercanos, Maquinas de soporte vectorial.

## Abstract

A new framework based on Cross-Layer Protocol, Predictor and Classifier to forecast the next network to connect, this framework is based on a Cross-Layer handover protocol and a next network predictor based on five classifiers: logistic regression, naive bayes, vector support machine, decision trees and k closest neighbors, obtaining up to 92% accuracy in the next network forecast. Based on this framework, seamless handover is achieved in mobile WLAN environments.

**Keywords:** Cross-layer, Handover, handoff decisión, naive bayes, logistic regression, decision tree, K-nearest neighbors, Support Vector Machine.



## INTRODUCCIÓN

La idea de internet nació de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados (Advanced Research Projects Agency o ARPA) en 1957, con la finalidad de interconectar globalmente para acceder a datos y programas. Por lo tanto, surgió la necesidad de establecer un estándar de comunicación y el nacimiento del Protocolo de Control de Red o, por su siglas en inglés, Network Control Protocol (NCP) (O'Neill, 1995).

Varios investigadores se sumaron al desarrollo de internet y se concibe como una red de redes estática. Más adelante con la evolución de la red de redes, aparecieron los dispositivos inalámbricos y con ellos la problemática de la movilidad. Es decir, problemas asociados al cambio físico de red y los problemas inherentes a la pérdida de la continuidad de los servicios. Además, los protocolos de red se han transformado uno de ellos es el Protocolo de Internet (Internet Protocol IP), pilar de las comunicaciones en internet. En efecto, el protocolo de Internet no fue diseñado, para soportar comunicaciones móviles, ni aplicaciones *Time Constrained Applications* (TCA), debido a sus principios básicos de operación.

El traspaso de red o *handover* se realiza en tres etapas 1) Medición de *handover* e inicialización, 2) Decisión de *handover* y 3) Ejecución del *handover*. En la primera etapa, el Nodo Móvil (NM) toma las mediciones de las métricas de las redes próximas, en la segunda etapa, se aplican algoritmos que deciden cuando cambiar de red y en la tercera etapa se realizan los procedimientos necesarios para acoplar a la nueva red y reestablecer los servicios.

En cuanto a los problemas relacionados con la ejecución del *handover*, IP establece que todo equipo que opere en el seno de una red su dirección debe ser derivada de dicha red. Bajo ese esquema, cuando un equipo se mueve de su red original a una nueva red, éste experimentará los siguientes problemas: 1) Toda comunicación se vuelve imposible debido a que su dirección IP no es válida en el nuevo contexto. 2) Las comunicaciones en curso se pierden, 3) Los nodos móviles desaparecen de la red global.

Por otra parte, los problemas relacionados a la decisión de *handover*, radican en el diseño de un algoritmo que seleccione la red óptima, en caso de existir diversas redes en el área para transición. En términos generales, el algoritmo de toma de decisión se alimenta de los datos proporcionados por la red y después de procesar los datos, decide a que red cambiar. Usualmente son cambios entre redes Wireless Local Área Network (WLAN), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), Long Term Evolution (LTE), entre otras. Respecto a este tópico de investigación, múltiples propuestas usan técnicas de Inteligencia Artificial (IA), como Redes Neuronales Artificiales, Lógica difusa, Algoritmos Genéticos, Árboles de decisión, entre otros.

Se realiza un análisis de las técnicas de IA en la sección de estado del arte, aunque pocas investigaciones se enfocan en pronosticar el movimiento del nodo móvil. Por lo tanto, ésta investigación se enfoca en proponer una infraestructura para reducir la pérdida de paquetes durante el traspaso, pronosticando el movimiento del nodo móvil, usando técnicas IA, para anticipar los procesos necesarios al realizar el traspaso, generando una propuesta proactiva y evitando lo menos posible la pérdida paquetes.

En esta tesis se presentan dos técnicas de pronósticos: “Particle Filter” y “Red Neuronal perceptrón multicapa”, para estimar el movimiento de una persona caminando aleatoriamente. Los resultados muestran un error cuadrado medio (MSE)  $45.74 \pm 23.69$  y  $33.58 \pm 17.19$  respectivamente al pronosticar el movimiento de una persona. Además, muestra resultados de clasificación de hasta un 92% de exactitud.

Esta tesis está organizada de la siguiente manera, en el primer capítulo se centra en el planteamiento del problema, objetivos, justificación, hipótesis, pertinencia y aportaciones. El capítulo 2 presenta el marco teórico conceptual. El capítulo 3 describe el estado del conocimiento en materia de los trabajos relacionados. El capítulo 4 presenta a detalle el diseño del algoritmo mediante la metodología usada. El capítulo 5 describe la implementación y las pruebas, dichos resultados se analizan a detalle. Al final se exponen las conclusiones y los Anexos.

---

# CAPÍTULO I: CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

---

En este capítulo se versa sobre el contexto de la investigación. Es decir, se define la naturaleza del problema, se justifica su importancia, se propone una hipótesis y finalmente, se definen los alcances de esta investigación con los objetivos generales y particulares.

## 1.1 Definición del problema de investigación

El proceso que desencadena la transición de un nodo móvil a una nueva red, es un algoritmo que toma la decisión de cambio de red. En un escenario de redes heterogéneas (véase, Figura 1), existen diversas redes para transición dentro del área. De esta manera, el algoritmo de toma de decisiones, se alimenta de los datos proporcionados por las redes y después de procesar los datos, decide a que red cambiar.

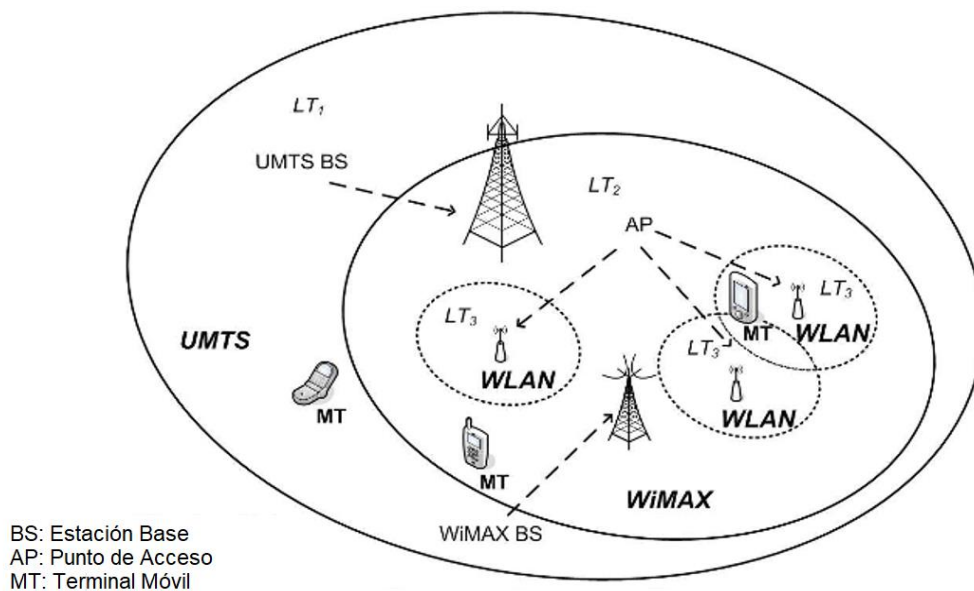


Figura 1 Escenario donde un nodo móvil puede cambiar a una red WLAN o WiMAX o UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) mejor conocida como red 3G. Imagen de (Sun, 2008)

Algunos de los criterios más utilizados para tomar la decisión de cambio son mostrados en la Tabla 1 además de las preferencias de usuario, tales como el costo de la red y la seguridad.

Tabla 1 Parámetros de toma de decisión

Parámetro	Descripción
Potencia de la señal recibida(RSSI)	Nivel de potencia de las señales recibidas en redes inalámbricas
Balance de Red(NL)	Carga tráfico en una red, puede ser un parámetro importante por la capacidad del canal
Taza de error binario(VER)	Número de bits recibidos que han sido alterados debido al ruido o al interferencia, dividido entre el número total de bits transferidos durante el tiempo del intervalo
Taza de transferencia efectiva(Throughput)	Esta medida se refiere a la cantidad de datos o mensajes que recibe con éxito, en un canal específico
Relación señal a ruido(SNR)	Es la relación señal a ruido y se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe

En la Figura 2, se ilustra un algoritmo genérico para la fase de decisión de *handover*, que básicamente es una representación de los datos de entrada que se pasa al algoritmo para que tome una decisión de cambio, es decir seleccione la red óptima.

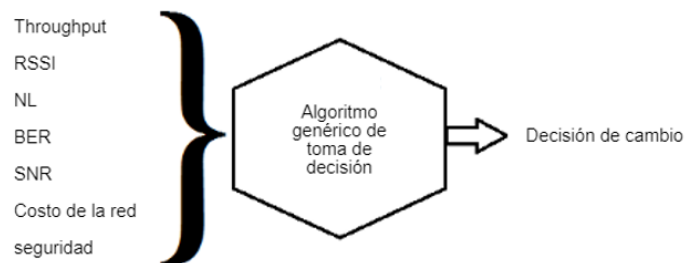


Figura 2 Algoritmo genérico para la toma de decisión de cambio, (Cervantes-Bazán, 2019).

Los algoritmos que toman la decisión de cambio basados en inteligencia artificial, tienen asociado una alta complejidad algorítmica.

El problema de selección de la siguiente red puede definirse matemáticamente como: dado un conjunto R de redes candidatas para realizar el traspaso de red (handover) constituido por la tripleta {ESSID, RSSI, MacAddress}, es decir, sea  $R = \{(ESSID_1, RSSI_1, MacAddress_1), \dots, (ESSID_{|R|}, RSSI_{|R|}, MacAddress_{|R|})\}$ ,  $|R| \geq 2$ , y otro conjunto GPS formado por la posición del nodo móvil en grados decimales constituidos por la tripleta {latitud, longitud y altura}. Es decir, sea  $GPS = \{(lat_1, lon_1, alt_1), \dots, (lat_{|N|}, lon_{|N|}, alt_{|N|})\}$ ,  $|N| \geq 2$ , y finalmente el conjunto AV constituido por la aceleración en los tres ejes y la velocidad  $AV = \{(ax_1, ay_1, az_1, v_1), \dots, (ax_{|A|}, ay_{|A|}, az_{|A|}, v_{|A|})\}$ ,  $|A| \geq 2$ . Entonces la solución se modela con el conjunto  $D_i^t = \{GPS^t, AV^t, R_i^t\}$ ,  $i=1, \dots, R$  y  $t > 0$ .

Entonces el conjunto de datos queda expresado de la siguiente manera:

$$D_i^t = \{ lat, lon, alt, ax, ay, az, v, ESSID, RSSI, MacAddress \}$$

Es decir, en el tiempo  $t=1$ , hay tres redes disponibles para realizar el cambio de red.

$$D_{i=3}^{t=1} = \{ 19.41356, -98.90195, 2242, 1.41617, 3.84269, 7.96311, 5.01, Red1, -78, e4:3e:d7:26:cd:a7, Red2, -78, 48:8d:36:3d:04:b8, Red3, -85, 94:8f:cf:84:67:32 \}$$

Por otro lado, en el tiempo  $t=2$ , hay dos redes disponibles para realizar el cambio de red.

$$D_{i=2}^{t=2} = \{ 19.491490, -98.892851, 2267, 5.75562, -0.153, 0.306, 10.726, INFINITUM68xx, -78, 50:4e:dc:2b:fe:18, INFINITUMr5xz, -78, 7c:b1:5d:5e:4e:f8 \}$$

El conjunto de datos D es variable en función de la cobertura de redes cercanas a la posición, es importante mencionar que en el caso trivial donde solo existe una red disponible para cambiar, por definición esa es la mejor y peor red al mismo tiempo por lo tanto, el algoritmo de toma de decisión solo puede evaluar una posibilidad y sería la única opción a seleccionar, por estas razones, en esta investigación se considera ambiente con al más de dos redes adyacentes.

## **1.2 Justificación**

Una de las razones de esa investigación es que los nodos móviles adquieren interfaces de conexión heterogéneas. Es decir, con la tecnología actual se puede acceder a redes, WiFi, LTE, WiMAX, etc. Además el Internet Engineering Task Force (IETF), siempre está desarrollando nuevas maneras de mejorar la conexión a internet, es por esta razón que este tópico de investigación usualmente será imprescindible en el área de redes.

Otra razón importante es que: los nodos móviles necesitan un tiempo de presentación restringido para poder ejecutar aplicaciones en tiempo real y además mejorar la Calidad del Servicio Quality Of Service (QoS) o Quality of Experience (QoE). Además, la Asociación Mexicana de Internet (AMIPCI) en la 11ª Edición de su Estudio de Hábitos de los Usuarios de Internet en México, patrocinado por la Agencia de Medios Digitales Pulpo, y elaborado por Elogia (Digital, 2019), Agencia de Marketing Digital, indicó que cada usuario se conecta a Internet en promedio durante 6 horas y 11 minutos diariamente (Isassi, 2015) y el INEGI en el estudio sobre la Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares indica que 77.7 millones de personas usan celular y dos de cada tres usuarios cuentan con un teléfono inteligente (ENTIC, 2016). Por esta última razón, se considera un amplio alcance de usuarios beneficiados con la aportación de esta tesis.

## **1.3 Hipótesis**

Si es posible estimar el movimiento de un nodo móvil, entonces también es posible pronosticar la red a la que se conectará y como efecto se podrán anticipar los procedimientos que debe realizar al cambiar de red, disminuyendo la pérdida de paquetes.

## **1.4 Objetivos**

Los objetivos de esta investigación se presentan a continuación:

### 1.4.1 Objetivo General

Diseñar un algoritmo de optimización para predecir el cambio de una red a otra considerando reducir la cantidad de paquetes perdidos y minimizar el tiempo de traspaso en una red inalámbrica IEEE 802.11.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el estado del conocimiento y redactar un estudio de los algoritmos que usan técnicas de Inteligencia Artificial en la etapa de decisión de *handover*.
- Proponer un algoritmo predictor de movimiento para la etapa de decisión.
- Seleccionar el algoritmo de pronóstico de movimiento.
- Reducir el número de paquetes perdidos y tiempo de transición durante el *handover*.
- Evaluar el desempeño del protocolo predictivo, en términos de exactitud y cantidad de paquetes perdidos.

## 1.5 Pertinencia

El algoritmo de predicción de cambio se enfoca en pronosticar el movimiento de un nodo móvil para anticiparse a la transición de red, y realizar un traspaso evitando pérdida de paquetes. En el apartado 1.3 se mencionó que existen 77.7 millones de personas que usan celular en México pero del 2019 al 2020 esta cifra ha cambiado, se prevé que el número de usuarios de estos dispositivos móviles supere los 92 millones entre 2020 y 2024<sup>1</sup>. Para entonces, habrá más apertura de redes gratuitas/públicas que permitirán la transferencia entre redes, única característica que se requiere para la funcionalidad del algoritmo.

## 1.6 Aportaciones

Las principales aportaciones de esta tesis son:

1. Algoritmo para decisión de cambio de redes sin pérdida de paquetes.

---

<sup>1</sup> <https://es.statista.com/estadisticas/1077622/usuarios-de-smartphone-en-mexico/>

2. Conexión constante entre los dispositivos móviles y las redes abiertas o públicas lo cual redundaría en la disminución de gastos de conexión. Actualmente tener un teléfono inteligente es una necesidad.
3. Mantenimiento de la conexión en curso, debido a la toma de decisión de cambio anticipada.
4. Reducción del efecto ping-pong.



---

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

---

En este capítulo se presentan varias definiciones que son la base de estudio, por lo que es preciso conocer a detalle los aspectos teóricos que integran la decisión de cambio. En primera instancia, se inicia por definir el *handover* en redes IP, después se explican las distintas maneras en que solucionan el proceso de transición de red, desde diferentes capas del modelo de red OSI. Finalmente, se explica la problemática de la decisión de cambio y su estado actual del conocimiento.

### 2.1 Handover en redes IP

El *handover* en redes IP es la transición física de una red a otra. El *handover* se tipifica a dos tipos de transición 1) *handover* horizontal y 2) *handover* vertical (Khan, 2017). Cuando un Nodo Móvil (NM) cambia de red en la misma tecnología realiza un *handover* horizontal, es decir de WiFi a WiFi, WiMax a WiMax u otra tecnología. Así como se muestra en el cuadro punteado de la Figura 3. Si cambia de red a diferente tecnología entonces realiza un *handover* vertical tal y como se muestra en el cuadro vertical de la misma figura 3.

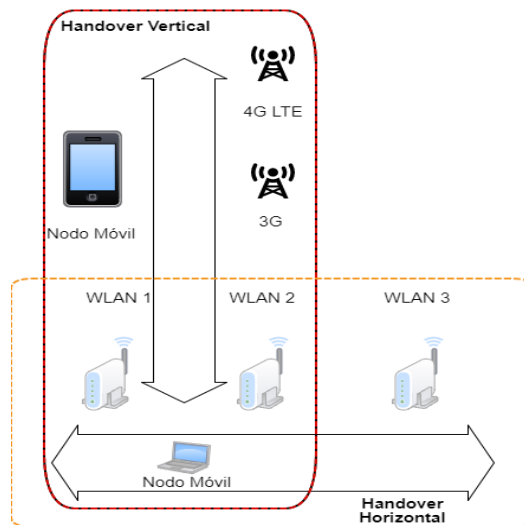


Figura 3 Handover vertical y horizontal, elaboración propia.

El procedimiento general del proceso de cambio se clasifica en tres etapas de acuerdo a (M. Kassar, 2008) y (Zhu, 2004), 1) Medición de *handover* e inicialización, 2) Decisión de *handover* y 3) Ejecución del *handover*. En la primera etapa el NM toma las mediciones de las métricas de las redes próximas, en la segunda etapa algoritmos deciden cuando cambiar de red y en la tercera etapa se realizan los procedimientos necesarios para acoplar a la nueva red y reestablecer los servicios, así como se muestra en la Figura 4.

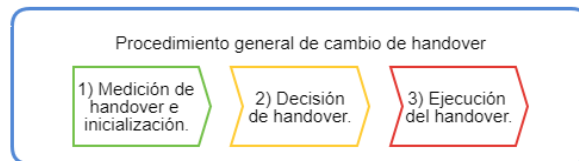


Figura 4 Procedimiento general del handover, elaboración propia.

Adicionalmente el *handover* puede clasificarse por su desempeño, *fast*, *smooth* y *seamless* (Giorgos Karopoulos, 2007).

**Fast handover.** Es el proceso de cambio que tiene como objetivo primario minimizar el retardo de *handover*, sin interés explícito en la pérdida de paquetes.

**Smooth handover.** Es el proceso de cambio que tiene como objetivo primario minimizar la pérdida de mensajes, sin interés explícito en los retardos por el reenvío de paquetes.

**Seamless handover.** Es el proceso de cambio en el que no hay cambio en la capa de servicio, seguridad o calidad. Prácticamente se espera muy poca degradación del servicio. La definición de un *handover* sin fisuras prácticamente sería que otros protocolos, aplicaciones o usuario no detectara un cambio en la calidad, seguridad o que no detecten un cambio fuera de su funcionamiento normal. En consecuencia lo que sería un *handover* sin fisuras para una aplicación menos demandante, no sería igual para otra aplicación más exigente (Giorgos Karopoulos, 2007).

En términos de medidas de desempeño, existen diferentes métricas para comparar los protocolos de transición (*handover*). Usualmente los autores, usan el tiempo de

*handover* (handoff latency), pérdidas(packet losse rate), throughput, *handover rate*, signaling overload, entre otras.

***handover-rate***: es el promedio de *handovers* en una llamada, para movilidad en IP se podría considerar el número de saltos que se efectúan durante una sesión multimedia.

**Throughput**: velocidad promedio de mensajes entregados con éxito en una red, medida en bps(bytes por segundo).

**Signaling overload**: cantidad de señalización intercambiada entre los actores del *handover*.

***handover latency***: es la suma de los retardos generados en un *handover*.

***Packet losse rate***: porcentaje de paquetes perdidos.

Todos los esquemas de cambio mencionados anteriormente soportan cambios íter-dominio e intra-dominio, cuando un nodo móvil se cambia de red y conserva el mismo dominio de red, es decir que solo se cambia de punto de acceso, se conoce como *handover* intra-dominio, este tipo de cambio suele ser muy corto contrario al *handover* íter-dominio. Por lo tanto cuando un nodo móvil cambia de red y de dominio IP se ejecuta un *handover* inter-dominio, generalmente la literatura también clasifica a las propuestas de *handover* en *proactivas* y *reactivas*, una propuesta es *proactiva* cuando se desencadena el proceso de cambio antes de que el *handover* ocurra, en cambio cuando se toman acciones después de que el nodo móvil se conecta a la nueva red es una propuesta *reactiva*.

## 2.1 Redes Neuronales Artificiales

Las redes neuronales artificiales (RNA) establecen un sistema de aprendizaje inspirado en el funcionamiento del cerebro humano. Es decir, simula e imitan sistemas permitiendo establecer relaciones no lineales entre las variables de entrada y salida. Su principal ventaja consistente en procesar información en

paralelo en tiempo real ha permitido su aplicación en la clasificación y reconocimiento de patrones en sistemas complejos.

El principal potencial de las RNA es detectar no-linealidades en series temporales por lo que han sido de gran utilidad en la predicción de datos. En esta tesis se propone usar una RNA perceptrón multicapa para predecir el movimiento de un nodo móvil para mejorar el tiempo de traspaso y reducir la cantidad de paquetes perdidos. (Abiodun, 2018) .

## 2.2 Filtros para estimación de posición

Los filtros en el área de las telecomunicaciones se emplearon principalmente para subsanar la pérdida de la señal satelital en el GPS y poder seguir pronosticando la posición GPS del NM en términos de aceleración y velocidad. Es decir, con datos de un sensor inercial. En este trabajo se explora los filtros de kalman debido a que predice cual debería ser la posición del NM para el estado siguiente y da una estimación a partir de las medidas del sensor inercial en el mismo instante de tiempo.

### 2.2.1 Kalman Filter (KF)

El filtro kalman, fue propuesto por Rudolf E. Kalman en 1960, es un conjunto de ecuaciones matemáticas que eficientemente estima el estado de un sistema lineal que minimiza el error estimado para alcanzar la optimización. El estado del vector  $x$  es definido por el conjunto de los datos  $[p_x, v_x, a_x, p_y, v_y, a_y]$ , lo cual describe los movimientos del vehículo en el tiempo  $t$ . Donde  $p_x, v_x, a_x$  corresponde al punto de latitud velocidad, y aceleración, y  $p_y, v_y, a_y$  corresponde a los parámetros de longitud de un vehículo. Para la medida en el cambio del estado del vehículo sin  $\Delta t$ , ya que usamos la ecuación cinética del movimiento (Kalman, 1960).

$$x = x_0 + v. \Delta t + 0.5. a^2. \Delta t \quad (1)$$

$$v = v_0 + a. \Delta t \quad (2)$$

Donde  $x_0$  es el estado inicial del vehículo,  $v$  para la velocidad, y  $a$  es la aceleración del vehículo (asumiendo la aceleración constante al tiempo  $t$ ).

El filtro de Kalman trabaja en dos pasos recursivamente al cada paso del tiempo  $\Delta t$ : El tiempo se actualiza, cual predice la estimación siguiente de un estado actual, y la medición se actualiza al ajuste a la estimación del estado actual con la medición actual en el tiempo  $t$ , son definidos como:

A. Tiempo se actualiza (Predice):

$$x_k^- = Ax_{k-1} + Bu_k + w_{k-1} \quad (3)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad (4)$$

Donde  $w_k$  representa una probabilidad normal de distribución del proceso ruido blanco,  $u$  es el control dentro de un vector (supuesto cero como aceleración que son considerados como estados),  $P_k^-$  es el error estimado de la covarianza de la matriz, y  $Q$  es el proceso de la covarianza del ruido. Para producir el estado a priori del estimado  $x_k^-$  al intervalo del tiempo  $K$ , la matriz  $x$  es multiplicada por el modelo de estado  $A$ .

$$x = \begin{bmatrix} P \\ v \\ a \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & t & 0.5t^2 \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Q = \begin{bmatrix} Q_x & 0 \\ 0 & Q_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

B. Actualizar medición (Correcta)

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (6)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (7)$$

$$P_k = (I - K_k H)P_k^- \quad (8)$$

En el tipo de actualizar la medición, cual es también referido como el tipo de corrección,  $\hat{x}_k$  es el estado posterior del tipo de estimación del tiempo  $k$ ,  $P_{k-1}$  es el posterior del error estimado de la matriz,  $H$  es la ecuación de medida,  $R$  es la medición del ruido, que es, en este trabajo de investigación, equivalente a la GPS

de la medición del ruido, and  $K_n$  es la matriz Kalman Gain. Para actualizar el valor estimado de  $X_k$ , en esta tesis se usa la medida GPS  $Z_k$ .

$$R = \begin{bmatrix} R_x & 0 \\ 0 & R_y \end{bmatrix} H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

El rendimiento del filtro Kalman depende de la precisión del estado de las dinámicas y de la medición de los datos GPS, que aquí se describe como el error en proceso, de medición Q y R respectivamente. En la comparación ambos se tratarán de añadir mediante el ajuste de sus valores (Patwardhan, 2011).

### 2.2.2 Extended Kalman Filter(EKF)

El filtro de Kalman en la sección anterior se ha usado estimando el estado de una ecuación de tiempo lineal. Mientras que el EKF se prueba para aproximar una ecuación no lineal para volverla lineal usando la expansión de Taylor. EKF linealiza el sistema no lineal por la diferenciación parcial usando la matriz jacobiana para estimar el estado de un sistema. Para predecir el siguiente estado de un sistema, se calcula una estimación prioridad  $\hat{x}_k^-$  y la covariancia del error  $P_k^-$  de la siguiente manera:

$$\hat{x}_k^- = f(\hat{x}_{k-1}^-, u_k, w_k) \quad (10)$$

$$P_k^- = F_k P_{k-1} F_k^T + W_k Q_t W_k^T \quad (11)$$

Donde  $F_k$ ,  $W_k$  son del sistema de la matriz no lineal de Jacobiana y  $w$  es la diferenciación parcial de la función  $f(\cdot)$  para el proceso del ruido. La covariancia del estado del ruido de la matriz representada por  $Q_{k-1}$ .

$$F_k = \frac{f(\hat{x}_{k-1}^-, 0, 0)}{x}, W_k = \frac{f(\hat{x}_{k-1}^-, 0, 0)}{w} \quad (12)$$

Y son inicialmente asumidos como:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2/2 \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

En el tipo de corrección, el Kalman Gain  $K_k$  es usado para calcular el estimado posterior de las dinámicas del sistema y la covariancia del error  $P_k$  como:

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + V_k R V_k^T)^{-1} \quad (14)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - h(\hat{x}_k^-, v_k)) \quad (15)$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \quad (16)$$

Similarmente, la matriz  $H$  es la matriz de la función de *Jacobian*  $H$  de la diferenciación parcial y  $V$  representa la matriz de Jacobian en la medición del ruido  $v$ . El error inicial de la covariancia  $P_0$  es el conjunto de un valor largo.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} P_0 = \begin{bmatrix} 1000 & 0 \\ 0 & 1000 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Donde  $K_k(z_k - h(\hat{x}_k^-, v_k))$  es la innovación de la ecuación que calcula la diferencia entre una medida predicha y real (Julier & Uhlmann, 1992).

### 2.2.3 Unscented Kalman Filter(UKF)

El filtro de Unscent Kalman evita linealizar alrededor de la media como el EKF para tener un conjunto de puntos sigma que representa una variable aleatoria del estado del vector Gaussian. El UKF es basado en Unscented Transformation (UT). Se usa en una ecuación no lineal del estado del vector del vehículo  $x$  con  $n$  números del estado del conjunto de los puntos de la sigma de la matriz  $X$  como las siguientes (Julier & Uhlmann, 2004):

$$X_0 = \hat{x}, \lambda = \alpha^2(n + k) - n \quad (18)$$

$$X^i = \hat{x} + (\sqrt{(n + \lambda)P_x})_i \quad i = 1, \dots, n \quad (19)$$

$$X^{i+n} = \hat{x} - (\sqrt{(n + \lambda)P_x})_{i-n} \quad i = n + 1, \dots, 2n \quad (20)$$

Donde  $i$  es el  $i^{th}$  de la columna o fila de la raíz cuadrada de la matriz de  $\hat{x}$  and  $P$ , que son los medios de la covarianza del estado del vector, respectivamente.

El símbolo  $\lambda$  es un factor a escala influenciando las constantes  $\alpha$ ,  $k$  de qué tan lejos proviene el punto de la sigma y es usualmente el conjunto para que el valor sea muy pequeño. Entonces cada punto de la sigma se transforma pensando en una función no lineal y calcula el Gaussian de sus transformaciones y pesos, los pesos son calculados de la siguiente manera (Jaidhar, 2015):

$$w_m^0 = \frac{\lambda}{n+\lambda} \quad (21)$$

$$w_c^0 = w_m^0 + (1 - \alpha^2 + \beta), \beta = 2 \quad (22)$$

$$w_m^i = w_c^i = \frac{1}{2(n+\lambda)} \quad i = 1, \dots, 2n \quad (23)$$

El filtro del modelo Unscent Kalman difiere del EKF in la predicción por el punto de la sigma computacional y covarianza por cada tipo del tiempo  $t$ . Cada punto de la sigma es iniciado pensando en el modelo del proceso.

$$\hat{x}_t = f(X_t - 1, u_t) \quad (24)$$

La media predicha y la covarianza es dado por:

$$\hat{x}_t^- = \sum_{i=0}^{2n} w_m^i \hat{x}_t^i \quad (25)$$

$$\hat{P}_t^- = \sum_{i=0}^{2n} w_c^i (\hat{X}_t^i - \hat{x}_t^-) (\hat{X}_t^i - \hat{x}_t^-)^T + R_t \quad (26)$$

Para actualizar las medidas de la ecuación en la UKF, se calcula de la siguiente manera:

$$\hat{Z}_t = h(\hat{X}_t), \hat{z}_t = \sum_{i=0}^{2n} w_m^i \hat{z}_t^i \quad (27)$$

$$S_t = \sum_{i=0}^{2n} w_c^i (\hat{Z}_t^i - \hat{z}_t) (\hat{Z}_t^i - \hat{z}_t)^T + Q_i \quad (28)$$

$$\hat{P}_t^{x,z} = \sum_{i=0}^{2n} w_c^i (\hat{X}_t^i - \hat{x}_t) (\hat{Z}_t^i - \hat{z}_t)^T \quad (29)$$



## 2.2.4 Particle Filter(PF)

Los filtros de partículas son secuenciales basados en el método de Monte Carlo en representación de las probabilidades de los pesos y las densidades de cualquier modelo. Los métodos de Monte Carlo es en general una clase que convierte en cantidades estadísticas cerradas, distribuidas en muestras y usando el promedio estimado. En el seguimiento generalmente se describe el filtro de partículas en algoritmos de trabajo.

Inicialmente se generamos un conjunto de muestras aleatorias  $(x_1^i: i = 1, \dots, N)$  proveniente del PDF  $p(x_0)$  y el conjunto de pesos de cada muestra para  $w_1^i = 1/N$ . Donde la ecuación del PDF es obtenida en la construcción recursivamente como las siguientes ecuaciones:

$$p(x_k|z_k - 1) = \int p(x_k|z_k - 1)p(x_{k-1}|z_k - 1)dx_{k-1} \quad (30)$$

En cada paso del tiempo  $k + 1$ , para cada partícula se muestra el aprior  $x_k^i$  del PDF usando el sistema del modelo  $x_k^i = f_{k-1}(x_{k-1}^i, w_{k-1}^i)$ , donde  $w^i$  es el PDF del sistema de ruido  $p(w)$ .

$$p(x_k^i) = p(x_k^i|x_{k-1}^i) \quad (31)$$

Usando las medidas  $y_k$ , se puede formar el peso de partículas basado sobre una ecuación de cada muestra.

$$w_k^{*i} = w_{k-1}^i p(z_k|z_k^i) \quad (32)$$

Entonces, se normaliza el peso usando la siguiente ecuación:

$$w_k^i = \frac{w_k^{*i}}{\sum_{j=1}^N w_k^{*j}} \quad (33)$$

La probabilidad posterior de la densidad es calculada por:

$$p(x_{0:k}|z_{1:k}) = \sum_{i=1}^N w_k^i \delta(x_{0:k} - x_{0:k}^i) \quad (34)$$

Donde  $\delta(\ )$  es la función delta Dirac. Después el filtro de la partícula sufrirá de la generación o de la muestra del empobrecimiento. Midiendo todo, pero algunas partículas tendrán pesos despreciables. Para resolver este problema, se busca introducir métodos tales como Sampling Importance Resampling (SIR). La idea básica de la técnica del *Re* muestreo es para reemplazar las muestras de pesos ligeros con los pesos altos. Estos tipos pueden ser hechos cuando necesitan otros en un tiempo predefinido o encontrando el número efectivo de las partículas como (Chen., 1990):

$$N_{eff} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N (w_k^i)^2} \quad (35)$$

En este caso, el *Re* muestreo es preformado cuando el número de partículas efectivas es abajo del total de números de partículas. Algunos de los más usados comúnmente en el método sistemático del *Re* muestreo entre otros (Kitagawa, 1996).

### 2.3 Lenguajes de Ontologías

Es esta tesis se usa la herramienta de representación del conocimiento conocida como Ontología para describir la información de cada red. Antes de la decisión de cambio se analizan las características de la red hacia el cual conviene hacer el cambio. Estas características son almacenadas en un nodo de ontología. De hecho, cada nodo representa una red disponible interconectada.

Gruber define el término Ontología en (Gruber, 1993), como una “Especificación explícita y formal de una conceptualización compartida”. Existen otras aplicaciones especializadas de las ontologías como se desarrolla en (Ahmed B. G., 2010) que proponen una base de conocimiento Ontológica para una apropiada selección de red, en función de los parámetros RSSI, ancho de banda y costo de la red, logrando reducir el efecto ping-pong.

En (Vanni, 2006) proponen el uso de dominios ontológicos para *handover* de tal manera de estructurar la información para proveer un significado semántico de tal manera que determina un vocabulario común que reduce la complejidad en la

toma de decisión. Se presenta una breve descripción de algunos lenguajes de definición de ontologías, toda vez que se usa el lenguaje de Ontologías Ontology Merging (Cuevas A. D., 2006) para el diseño del mapa de navegación en un grupo de redes inalámbricas. Hasta ahora, las ontologías se han propuesto para resolver algunos problemas en la Web Semántica (esto es, inducir a la máquina a un mejor entendimiento del lenguaje natural); para ello, se usan los lenguajes de definición de ontologías, para estructurar la información.

### **2.3.1 Breve descripción de los lenguajes de definición de Ontologías**

DAML+OIL, de las siglas DARPA (Agent Markup Language + Ontology Inference Layer) (Connolly, 2001). Es uno de los lenguajes de etiquetas muy antiguos para proporcionar semántica a los recursos de la Web. Construido bajo el estándar W3C (World Wide Web Consortium) y el esquema RDF (Resource Description Framework).

El lenguaje está apropiadamente asentado sobre lenguajes de la Web, como: XML Schema y RDF. Ofrece diferentes niveles de complejidad. En cuanto al modelado, OIL refleja cierto consenso entre áreas como: Descripción lógica y Sistemas basados en marcos.

RDF/ XML Resource Description Framework (Manola, 2004) se usa principalmente para representar Meta datos. Con RDF y XML es posible describir Ontologías que pueden usarse en la Web semántica. XML es usado para etiquetar el dato, por tanto RDF provee de los datos a las etiquetas (Connolly, 2001). XML provee un mecanismo para la representación de la información, y RDF provee un modo estándar de representar metadatos en XML, usando directamente XML podrían obtenerse varias representaciones diferentes. (Voutilainen, 1997). La principal ventaja de estos lenguajes es que juntos proporcionan términos consistentes a los metadatos y aporta una descripción semántica rica.

Ontology Web Language (Bechhofer, 2004) se diseñó para usarse con RDF/XML solo que OWL permite incrementar la interpretación de la máquina hacia una semántica formal. Cuenta con todas las bondades de RDF y ha sido adoptado

por el consorcio (W3C) como el lenguaje estándar para ontologías en la Web semántica. Es un lenguaje usado para describir las clases, propiedades y sus relaciones con otras clases y aplicaciones Web.

Las Ventajas son: concentra las ventajas de DAML+OIL y las de RDF/XML, además de ser reconocido por el consorcio W3C como el estándar para el lenguaje de definición de Ontologías en la Web.

Sin embargo, a pesar de las ventajas y mejoras que demuestra OWL y el lenguaje RDF, aún se encuentran lejos de cubrir con el objetivo tan ambicioso por el que han surgido, ya que la distancia entre la comunicación humana y el análisis de datos usado por las computadoras no ha sido resuelta totalmente. Por tal razón se ha decidido por el uso del lenguaje OM.

### 2.3.2 El lenguaje OM

OM de las siglas Ontology Merging (Cuevas A. a., 2005), tiene la finalidad de diseñar ontologías con conceptos y relaciones que proporcionan más semántica a las operaciones de búsqueda de conocimiento. Este es el lenguaje que se usa para representar una topología de red inalámbrica y navegar a través de ésta.

La estructura semántica de las ontologías en este lenguaje, usa un conjunto de etiquetas (similares a XML) que identifican el concepto y sus relaciones, por ejemplo la etiqueta: <concept> que indica el nombre del concepto. Esta etiqueta permite el anidamiento de conceptos, <language> que representa el idioma en que se expresa el concepto, <word> donde se encuentran los sinónimos que identifican al concepto y <relation> que representa el tipo de relación que conecta al concepto con otros.

OM cuenta con dos tipos de relaciones:

**Relaciones Implícitas:** son las relaciones expresadas por el anidamiento, el concepto externo se reconoce como antecesor mientras que el interno como sucesor. Estas relaciones son: member, part, part\* y subset.

**Relaciones Explícitas:** son las que se encuentran definidas entre las etiquetas `<relation></relation>`, puede ser una actividad (`busca_tipo_usuario`), propiedad (`bandwidth`) o atributo del concepto. Las etiquetas de OM se muestran en la Tabla 2.

La estructura compuesta por etiquetas identifica la descripción de los conceptos y las relaciones de la ontología.

*Tabla 2 Etiquetas usadas en el lenguaje OM*

Etiquetas	Descripción
<code>&lt;concept&gt;c&lt;/concept&gt;</code>	Donde c representa el nombre del concepto.
<code>&lt;language&gt;l&lt;/language&gt;</code>	Donde l representa el lenguaje en el cual las palabras están definidas.
<code>&lt;word&gt; w1,w2...wn &lt;/word&gt;</code>	Donde w1,w2...wn representan las palabras que describen al concepto c.
<code>&lt;arity&gt;a&lt;/arity&gt;</code>	Donde a es un numero positivo que describe la paridad del concepto c.
<code>&lt;relation&gt;n=v&lt;/relation&gt;</code>	Donde n representa el nombre y v representa el valor de la relación, n y v son conceptos, v puede ser una lista si la relación tiene más de un valor.
<code>&lt;member&gt;c&lt;/member&gt;</code>	El concepto que contiene esta relación es miembro del concepto c.
<code>&lt;part&gt;c&lt;/part&gt;</code>	El concepto que contiene esta relación es parte del concepto c.
<code>&lt;part*&gt;c&lt;/part*&gt;</code>	El concepto que contiene esta relación tiene al menos un elemento que forma parte de al menos un elemento del concepto c.
<code>&lt;subset&gt;c&lt;/subset&gt;</code>	El concepto que contiene esta relación es un subconjunto del concepto c.
<code>&lt;type&gt;c&lt;/type&gt;</code>	El concepto que contiene esta relación es un tipo de el concepto c.

Una relación puede estar conectada a más de un valor. Por ejemplo (`bandwidth 54 Mb, 100 Mb`) esto es, que el concepto SSID tiene una relación `bandwidth` que conecta a 2 elementos.

Las relaciones están declaradas explícitamente, excepto unas cuantas que son implícitas. Por ejemplo en la siguiente figura se presenta una parte de la ontología usando el lenguaje OM.

```

<concept>Topología
  <Language>Spanish<word>Topología, líneas de conexión, forma de una
red</word></Language>
  <concept> net A

```

```

<Language>Spanish<word> A </word></Language>
  <subset> Estructura </subset>
<relation>enlaza = B, C, D </relation>
  <relation>AB = 54 </relation>
  <relation>CL = 3 </relation>
  <relation>HU = 1 </relation>
  <relation>AU = 2 </relation>
  <relation>LU = 3 </relation>
</concept>
</concept>

```

Figura 5 Representación de una ontología con siete nodos de una topología de red usando el lenguaje OM.

Dónde: AB es las siglas de BandWidth (Ancho de banda), CL significa Current Loads (Carga Actual), HU de las siglas high Users(Usuarios Demandates), AU de las siglas Average User( Usuario promedio) y LU de las siglas Low Users (usuarios no demantantes).

En la Figura 6 se representa la ontología gráficamente.

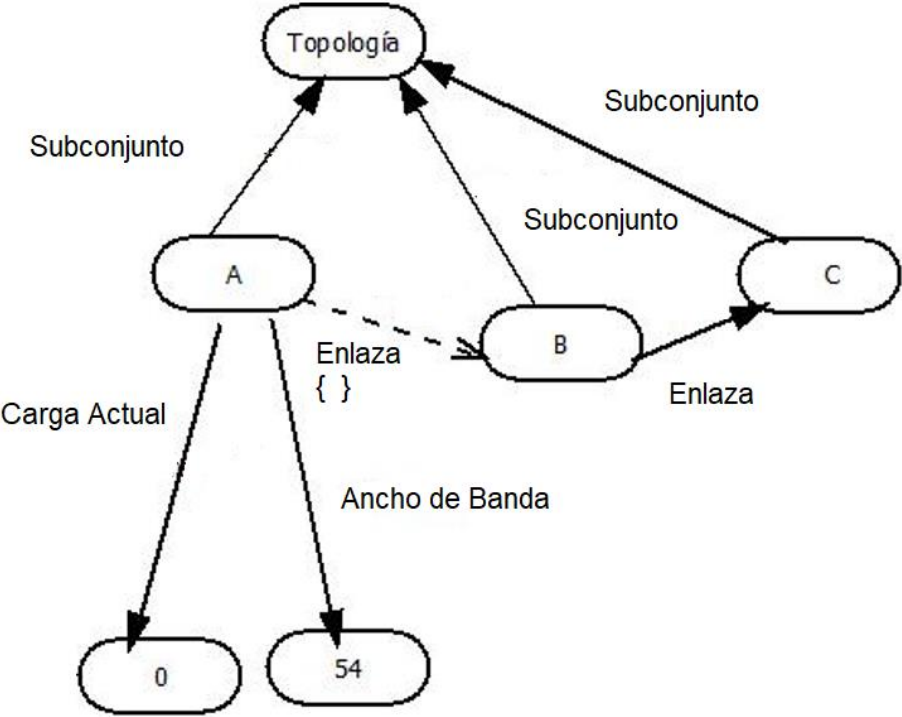


Figura 6 Presentación de la ontología bajo la anotación de OM.

En la figura 6 cada concepto está relacionado con otro a través de la relación implícita subconjunto.

### 2.3.3 Análisis comparativo de los lenguajes de definición de ontologías expuestos

El lenguaje OM no es compatible con los demás lenguajes porque su perspectiva es diferente en su representación, se enfoca en los detalles de cada concepto y por tanto, un nodo desde esta perspectiva es equivalente a una ontología en los otros lenguajes.

Se han comparado las características generales de los cinco lenguajes para definición de ontologías, con los resultados que a continuación se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Características generales de los lenguajes para definir ontologías, En la cual OM puede representar la semántica a un nivel de granularidad mayor.

Características	DAM +OIL	RDF XML	OWL	OM
Conceptos, Relaciones, Instancias, Rasgos, Marcos	Clases , slots, Instancias, Expresión	Recurso, Propiedad, Sentencia	Si	Conceptos, Relaciones, Instancias, Rangos.
Basados en Marcos con semánticas formales y razonamiento lógico	Si	No describe la semántica entre conceptos y relaciones más allá de los mecanismos heredados	Si	Basados en marcos con semánticas formales
Representación de metadatos	No	Si	Si	Si
Formato para interactuar con los usuarios	Si	Si	Si	Si

---

## CAPÍTULO III: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

---

En este capítulo se realiza un análisis de las soluciones propuestas por la comunidad científica, en función del proceso de ejecución del *handover*. 1) Medición de *handover* e inicialización, 2) Decisión de *handover* y 3) Ejecución del *handover*, se describen las propuestas y después se comparan.

### 3.1 Estado del conocimiento en Medición de *handover* e inicialización.

En esta sección se versa respecto de las propuestas encontradas en la literatura especializada correspondiente a la primera etapa del *handover*.

En la primera etapa, el NM necesita encontrar redes potenciales dentro de su rango, por lo que es necesario escanear las redes dentro de su alcance.

En redes IEEE 802.11 (IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee, 1997) el proceso se divide en tres etapas:

#### 3.1.1 Escaneo

En la etapa de escaneo el nodo móvil necesita encontrar puntos de acceso potenciales dentro de su rango, esta acción puede realizarse de manera pasiva o activa (Liao, Y., & Gao, L., 2006).

**Escaneo Activo**, en el **proceso activo**, el nodo móvil envía un mensaje broadcast probe request por cada canal, después activa el *probe timer* y si no recibe respuesta antes de que el temporizador alcance *MinChannelTime*, el nodo móvil considera que no hay un punto de acceso en ese canal y deberá escanear otro canal. De igual manera, si el MN detecta que el canal no está oculto, debe esperar por un mensaje *probe response* hasta que el *timer* alcance el *MaxChannelTime*. Unas mediciones empíricas demuestran que el *MinChannelTime* es 20ms



aproximadamente y el *MaxChannelTime* es 40ms aproximadamente (Mishra, A., Shin, M., & Arbaugh, W, 2003).

**Escaneo Pasivo**, en el proceso pasivo la tarjeta de red inalámbrica espera por mensajes tipo *beacon*, enviados periódicamente por los Puntos de Acceso (APs) cada 100ms en cada canal, como el estándar 802.11 tiene 14 canales pero para Latinoamérica solo 11 canales se usan (Li, C. S., Tseng, Y. C., & Chao, H. C., 2007), entonces se tiene un tiempo mayor a un segundo de latencia de escaneo, condiciones no favorables para aplicaciones en tiempo real en redes WiFi.

Una vez que el MN descubre los puntos de acceso potenciales, para que pueda gozar de los servicios que ofrece el AP, debe estar autenticado y asociado.

### **3.1.2 Autenticación**

A grandes rasgos, un nodo se puede autenticar o no dependiendo del esquema de seguridad, es decir, sí el sistema es abierto (Open system) admite a cualquier host sin necesidad de autenticarse. En otro caso, admite sólo a los MN que conocen la contraseña (Shared Key).

### **3.1.3 Reasociación**

El proceso de asociación consiste en el intercambio de dos mensajes entre el AP y el MN *association request* y *association response*, una vez que el nodo recibe el mensaje *association response* está listo para enviar y recibir mensajes a través del AP.

## **3.2 Estado del conocimiento en Decisión de *handover*.**

El algoritmo encargado de tomar la decisión se encuentra en una de las etapas que influye directamente en el desempeño del *handover*. Básicamente, en esta etapa se decide a que red cambiar.

Se han propuesto en la literatura múltiples algoritmos que usan esquemas basados en *Received Signal Strength indicator* (RSSI), *Quality Of Service*(QoS), funciones

de decisión basados en multicriterios y algoritmos basados en técnicas de Inteligencia Artificial.

En términos generales el algoritmo de toma de decisión se alimenta de los datos proporcionados por la red, después de procesar los datos, decide a que red cambiar.

Algunos de los criterios más utilizados para tomar la decisión de cambio son:

1. **Received Signal Strength Indicator** (RSSI), nivel de potencia de las señales recibidas en redes inalámbricas.
2. **Network Load** (NL), la carga de tráfico en una red puede ser un parámetro importante por la capacidad del canal.
3. **Bit Error Rate** (BER), Es el número de bits recibido que han sido alterados debido al ruido o al interferencia, dividido por el número total de bits transferidos durante el tiempo del intervalo.
4. **Throughput**, esta medida se refiere a la cantidad de datos o mensajes que recibe con éxito, en un canal específico.
5. **Signal to Noise Ratio** (SNR), es la relación señal a ruido y se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.
6. Además, preferencias de usuario como el **costo de la red** y la **seguridad**.

La tendencia en la literatura revisada muestra que las redes serán más heterogéneas, de esta manera, un *handover vertical* será más común. Realizando una síntesis de algunos de los algoritmos revisados, éstos se clasifican basados en el principal criterio que usan para tomar la decisión tal y como se presenta en el siguiente apartado.

### 3.2.1 Algoritmos basados en una característica de decisión

En este apartado se describen los algoritmos basados en el nivel de potencia de las señales recibidas y aquellos basados en el ancho de banda para mejorar el rendimiento.

## **Algoritmos basados en RSS.**

Los algoritmos basados en la fuerza de la señal únicamente, son fáciles de implementar debido a su único criterio. Pero, únicamente sirven para desencadenar el proceso de *handover*, porque es muy sensible al cambio debido a que si encuentra una red con un mejor RSS, desencadena un nuevo *handover*.

En el *handover horizontal* es común usar el RSS como único parámetro de cambio. El algoritmo icónico de este esquema es el algoritmo de “mayor potencial” (Ahmed A. B., 2014). En esencia, hace un cambio a la red que tenga mayor RSS, porque tiene mayor recepción que la red anterior y en teoría eso implica una menor pérdida de paquetes, sin embargo este algoritmo genera un efecto ping-pong, que resulta ser contraproducente.

El efecto *ping-pong* consiste en realizar *handovers* innecesarios e incrementa el *handover-rate* (número de *handover* durante una sesión de datos). Múltiples autores intentan reducir el efecto *ping-pong*, usando *thresholds* (Saxena, 2011) contrariamente, en (Washington, DC: U.S. Patent and Trade-mark Office. Patente nº 8,116,692. , 2012) usan Received Signal-to-Noise Interference (RSNI). Todas las propuestas anteriores intentan reducir el número de *handovers* innecesarios.

## **Algoritmos basados en Ancho de banda.**

Este tipo de algoritmos se rigen bajo el principio de cambiar a redes con un mejor ancho de banda para obtener un mejor *throughput* en *handover verticales*, como en (Saini, 2015) que presenta una propuesta para un *handover vertical* suave y en (Alessandro, 2010) que proponen un algoritmo de toma de decisión basado en el ancho de banda para una red Vehicular Ad hoc Networks (VANET).

### **3.2.2 Algoritmos basados en Inteligencia Artificial**

En este apartado se exponen los algoritmos basados en Redes Neuronales Artificiales principalmente de tipo *back-propagation* y los algoritmos de lógica difusa intentando balancear la carga de la red de manera eficiente.

**Algoritmos basados en Redes Neuronales Artificiales (RNA).** Las redes neuronales en el *handover* han sido aplicadas para resolver la toma de decisión de cambio en redes heterogéneas. En (S. Lee, 2009) proponen una red neuronal artificial back-propagation usando los parámetros de entrada RSS y la intensidad de tráfico en las redes objetivo, supervisando el entrenamiento de la red, sin embargo el retardo causado por la etapa de entrenamiento es un problema. Por otra parte en (N. Kohl and R. Miiikkulainen, 2009) se propone un Middleware basado en una RNA para seleccionar la mejor red basada en las preferencias del usuario, sin embargo incrementa la latencia durante la ejecución del *handover* debido al tamaño de los paquetes de señalización usados y el tiempo de entrenamiento. Otra propuesta más actual con en (N. Nasser, S. Guizani, and E. Al-Masri, 2007) propone una red neural con parámetros de entrada RSSI y la velocidad del nodo móvil, reduciendo el número de *handovers* innecesarios.

### **Algoritmos basados en lógica difusa.**

Los algoritmos de *handover vertical* involucran varios factores y algunos factores pueden dificultar la cuantificación. La lógica difusa puede ser aplicada para resolver problemas de decisión de cambio con parámetros que pueden ser representados a través de esta lógica. Algunas propuestas, como (Mahira, A. G., & Subhedar, M. S., 2017), (Majlesi, 2002), (Xia, 2007) y (Kustiawan, 2017) utilizan esas políticas para tomar decisiones de cambio y al mismo tiempo intentan balancear la carga de las redes eficientemente usando los parámetros de entrada como RSSI, latencia y *data rate*.

### **Algoritmos basados en Máquinas de Soporte Vectorial**

Los artículos relacionados con la toma de decisión de handoff que usan máquinas de soporte vectorial(SVM), principalmente son en redes cognitivas. Así como, el artículo (Guo, 2011) que presenta un algoritmo basado en SVM, que podría pronosticar el punto de handoff y reducir el tiempo de handoff en redes cognitivas en el borde de dos redes adyacentes, considerando que las SVM generan un hiperplano en dos clases linealmente separables, sin embargo esta propuesta sólo prueba el escenario de dos redes adyacentes, logrando obtener entre 80 % y 95 %

de exactitud en su propuesta. Otros artículos similares son (Ryan W. Thomas, 2006), (Song, 2010), (Chung-Wei Wang, 2010) y (Yi, 2010) que proponen un handoff proactivo de espectro en una red Ad hoc. Por otra parte, en (Yu, 2015) considera al RSSI como característica para pronosticar la siguiente red aplicando un clasificador SVM anticipando el salto en un tiempo de 0.8 segundos. Una idea semejante propone (Yang, 2017) pero para redes ultra densas incorpora más características al clasificador para pronosticar el movimiento de un NM anticipando el cambio dentro del área de cobertura.

### **Algoritmos basados en Bosque aleatorio**

Los artículos relacionados con esta técnica hacen clasificación usando el ensamble de árboles de decisión que se considera un bosque aleatorio donde cada árbol está construido mediante división iterativa del espacio en secciones más pequeñas y finalmente cada árbol clasifica y se elige la clasificación con más ocurrencias. Una propuesta que usa esta técnica es (Svahn, 2019) para tomar una decisión usan como característica La calidad de la señal recibida (Reference Signal Receiver Quality) porque un artículo muy semejante propuesto por (Ryden, 2018) usa la Potencia de la señal recibida (Reference Signal Receiver Power), consideran que es mejor característica para la clasificación alcanzando una exactitud entre 92% y 95 %.

### **Algoritmos basados en K vecinos más cercanos**

En el artículo (Yan, 2019), proponen usar los datos históricos de handover para pronosticar el cambio de red usando el algoritmo K vecinos más cercanos (KNN) en redes vehiculares considerando que el movimiento regular de los vehículos es casi lineal con curvas finitas que generaran alguna regularidad en el traspaso de red. Usando como características del clasificador la posición del vehículo, la red seleccionada y el punto de cambio. De tal manera que los datos tomaran la distancia más corta a los puntos de cambio usando la distancia euclidiana entre la posición actual y el punto de cambio de esta manera un pre cambio de red genera un rápido cambio de red. Una idea semejante se propone en (Kapoor, 2017) para seleccionar la estación base (eNB) durante el handover en redes ultra densas dentro de un

ambiente vehicular, usando la misma técnica de KNN, pero añadiendo en las características del clasificador el ángulo azimutal y la velocidad de NM considerada como una característica esencial para la selección de la nueva estación base que afecta directamente a la calidad del servicio (QoS).

### **3.3 Estado del conocimiento en Ejecución del *handover*.**

En esta sección se versa sobre los protocolos representativos de ejecución y se presentan algunas de las propuestas revisadas en la literatura desde el enfoque del modelo OSI.

Existen diferentes preferencias en el manejo del procedimiento del *handover* algunos prefieren la capa de red y otros la capa de aplicación. De igual manera existen propuestas *reactivas* y *proactivas*. Es decir, hay protocolos que anticipan su llegada a la nueva red para evitar retrasos y pérdida de paquetes son propuestas *proactivas*. En otro escenario, los protocolos que toman medidas después del traspaso son *reactivos*.

#### **3.3.1 Análisis desde la capa de aplicación**

En la capa siete el protocolo dominante es *Session Initiation Protocol* (SIP). El protocolo SIP (Rosenberg, 2002), es capaz de soportar:

- a) La movilidad de terminales,
- b) La movilidad de sesiones,
- c) La movilidad personal y
- d) La movilidad de servicio,

SIP ha sido ampliamente aceptado como el protocolo de señalización en las nuevas redes inalámbricas, por lo tanto tal parece ser un candidato atractivo para la gestión de servicios comunicación en redes inalámbricas IP heterogéneas a nivel aplicación, sin embargo, SIP implica el procesamiento en la capa de aplicación introduciendo un considerable retraso.

En la capa de aplicación los expertos convergen en que el principal contribuyente del retardo es la etapa de adquisición de direcciones IP, debido a que usan el

protocolo *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP), y en este protocolo hay un procedimiento llamado *Duplicate Address Detection* (DAD) que evita que existan direcciones IP duplicadas en la red, tardando entre 1 a 3 segundos (Arnold, 2008).

### 3.3.2 Análisis desde la capa de red

La capa de red parece ser la preferida para manejar la movilidad IP, básicamente cuando se habla de movilidad a nivel red, se debe hablar de *Mobile IP* (MIP), puesto que MIP es el protocolo representativo de dicha capa. Originalmente fue propuesto por C. Perkins, et al. (Johnson, 2004), en 1996, desde entonces muchos investigadores han contribuido a mejorar el protocolo.

Mobile IP define tres componentes básicos:

- 1) Nodo Móvil,
- 2) HA (*Home Agent*) entidad especial localizada en la red origen del nodo, él HA sabe en todo momento donde está el MN y
- 3) FA (*Foreign Agent*), otra entidad especial localizada en la red destino, encargada de entregar los paquetes dirigidos al MN.

Los componentes cooperan para localizar y registrar la dirección IP actual del MN que se mueve a través de diferentes subredes IP, es decir está diseñado para proveer un servicio de traspaso de paquetes transparente para capas superiores, comúnmente usando el protocolo tunnelling (D. Lee, 2002) .

El proceso de traspaso consiste en dos fases:

- 1) **Agent discovery.** Es el periodo donde el MN detecta que se está moviendo de una subred a otra y obtiene una nueva dirección, llamada CoA (Care-Of-Address) (Malki, 2006).
- 2) **Registration.** Consiste en informar al HA la CoA del MN, con la finalidad de mantener actualizada la dirección IP del MN y reenviar los paquetes desde la red origen hasta la red destino usando un túnel virtual (Mohamed Alnas I. A., 2009).

### 3.4 Análisis y Discusión del Estado del Arte

En esta sección se presenta una tabla comparativa de las diferentes propuestas presentadas planeadas en los anteriores apartados y segmentadas por etapa de *handover*. Véase, la Tabla 4 para la etapa 1, Tabla 5 para la etapa 2 y Tabla 6 para la etapa 3.

*Tabla 4 Comparativa de propuestas de la etapa (Elaboración propia).*

propuesta	nombre de la propuesta	año	tecnología	pérdida de paquetes	tiempo de escaneo	tiempo de <i>handover</i> Capa 2
(Liao, Y., & Gao, L., 2006)	<i>Esquemas prácticos para un traspaso fluido de la capa MAC en redes inalámbricas 802.11.</i>	2006	802.11	4 paquetes	1.1s	40 ms
(A. Mishra, 2003)	<i>Un análisis empírico del proceso de transferencia de la capa MAC IEEE 802.11</i>	2003	802.11	-	500ms	48.5 ms
(Chung-Sheng Li, 2008)	Un mecanismo de almacenamiento en caché vecino para el traspaso en redes inalámbricas IEEE 802.11	2007	802.11	-	2.4 s	50ms

De la tabla anterior se puede apreciar que en la etapa 1) Medición de *handover* e inicialización, se intentan reducir el tiempo de escaneo, de esta manera disminuir el *handover* de capa de enlace.

*Tabla 5 Comparativa de propuestas de la etapa 2) Decisión de handover, (Elaboración Propia).*

propuesta	nombre de la propuesta	año	tecnologías	valores de entrada	Técnica de IA
(Roy, 2011)	Marco novedoso para el traspaso proactivo con multimedia perfecta a través de WLAN	2014	802.11	RSS	-
(Saini, 2015)	Análisis de traspaso vertical basado en parámetros RSS y QOS. Ingeniería de Redes y Comunicaciones	2015	802.11	RSS	-
(Alessandro, 2010)	Un algoritmo de traspaso vertical más suave para redes de acceso inalámbrico heterogéneas	2010	UMTS-WLAN y WiMAX-WLAN	Ancho de banda	-



(S. Lee, 2009)	Algoritmos de decisión de traspaso vertical para proporcionar un rendimiento optimizado en redes inalámbricas heterogéneas	2009	GPRS/UMTS WLAN	ancho de banda	-
(N. Nasser, S. Guizani, and E. Al-Masri, 2007)	Administrador de transferencia vertical de middleware: una solución basada en redes neuronales	2007	4G, WLAN, 802.16	costo, seguridad, consumo de poder, condiciones de red	RNA
(Mahira, A. G., & Subhedar, M. S., 2017)	Decisión de traspaso en redes inalámbricas heterogéneas basadas en redes neuronales artificiales Feedforward. En Inteligencia Computacional en Minería de Datos	2017	-	RSSI, Velocidad del móvil	RNA
(Majlesi, 2002)	Un algoritmo de traspaso basado en lógica difusa adaptativa para el interfuncionamiento entre WLAN y redes móviles	2002	WLAN, UMTS	RSS, velocidad	Lógica difusa
(Xia, 2007)	Un novedoso algoritmo de traspaso vertical de lógica difusa con ayuda de la predicción diferencial y el método de decisión previa	2007	UMTS WLAN	RSS, velocidad ,	Lógica difusa
(Kustiawan, 2017)	Decisión de traspaso vertical mediante fuzzificación y fusión combinatoria	2017	Wi-Fi, 4G	RSS, Velocidad de datos, retardo de red	Lógica difusa
(Chen, 2017)	Esquema difuso de acceso a decisiones de atributos múltiples en una red inalámbrica heterogénea	2017	3GPP , WLAN	QoS, network link, costo	Lógica difusa
(Ahmed B. G., 2010)	Hacia un traspaso inteligente basado en el conocimiento en redes inalámbricas heterogéneas	2010	-	RSS, ancho de banda, costo , preferencias de usuario	Ontologías
(Vanni, 2006)	DOHand: una ontología para apoyar los servicios de construcción para explotar la información de transferencia en redes móviles heterogéneas	2006	GSM, UMTS, WiMax, WiFi	Ontologías	

De la tabla anterior se observa que la mayoría de las propuestas usan el RSSI como parámetro de decisión, pero añaden algunas otras características para evitar el

efecto ping-pong. Se observa que las herramientas de lógica difusa y RNA son las técnicas de inteligencia artificial más usadas y además el handover horizontal se realizaba entre UMTS y WLAN, ahora con la evolución a 4G o 5G, se realiza en LTE y WLAN, aunque no limitado a esas tecnologías

*Tabla 6 Comparativa de propuestas de la etapa 3) Ejecución del handover, (Elaboración propia).*

propuesta	nombre de la propuesta	año	protocolo	pérdida de paquetes	Proactivo / Reactivo	tiempo de handover
(D. Lee, 2002)	Mejora del rendimiento de la IP móvil mediante la reducción de paquetes fuera de secuencia mediante la programación de prioridades,	2002	MIP	-	Reactivo	600 ms
(Roy, 2011)	Marco novedoso para el traspaso proactivo con multimedia perfecta sobre wlans	2011	802.11	-	Proactivo	400 ms

En la tabla anterior se puede observar que en términos generales la comunidad científica sigue investigando en ese tópico de investigación, como se observa por los años de las publicaciones de las referencias.

*Tabla 7 Comparativa de propuestas seleccionadas para comparación de resultados obtenidos, (Elaboración propia).*

propuesta	nombre de la propuesta	año	Técnica de clasificación	Tipo de Red	Características	Exactitud
(Guo, 2011)	Un nuevo esquema de gestión de transferencia de espectro basado en SVM en redes de radio cognitivas	2011	SVM	Redes cognitivas	RSSI	80-95%
(Yu, 2015)	Un algoritmo de predicción de regresión para RSS basado en SVM con información granulada	2015	SVM	LTE	Velocidad, posición	86%
(Yang, 2017)	Un esquema de predicción de la movilidad del terminal de una red ultradensa basado en SVM	2017	SVM	Redes ultra densas 5G	Posición	-----
(Svahn, 2019)	Predicción de la calidad de la señal de radio entre frecuencias para el traspaso, evaluada en 3GPP LTE.	2019	Arboles de Decisión (DT)	LTE 3GPP	Reference Receiver Quality	Signal 90%

(Ryden, 2018)	Predicción de la celda más fuerte en la portadora secundaria utilizando datos de la portadora principal	2018	Arboles de Decisión	LTE	(Reference Signal Receiver Power 95%
(Yan, 2019)	Transferencias basadas en aprendizaje automático para redes vehiculares integradas sub-6 GHz y mmWave	2019	KNN	6G	Posición, punto fe ---- cambio
(Kapoor, 2017)	A base station selection scheme for handover in a mobility-aware ultra-dense small cell urban vehicular environment	2017	KNN	LTE	Posición, ángulo ---- azimutal
<b>(Cervantes-Bazan, 2020)</b>	<b>Protocolo Cross-Layer proactivo basado en técnicas de inteligencia artificial para handover sin fisuras en ambientes móviles WLAN.</b>	<b>2020</b>	<b>KNN, SVM, DT, NB y RL</b>	<b>WLAN</b>	<b>Posición , 92% aceleración , velocidad, RSSI, MAC, ESSID</b>

---

El último de los trabajos presentados en la Tabla 7, corresponde al algoritmo propuesto en esta tesis, realizando una comparación en términos de exactitud, técnica de clasificación, dimensionalidad de las características, cantidad de redes adyacentes, tipo de red usada, tiempo de ejecución del algoritmo, entre otras. Es importante considerar que tal vez algunos artículos no reporten alguna métrica de desempeño.

---

## CAPÍTULO IV: DISEÑO DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA

---

En éste capítulo se describirá el protocolo proactivo que es capaz de mejorar el desempeño de la comunicación móvil con respecto a las propuestas descritas en el estado del arte.

### 4.1 Protocolo Cross-Layer Proactivo.

La propuesta de Protocolo Cross-Layer proactivo basado en técnicas de Inteligencia Artificial para *handover* sin fisuras en ambientes móviles WLAN, está basado en la mejora del algoritmo de toma de decisión y en la mejora de los procedimientos de ejecución del *handover*. (Bazán, 2014).

En términos del algoritmo de toma de decisión, se usa un predictor de movimiento y una ontología para realizar una decisión óptima. Por otra parte, en la ejecución del *handover* se basa en la idea de que los tres procedimientos principales son necesarios para soportar comunicaciones móviles:

- 1) Adquisición de dirección.
- 2) Preservación de las comunicaciones.
- 3) Localización global.

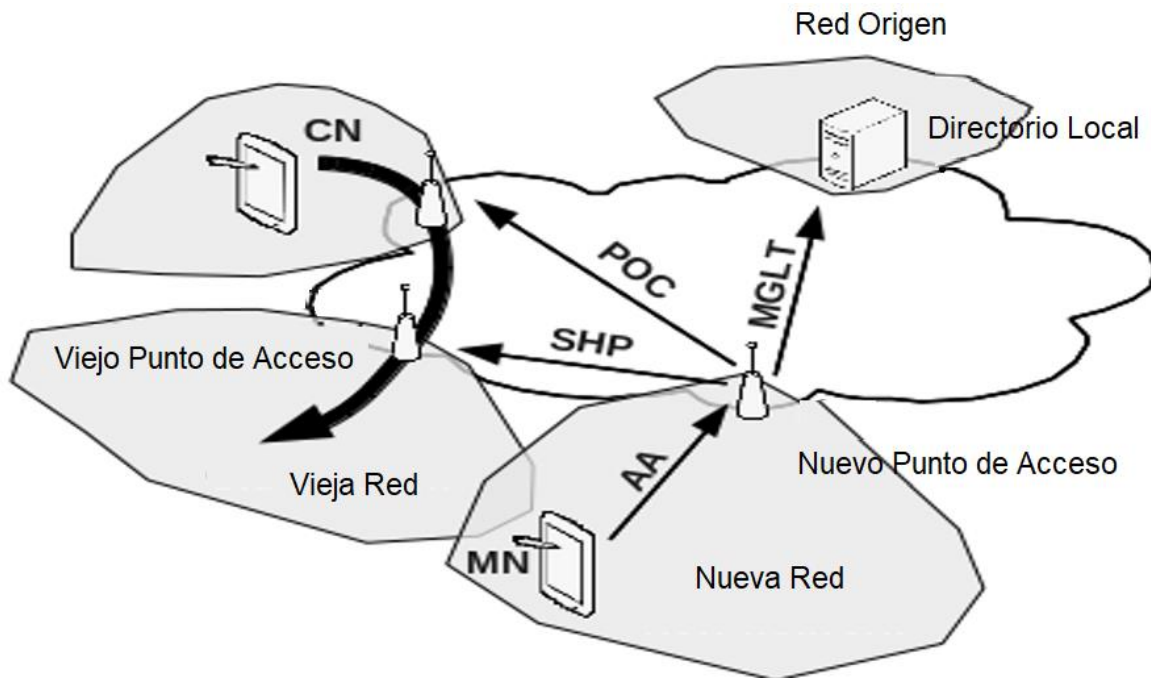
Las acciones se pueden ejecutar en paralelo iniciado por un solo mensaje. El procesamiento paralelo es posible porque se basa en tres entidades diferentes:

- 1) el Nodo Correspondiente (CN).
- 2) el Directorio Local (LD).
- 3) los dos Access Points (AP) involucrados en el proceso de traspaso.

Siendo más específicos, el CN está involucrado en la preservación de la continuidad de los servicios (POC), el LD ayuda a mantener al nodo móvil alcanzable desde cualquier lugar (MGLT) y los APs son los responsables de asignar

una dirección (AA) y soportar un traspaso suave (SHP). En principio como estas tareas no son del todo dependientes, se pueden efectuar en paralelo.

El mensaje que desencadena todos los procedimientos es el paquete DHCP *Discover*, pero el mensaje debe ir sobrecargado con información relativa a los procedimientos que se inicia. La figura 7 representa el mecanismo del protocolo FCLH y la interacción entre las diferentes entidades.



**AA:** asignación de direcciones

**POC:** Preservación de la continuidad de los servicios

**CN:** *Nodo correspondiente*

**MGLT:** Actualización global de localización

**SHP:** Proceso *smooth handover*

Figura 7 Mensajes emitidos por el servidor FCLH al recibir un mensaje DHCP discover-o, (Elaboración propia).

#### 4.1.1 Adquisición de direcciones (AA)

En términos generales la propuesta entrega una dirección IP en sólo dos mensajes, esto es posible porque el FDHCP negoció varias direcciones IP con un servidor DHCP común, para lograr dicho propósito es necesario tener un servidor DHCP original y el FDHCP estará ejecutándose en el router.

Básicamente el servidor FDHCP será un intermediario entre el servidor DHCP común y el cliente móvil, de hecho el servidor FDHCP únicamente va a responder mensajes DHCP-discover con la opción 215 habilitada(DHCP discover-o) que soliciten una dirección IP rápida.

Cuando un nodo móvil quiere obtener una dirección IP rápida, envía un mensaje DHCP discover-o, inmediatamente el servidor FDHCP envía un mensaje DHCP ACK, por otra parte el servidor DHCP común responde con un mensaje DHCP Offer, pero el tiempo de respuesta es más grande que el del servidor FDHCP, entonces el cliente ignorará la respuesta del servidor DHCP, tal como se muestra en la Figura , de esta manera es posible negociar la dirección con sólo dos mensajes y ambos servidores pueden coexistir en entre sí.

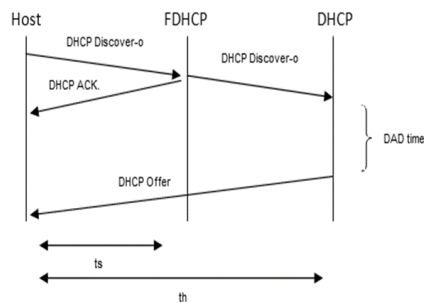


Figura 8 Negociación de una dirección IP con la propuesta FDHCP.

Sea  $t_s$  el tiempo que tarda el mensaje DHCP *discover-o* en llegar al servidor FDHCP y sea  $t_h$  el tiempo que toma en llegar el mensaje DHCP *discover-o* al servidor DHCP común, entonces consideraremos a  $t_{FDHCP}$  como el tiempo que tarda en asignar una dirección IP el servidor FDHCP; de igual manera sea  $t_{DHCP}$  el tiempo que toma el servidor DHCP común en asignar una dirección IP, tomando en cuenta la topología de red  $t_{FDHCP}$  es menor que  $t_{DHCP}$ , por lo tanto el cliente siempre recibirá primero el mensaje DHCP ACK del servidor FDHCP.

Tiempo total en obtener una dirección IP.

$$t_{DHCP} = 2t_s \quad (36)$$

$$t_{DHCP} = 4(t_h) + t_{DAD} \quad (37)$$

Donde:

$t_s$  : es el tiempo que tarda en llegar un mensaje del host al servidor FDHCP.

$T_h$  : es el tiempo que tarda a un mensaje en llegar al servidor DHCP server, aproximadamente  $2t_s$ .

$T_{DAD}$  : Es el tiempo que tarda el mecanismo de detección de duplicidad de direcciones en completarse.

Por otra parte consideremos el caso en que el servidor no pueda asignar una dirección IP, dicha falla no afecta la negociación de la dirección IP, porque el cliente continuará con la negociación de la dirección IP con el servidor DHCP común debido a la atención exclusiva de mensajes DHCP Discover-o genera la ventaja de tolerar fallas.

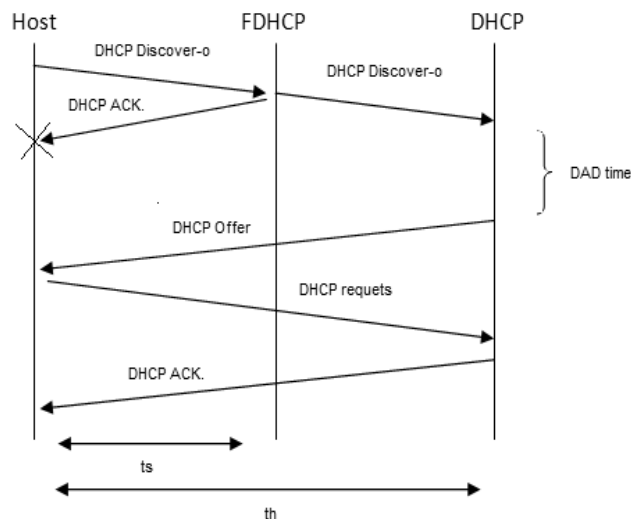


Figura 9 Pérdida de un mensaje DHCP ACK del FDHCP.

Finalmente se obtiene un protocolo tolerante a fallas, que puede asignar una dirección IP en un tiempo de ida y vuelta, sin modificar la funcionalidad del servidor DHCP común. Además la arquitectura propuesta reduce el tráfico de mensajes porque el número de mensajes intercambiados para la obtención de una dirección es sólo dos, de igual manera el servidor FDHCP funciona sin interferir con el servidor DHCP común y es más rápido que el servidor DHCP común, por otra parte el servidor FDHCP es una pieza clave para el manejo de la movilidad, porque con este sistema se reduce el retardo del *handover*.

### 4.1.2 Preservación de la continuidad de los servicios (POC)

En el mismo instante en que el AP envía el mensaje DHCP ACK hacia el MN, en otro hilo de ejecución se envía el mensaje SIP Re-invite para el CN. En efecto el punto de acceso construye un mensaje SIP usando la información contenida en las opciones del mensaje DHCP Discover. Para poder enviar dicho mensaje, el AP actúa como router y emula el mensaje SIP re-INVITE, como si lo hubiera mandado el MN. Esto es posible porque el AP decide qué dirección IP asignará al MN de la lista de direcciones reservadas. Una vez que el mensaje re-INVITE ha sido aceptado por el CN, este finalmente envía un OK de respuesta al MN.

Los diferentes procesos de *handover* son descritos en la Figura 10. Hay que hacer notar que el enfoque es Cross-Layer porque un mensaje genera un mensaje SIP re-INVITE sin respetar la secuencia clásica de los eventos ni la jerarquía de las capas del protocolo. El proceso de bloqueo en un *handover* con FCLH es como sigue:

$$T_{fclh\_inter} = t_s + (t_{mc} - t_s) + t_{mc}$$

$$T_{fclh\_inter} = 2t_{mc}$$

(3)

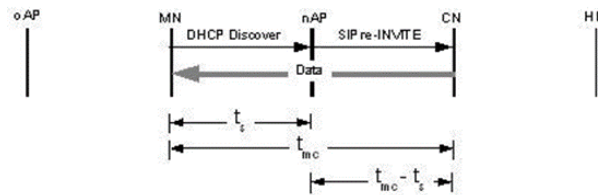


Figura 10 Preservando al continuidad de los servicios en el proceso de handover.

Un traspaso suave con el protocolo FCLH se obtiene mediante el reenvío de flujo de datos recibidos por el viejo AP (oAP) y enviados por el CN al viejo AP antes de que el CN supiera que el MN cambio su punto de conexión de red. El nuevo Access Point solicita este servicio al oAP enviando un mensaje que contiene la vieja y nueva dirección. En contraste con MIP, la propuesta no requiere establecer un túnel ni la encapsulación de los datos originales en un flujo de datos. Esto mejora el desempeño y simplifica la implementación.

Específicamente, el punto de acceso tiene que cambiar únicamente los encabezados IP de los paquetes, recalculando el CRC (Cyclic Redundancy Check), y finalmente reenviando el flujo de datos para la nueva dirección, véase Figura -. El tiempo requerido para lograr un traspaso suave es calculado como sigue:

$$T_{fclh\_smooth} = t_s + t_{no} + (t_{no} + t_s) \quad (38)$$

$$T_{fclh\_smooth} = 2t_s + 2t_{no} \quad (39)$$



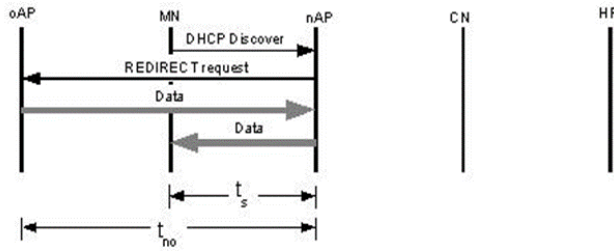


Figura 11 Traspaso suave en FCLH.

### Manteniendo la localización global(MGLT)

Una vez más, el mensaje SIP register es generado por el AP después de la recepción del mensaje DHCP discover. La información contenida en el mensaje también como al dirección IP elegida por el AP es usada para generar el paquete SIP Register. El MGLT(mantenimiento de la localización global) es descrito en la Figura -. El retardo requerido para actualizar el LD, o el HR en este contexto de SIP, es únicamente  $t_h$

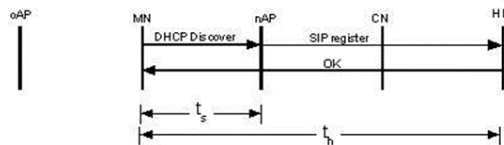


Figura 12 Manteniendo la localización global

### 4.1.3 Mecanismo suavizador de pérdidas proactivo(MSHO-P)

El proceso suavizador de pérdidas, comienza cuando el MN envía un mensaje *Seamless Handover request* al AP actual, entonces el AP comienza a almacenar los datos dirigidos al MN, después del MN envió el mensaje *Seamless Handover request* informando que cambiará de red, el MN llega a la nueva red y debe solicitar una dirección IP válida, entonces envía un mensaje DHCP discover-o y el AP nuevo solicita los datos almacenados al AP viejo con un mensaje *Seamless handover request*, inmediatamente el AP viejo deja de almacenar datos, y simultáneamente ejecuta dos tareas, envía los datos almacenados y activa el reenvío de paquetes en caso de que sigan llegando datos.

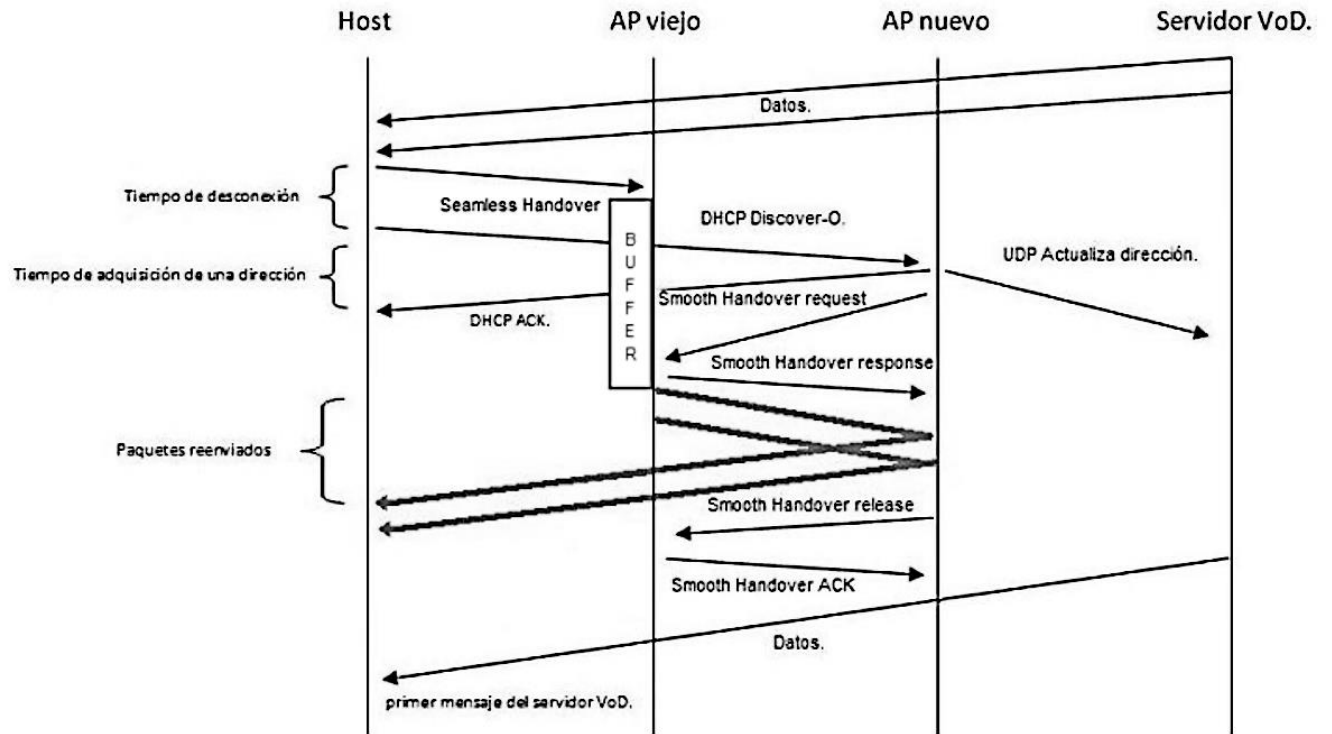


Figura 13 Proceso de handover Proactivo con FCLH.

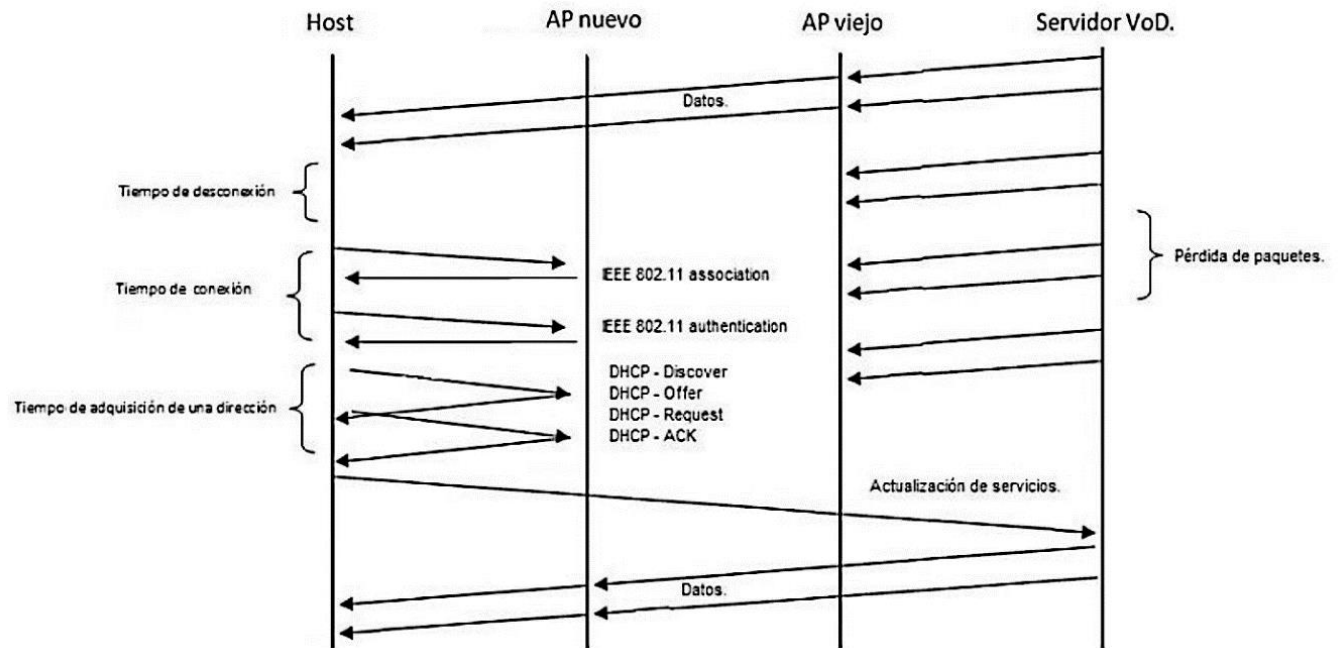


Figura 14 Proceso de handover sin protocolo de movilidad.

## 4.2 Algoritmo de toma de decisión basado en ontologías.

El algoritmo de toma de decisión basado en ontologías, está basado en lenguaje Ontology Merging y selecciona a la red con mejor ancho de banda disponible,

El algoritmo selecciona a la red a cambiar basado en el siguiente diagrama de flujo.

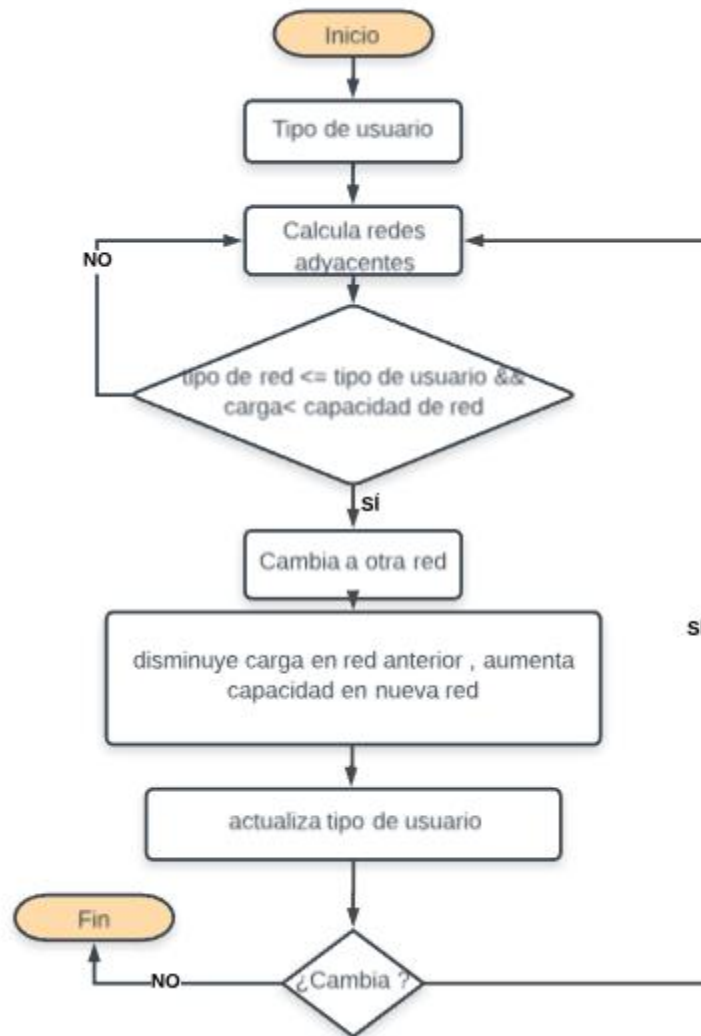


Figura 15 Algoritmo de toma de decisión

Para calcular las redes adyacentes se realiza una búsqueda en la ontología usando el diagrama de flujo de la siguiente figura,

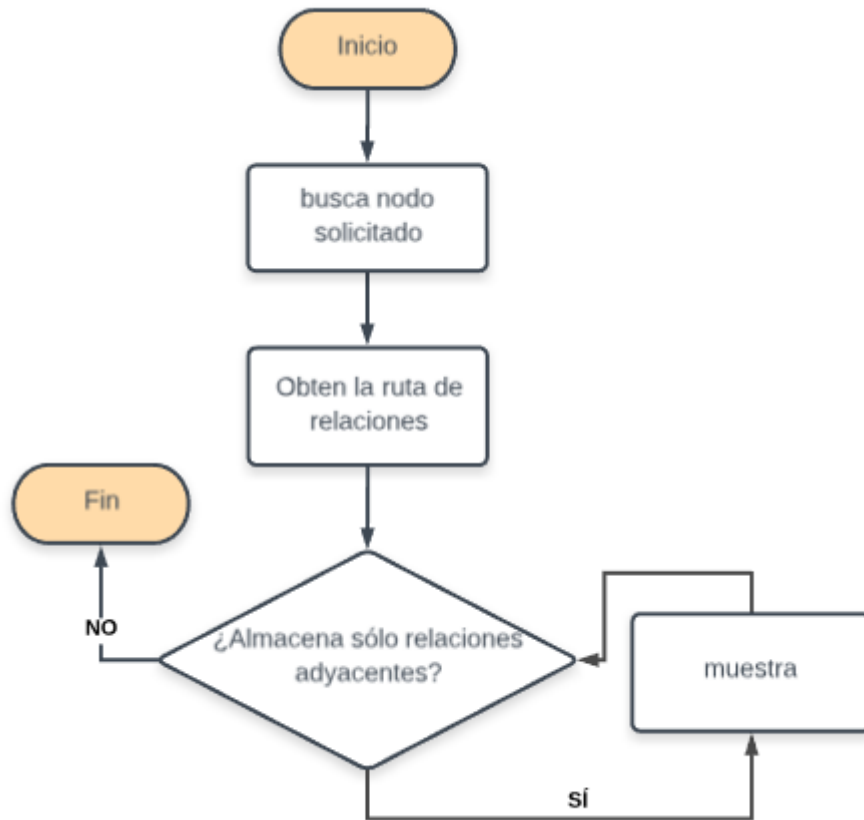


Figura 16 Diagrama de flujo para buscar nodos adyacentes

Basado en los diagramas de la figura anterior, toma la decisión de cambiar a una red.

---

## CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

---

Este capítulo versa sobre la implementación, dividida en dos secciones: la primera se muestra los resultados obtenidos del algoritmo de toma de decisión y la segunda los resultados previamente obtenidos de la ejecución del protocolo durante un *handover*.

### 5.1. Escenario de pruebas para algoritmos de toma de decisión

En este apartado se presenta el escenario controlado para simular el algoritmo de toma de decisión.

La imagen ilustra un área cubierta por diferentes redes, con la finalidad de evaluar el desempeño de los algoritmos de toma de decisión descritos anteriormente. Dicha evaluación se realiza a través de la simulación, posteriormente se desarrollará en un ambiente real pero controlado.

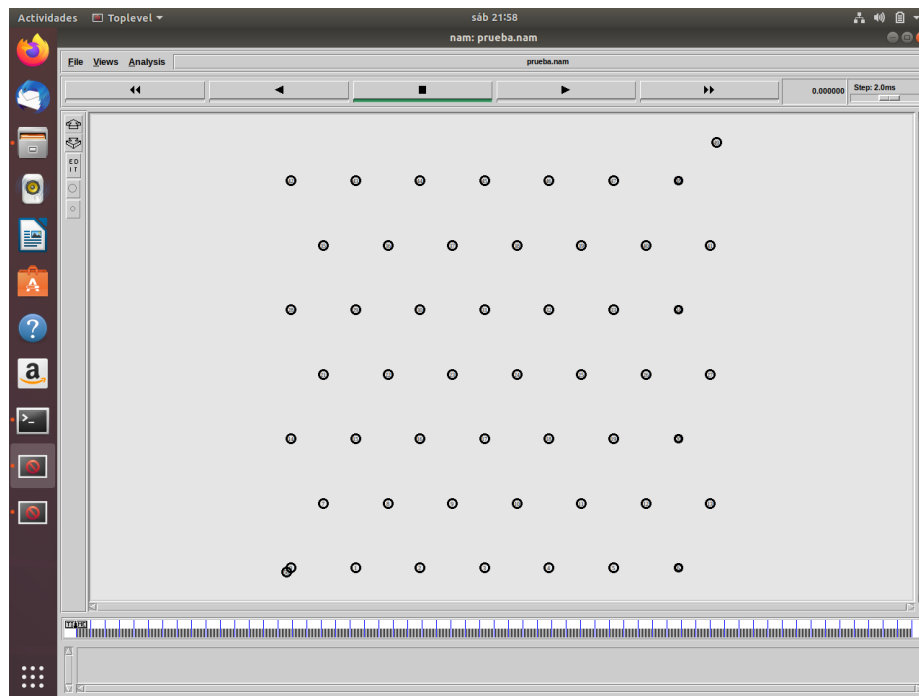


Figura 17 Imagen de cobertura de red de redes 802.11 en Simulador NS2

## 5.2 Resultados de algoritmo de toma de decisión basado en ontologías.

En términos del algoritmo de toma de decisión basado en ontologías, se creó el siguiente escenario. Donde cada nodo representa una posible red, así como se ve en la Figura 18. En esta figura se observa que el nodo en la cual se encuentra ubicado el dispositivo que va a hacer el handover está posicionado en el nodo C. Hay varias posibilidades de cambio: estas son las redes A, B, E, F, G y D más cercanas. Usando la API de OM, se ha definido la ontología bajo el lenguaje OM, se ha extraído la lista de nodos a los que se puede cambiar y además presenta el nodo con la mejor posibilidad.

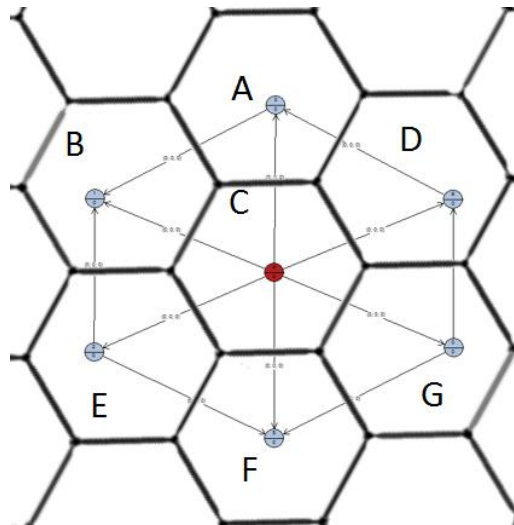


Figura 18 Escenario de pruebas para algoritmo de toma de decisión basado en ontologías.

En la Figura 19, se presenta un fragmento de la programación en lenguaje Java de mismo ejemplo en la cual se calculan los nodos adyacentes a éste, luego se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{abdisponible} = 54 - (\text{lu} * 1 + \text{au} * 2 + \text{hu} * 3) \quad (40)$$

La fórmula es aplicada para cada nodo adyacente, una vez obtenido el ancho de banda disponible de cada nodo se elige el mayor y se presentan los detalles del nodo elegido.

---

**Algoritmo 1:** Ontología-Handoff-Max-Ancho-De-Banda

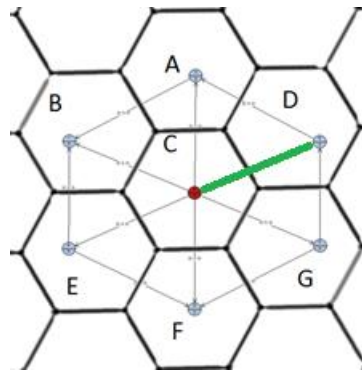
---

```
1 : lu=SiguietePuntoDeAcceso.obtenUsuarioBajoRendimiento()
2 : au=SiguietePuntoDeAcceso.obtenUsuarioPromedioRendimiento()
3 : hu=SiguietePuntoDeAcceso.obtenUsuarioAltoRendimiento()
4 : cl= SiguietePuntoDeAcceso.obtenCargaActual()
5 : procedimiento Ontología-Handoff(lu,au,hu,cl)
6 :   redesDisponibles= calculaRedesAdyacentes(posicionActual)
7 :   mientras (redesDisponibles.redSiguiete() != null )
8 :     anchoDeBandaDisponible= redSiguiete.obtenAnchoDeBandaDisponible()
9 :     sí (anchoDeBandaDisponible > anchoDeBandaActual)
10 :       cambiaDeRed(redesDisponibles.redSiguiete())
11 :     fin sí
12 :   fin mientras
13 : termina procedimiento
```

---

*Figura 19 Algoritmo de simulación usando ontologías.*

En este caso selecciona al nodo D por tener el mayor ancho de banda disponible, ABD=39, véase la Figura 20. Es decir, el nodo avanza de C a D, así como se ilustra en la línea verde.



*Figura 20 El camino de C a D se ha trazado de acuerdo a la sugerencia del simulador*

### 5.3 Simulación del entorno de movilidad con estimación de movilidad

En este apartado se usa el simulador MOBISIM, para proponer una secuencia de movimiento con técnicas basadas en filtro de Partículas y una Red Neuronal, la Figura 21 se muestra una precisión de movimiento.

En términos generales la metodología de esta sección se realiza en tres etapas:

- 1) Obtención de datos,
- 2) Importación de datos a Matlab,
- 3) Simulación de estimación de movilidad.

Se presenta un Escenario Random Walk, primera prueba de la etapa: *Obtención de datos*.

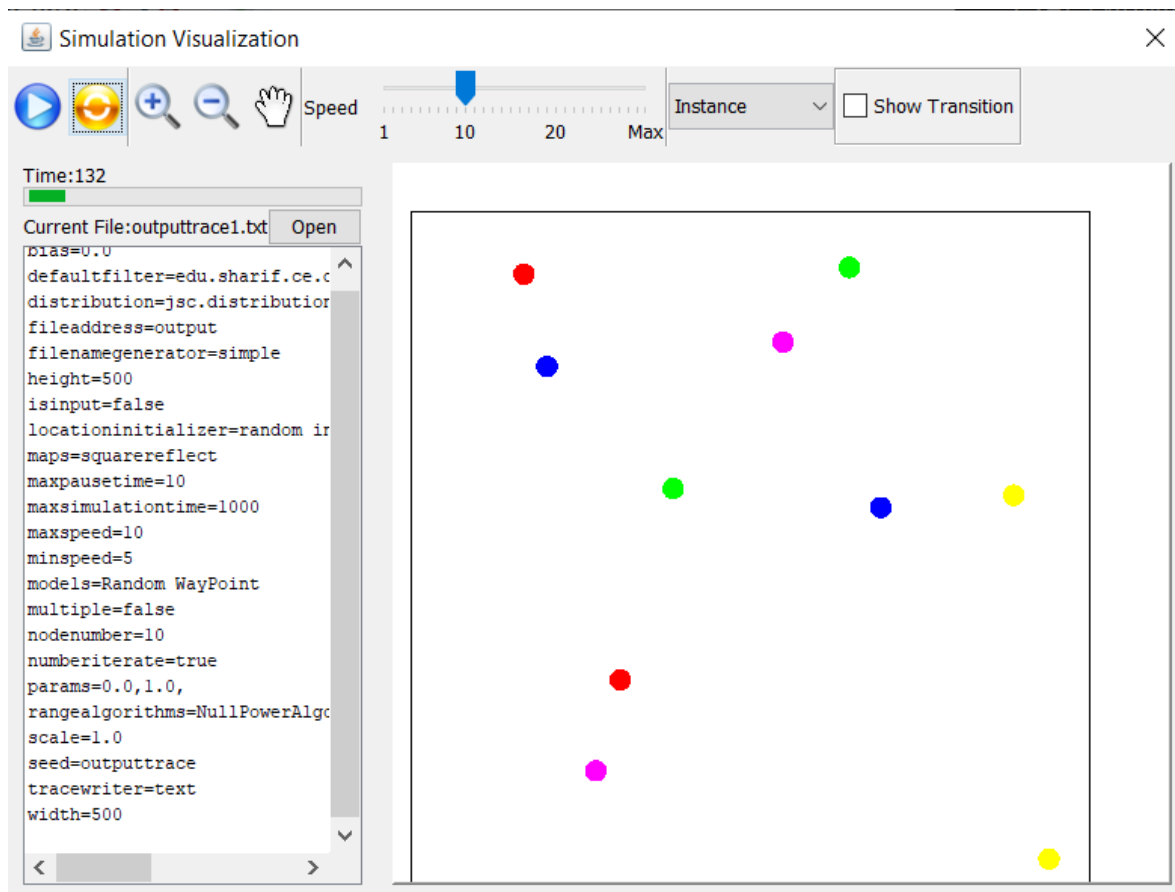


Figura 21 Simulación de un nodo móvil, en Random Walk, etapa de obtención de datos.

En la segunda etapa: *Importación de datos a Matlab*: En la Figura 22 se presenta la importación de los datos para obtener la estimación.



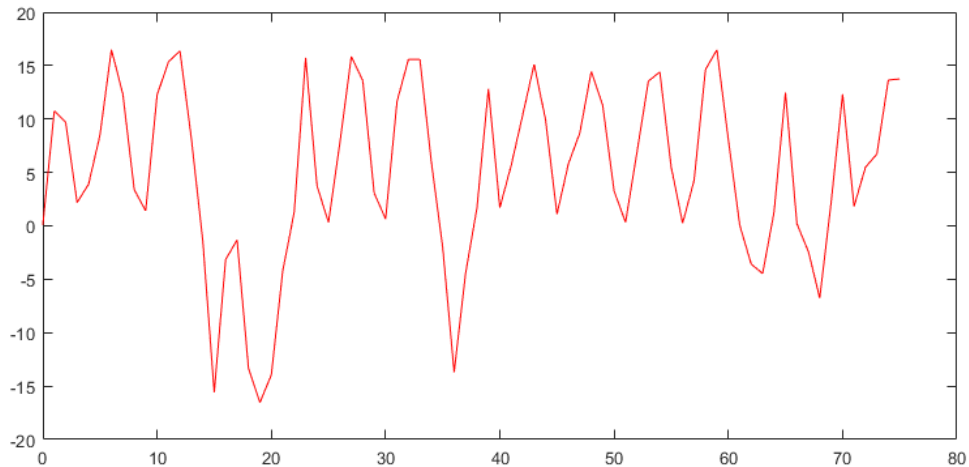


Figura 22 Importación de datos a Matlab, para ser procesados.

En la tercera etapa: *La simulación de estimación de movilidad*: Se presenta un Escenario Random Walk, de la primera prueba. Véase Figura 23, en esta figura se muestran los resultados del filtro de partículas y la red neuronal.

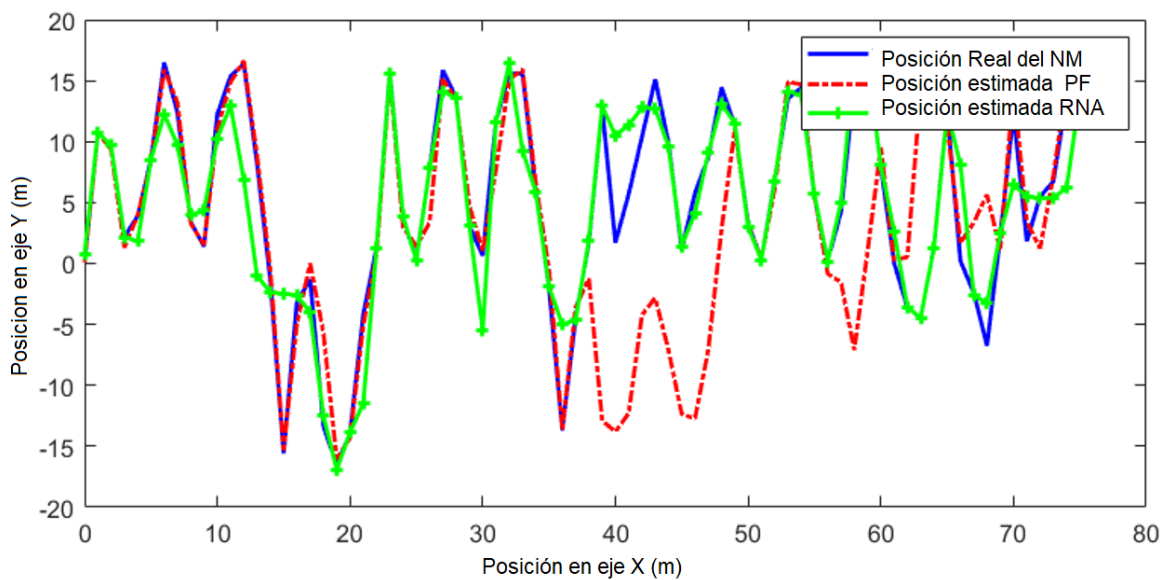


Figura 23 Filtro de partículas, RNA simulando movimiento aleatorio.

Segunda prueba de movilidad, en un escenario Random Walk, siguiendo la misma metodología de tres pasos, obtención de datos, importación de datos a Matlab y simulación en Matlab, se muestra en las siguientes imágenes. Asimismo en la Figura 24, se obtienen los datos del simulador.

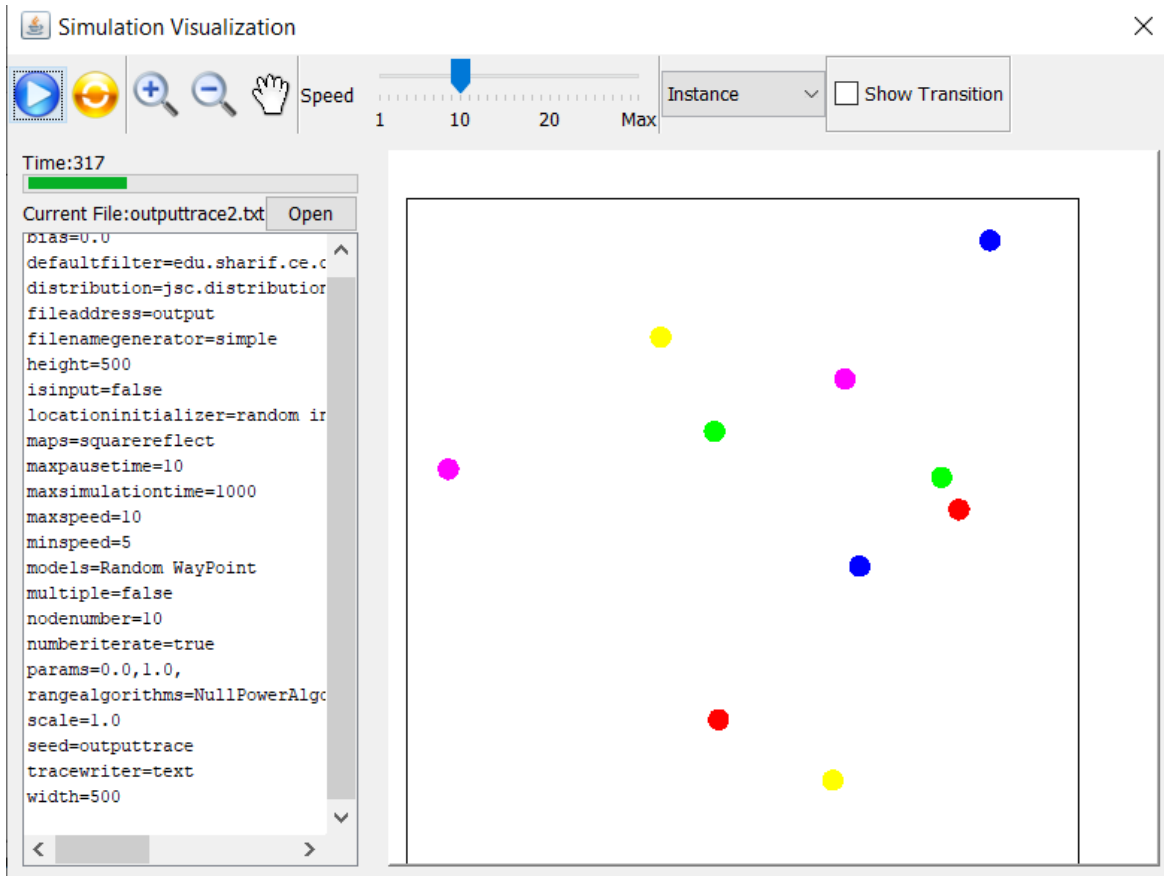


Figura 24 Segunda prueba se simulación de un nodo móvil, en Random Walk.

Al hacer la importación de datos a Matlab se obtiene la Figura 25.

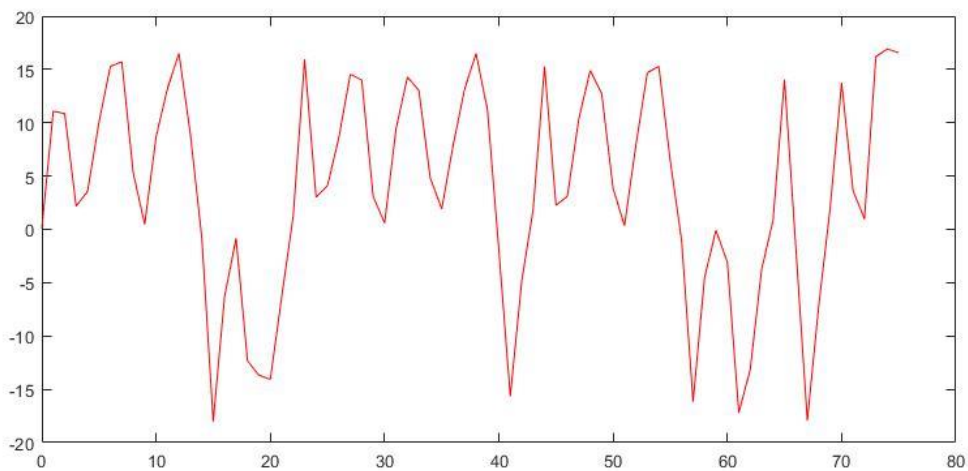


Figura 25 Importamos los datos a Matlab, para ser procesados.

La Figura 26 presenta el Filtro de Partículas RNA para la segunda prueba.

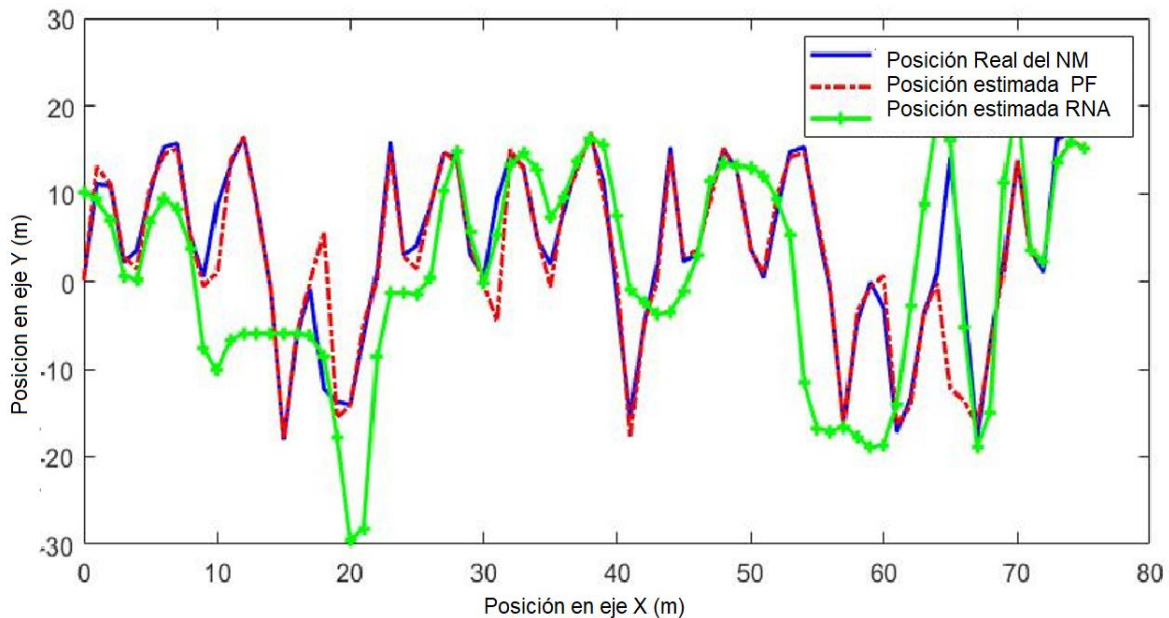


Figura 26 Filtro de partículas, RNA simulando movimiento aleatorio.

En la Figura 26 se aprecia el movimiento del Nodo Móvil en la línea azul y en las líneas rojas y verdes, se aprecia la estimación del movimiento que realiza la red neuronal y el filtro de partículas. Se puede observar que algunas veces las técnicas fallan con la predicción de la posición de nodo móvil. Por esa razón se utilizan métricas de medidas de desempeño que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 8 Comparativa de propuestas de IA predicción de movilidad. (Elaboración propia).

Propuesta	MSE	SD
RNA	33.58	17.19
PF	45.74	23.69

Respecto a las dos técnicas que se usan RNA y PF, la Tabla 8 muestra una comparación en términos de desviación estándar(SD) y error cuadrático medio(MSE), En este caso la red neuronal demuestra tener un MSE más bajo con

respecto al filtro de partículas, en este contexto se esperaba encontrar una curva que se ajustara al movimiento aleatorio de un nodo móvil, pero no es posible encontrar una curva suave que se ajuste al modelo, es decir un modelo con un MSE menor a diez, para que al menos el 90 % de los casos sea acertado y tener la certeza de saber con exactitud hacia donde se dirige el Nodo Móvil.

## 5.4 Escenario controlado para pruebas en ambiente real para protocolo Cross-Layer proactivo

En esta sección se explica el diseño del ambiente de pruebas del protocolo Cross-Layer proactivo, se asume que el NM está en movimiento y en una área totalmente cubierta con múltiples redes WLAN como se muestra en el mapa. El principal objetivo del protocolo es pronosticar la siguiente red a la que se conectará el MN. En este escenario se colocaron siete puntos de acceso, marcadores azules, en un camino tal como se muestra en la siguiente Figura 27.

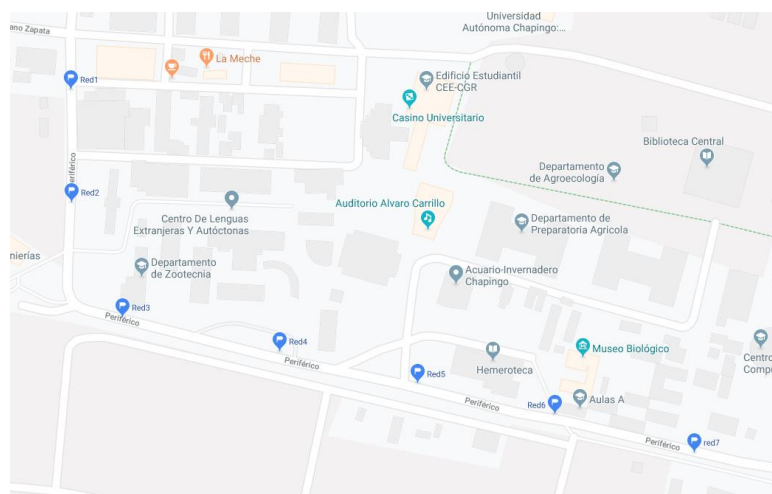


Figura 27 Escenario de pruebas con siete puntos de acceso WiFi con un área de cobertura de 100 m.

### 5.4.1 Definición de problema de selección de siguiente red.

Es importante recordar la definición matemática del problema que se presentó en el primer capítulo para la mejor comprensión de la solución propuesta. De esta manera, la selección de la siguiente red puede definirse en una tripleta compuesta por tres conjuntos R, GPS y AV.

El conjunto R de redes candidatas para realizar el traspaso de red (handover) constituido por la tripleta {ESSID, RSSI, MacAddress}, es decir, sea  $R = \{(ESSID_1, RSSI_1, MacAddress_1), \dots, (ESSID_{|R|}, RSSI_{|R|}, MacAddress_{|R|})\}$ ,  $|R| \geq 2$ .

El conjunto GPS formado por la posición del nodo móvil en grados decimales constituidos por la tripleta {latitud, longitud y altura}. Es decir, sea  $GPS = \{(lat_1, lon_1, alt_1), \dots, (lat_{|N|}, lon_{|N|}, alt_{|N|})\}$ ,  $|N| \geq 2$ .

El conjunto AV constituido por la aceleración en los tres ejes y la velocidad  $AV = \{(ax_1, ay_1, az_1, v_1), \dots, (ax_{|A|}, ay_{|A|}, az_{|A|}, v_{|A|})\}$ ,  $|A| \geq 2$ .

Entonces la solución se modela con el conjunto  $D_i^t = \{GPS^t, AV^t, R_i^t\}$ ,  $i=1, \dots, R$  y  $t > 0$ . Finalmente, el conjunto de datos queda expresado de la siguiente manera:  $D_i^t = \{lat, lon, alt, ax, ay, az, v, ESSID, RSSI, MacAddress\}$ .

### 5.4.2 Proceso de selección de red según el protocolo Cross-Layer proactivo.

El proceso de selección de red, se basa en los datos pasados, presentes y futuros modelados por el siguiente diagrama de bloques, véase, Figura 28.

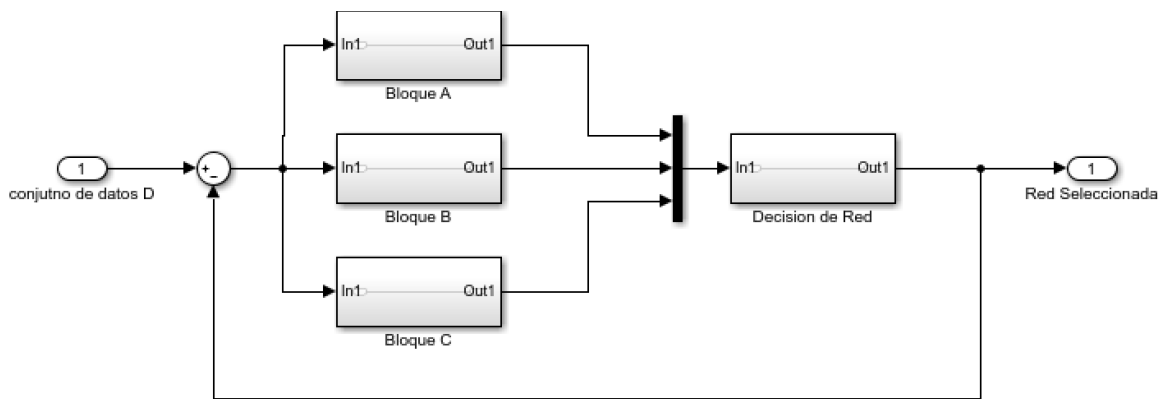


Figura 28 Diagrama de bloques del Protocolo Cross-layer proactivo, ilustración propia.

En el bloque A, se usan los datos históricos para poder saber en dónde ha estado físicamente conectado el dispositivo móvil. Es decir, usa el conjunto de datos GPS y  $R_i^t$

En el bloque B, se muestrea los datos actuales con la finalidad de analizar el estado presente del sistema y realizar una compensación en caso de ser necesario. Es decir, usa el filtro kalman que fue propuesto por Rudolf E. Kalman en 1960, donde

un conjunto de ecuaciones matemáticas eficientemente estima el estado de un sistema lineal que minimiza el error estimado para alcanzar la optimización. El estado del vector  $x$  es definido por el conjunto de los datos  $[p_x, v_x, a_x, p_y, v_y, a_y]$ , cual describe los movimientos del vehículo en el tiempo  $t$ . Donde  $p_x, v_x, a_x$  corresponde al punto de latitud velocidad, y aceleración, y  $p_y, v_y, a_y$  corresponde a los parámetros de longitud de un vehículo. Para la medida en el cambio del estado del vehículo sin  $\Delta t$ , ya que usamos la ecuación cinética del movimiento (Kalman, 1960). Este bloque se apoya de la técnica se usa el conjunto de datos AV, después usa la ecuación 1, para trazar una posible ruta y anticipar un posible cambio de red.

$$x(t) = x_0 + v \cdot \Delta t + 0.5 \cdot a^2 \cdot \Delta t \quad (41)$$

$$v(t) = v_0 + a \cdot \Delta t \quad (42)$$

Donde  $x_0$  es el estado inicial del vehículo,  $v$  para la velocidad, y  $a$  es la aceleración del vehículo (asumiendo la aceleración constante al tiempo  $t$ ).

En el bloque C, se calcula un pronóstico de posible ubicación futura y usando técnicas de inteligencia artificial de clasificación se pronostica cual es la posible red a la que se arribará. Es este bloque se usa un clasificador Bayesiano.

$$P(C|E_1, \dots, E_n) = \frac{P(C) \cdot P(E_1|C) \cdot \dots \cdot P(E_n|C)}{P(E_1, \dots, E_n)} \quad (43)$$

$$Likelihood(C_i) = P(C_i) * P(E_1|C_i) * \dots * P(E_n|C_i) \quad (44)$$

$$NR_i = argMax(Likelihood(C_i)) \quad (45)$$

Donde:

C: La clase a la que pertenecen los atributos del  $GPS^{t+1}$ ,  $AV^{t+1}$ . En este caso, la clase son las redes WLAN.

$E_1, \dots, E_n$ : son las características, en este caso los conjuntos  $GPS^t$ ,  $AV^t$

$NR_i$  = Siguiete red a la que se va a cambiar.

Es importante mencionar que los datos presentes pasarán a ser históricos pero no necesariamente los datos pronosticados serán parte del conjunto de datos históricos.

El clasificador Bayesiano se seleccionó considerando que los dispositivos móviles tienen una limitada cantidad de memoria y la implementación del algoritmo no requiere demasiada, asimismo, al ser un modelo probabilístico permite entrenar y procesar los datos de predicción. El modelo es rápido considerando la cantidad de datos que puede manejar, en caso de existir características irrelevantes no afecta relativamente el comportamiento del clasificador.

### 5.4.3 Arquitectura del sistema

El sistema hace uso de los APIs nativos del sistema operativo Android, WiFi, location y sensors al igual que los suplicantes nativos, para obtener los datos y los almacena en un archivo separado por comas. Así como se ilustra en la Figura 29.

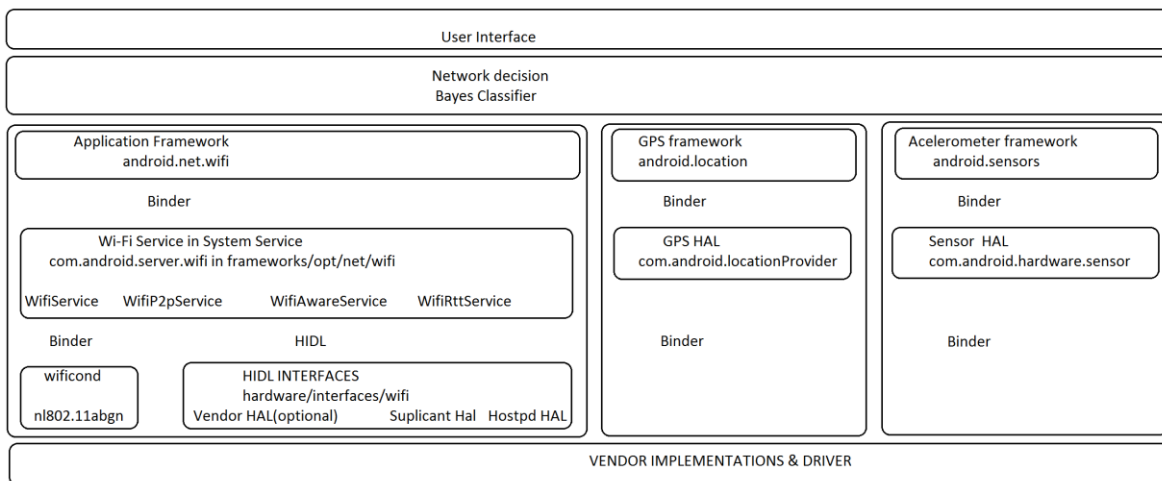
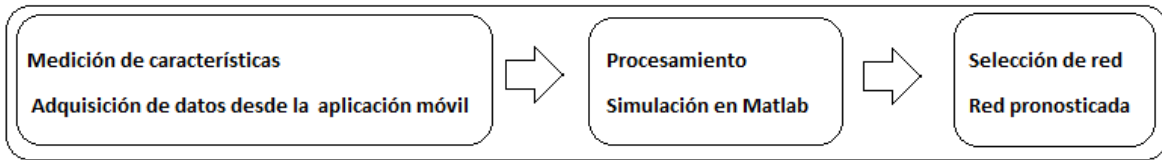


Figura 29 Arquitectura del sistema.

### 5.4.5 Procedimiento de toma de decisión

El sistema toma una muestra de la posición, aceleración y redes disponibles cada segundo, entonces basado en el conjunto de datos pronostica cual es la siguiente red.





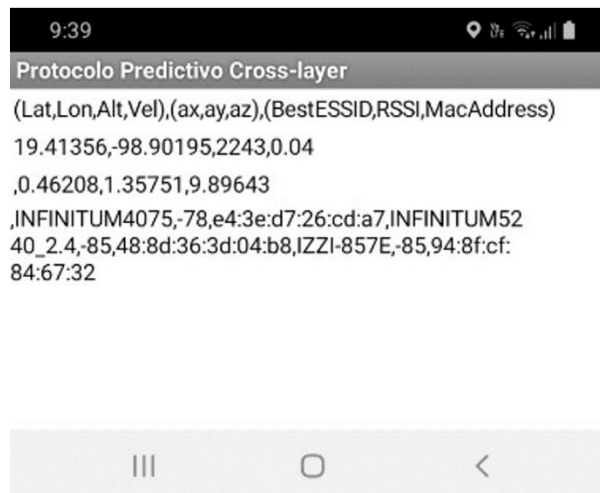
*Figura 30 Diagrama de flujo del sistema*

Para recolectar los datos se usa una aplicación para dispositivos móviles, después se exportan los datos a un archivo CSV y se procesan con un script en MATLAB y finalmente se pronostica la siguiente red.

#### **5.4.4 Adquisición de datos**

Los datos se recolectaron usando una aplicación para dispositivos móviles Android programada en Android Studio 3.5.2, básicamente la aplicación escanea el entorno de red, la posición GPS, velocidad y aceleración cada 5 segundos y lo almacena en un archivo extensión CSV.

La interfaz de usuario de la aplicación es muy simple debido a que solo muestra los resultados cada segundo, así como se ilustra en la siguiente Figura 31



*Figura 31 Interfaz de usuario de aplicación mostrando resultados de escaneo*

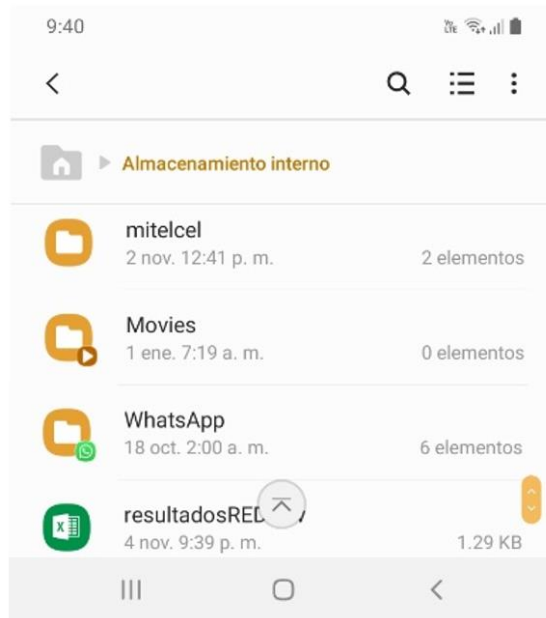


Figura 32 Archivo resultadosRED.csv en almacenamiento interno del dispositivo móvil

Después almacena los datos en un archivo llamado resultadosRED.csv que se almacena en el fichero raíz del dispositivo móvil, véase Figura 32. La organización del archivo resultante es por columnas: latitud, longitud, altura, velocidad, aceleración eje x, eje y y eje z, Best ESSID, RSSI, Mac Address, y demás redes disponibles siguiendo la misma secuencia (ESSID, RSSI, Mac Address), así como se observa en la siguiente Figura 33, con 7 muestras y tres redes disponibles.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	19.41356	-98.90195	2242	0	1.41617	3.84269	7.96311	INFINITUM4	-78	e4-3e:d7-26: INFINITUM5	-85	48-8d:36-3d: IZI-857E	-85	94-8f:cf-84-67:32			
2	19.41356	-98.90195	2242	0	1.21865	4.18506	8.61075	INFINITUM4	-63	e4-3e:d7-26: INFINITUM5	-81	48-8d:36-3d: IZI-857E	-81	94-8f:cf-84-67:32			
3	19.41356	-98.90195	2242	0	1.21865	4.18506	8.61075	INFINITUM4	-63	e4-3e:d7-26: INFINITUM5	-81	48-8d:36-3d: IZI-857E	-81	94-8f:cf-84-67:32			
4	19.41356	-98.90195	2242	0	1.21865	4.18506	8.61075	INFINITUM4	-63	e4-3e:d7-26: INFINITUM5	-81	48-8d:36-3d: IZI-857E	-81	94-8f:cf-84-67:32			
5	19.41356	-98.90195	2242	0	1.21865	4.18506	8.61075	INFINITUM4	-63	e4-3e:d7-26: INFINITUM5	-81	48-8d:36-3d: IZI-857E	-81	94-8f:cf-84-67:32			
6	19.41356	-98.90195	2242	0	1.21865	4.18506	8.61075	INFINITUM4	-63	e4-3e:d7-26: INFINITUM5	-81	48-8d:36-3d: IZI-857E	-81	94-8f:cf-84-67:32			
7	19.41356	-98.90195	2242	0	1.21865	4.18506	8.61075	INFINITUM4	-63	e4-3e:d7-26: INFINITUM5	-81	48-8d:36-3d: IZI-857E	-81	94-8f:cf-84-67:32			
8																	

Figura 33 Datos del resultadoRED.csv

Esta aplicación permite visualizar en cuatro dimensiones la cercanía del punto de acceso. Las dimensiones longitud, latitud y altura están representadas en los ejes x, y, z respectivamente. La cuarta dimensión es la potencia de la señal recibida y

está representada por una barra de colores. A continuación, se muestran diferentes vistas de la gráfica obtenida para un solo punto de acceso, véase, Figura 34.

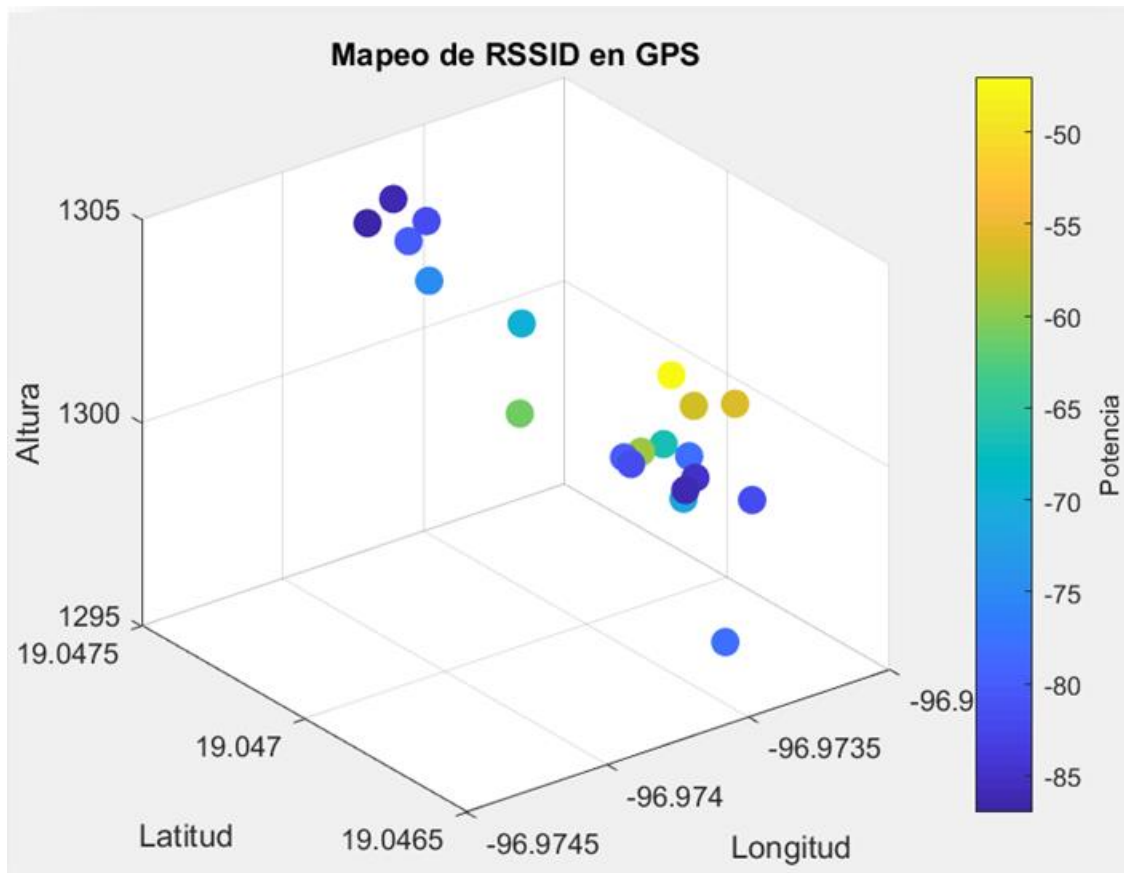


Figura 34 Interfaz de Grafica de muestras en 4D del punto de acceso con la posición y potencia de señal recibida

Observe que entre más cerca del punto de acceso la potencia se incrementa y entre más lejos la potencia disminuye, es decir que esta aplicación para dispositivos móviles también puede ser usada para mapear la potencia de la señal recibida.

#### 5.4.6 Graficas de resultados de Clasificadores

En el escenario de la figura 9, se tomaron diez muestras por punto de acceso y después se tomaron 50 % para entrenamiento y el resto para pruebas. En la siguiente figura se grafican los datos que se usaron para entrenar y los datos que se usaron para prueba.

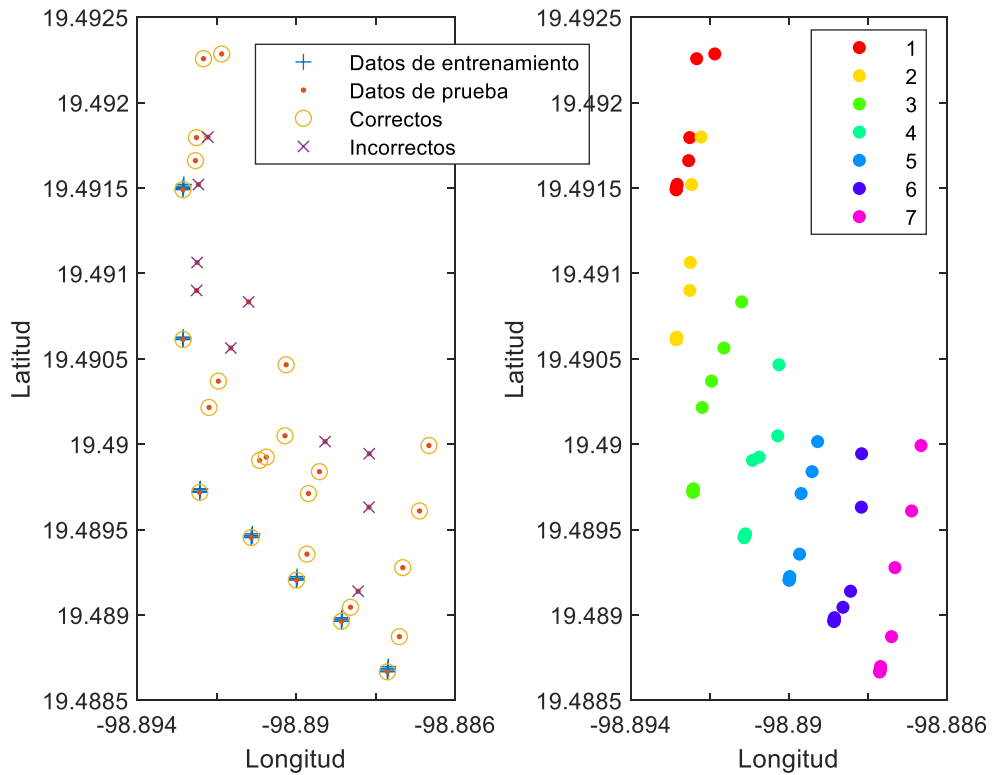


Figura 35 Grafica en Matlab de clasificador NB, con exactitud=71.42%

En la figura 35, se aprecian los datos que fueron clasificados correctamente están muy cerca del punto de acceso a la que pertenecen por lo tanto, la exactitud debe ser muy alta. Por otra parte, en la siguiente grafica se toman muestras muy alejadas de punto de acceso y la exactitud del clasificador disminuye drásticamente.

Tabla 9 Comparativa de técnicas contra el porcentaje de datos de prueba.

Técnica	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
RL	100.00%	100.00%	90.48%	100.00%	92.86%	83.33%	61.22%	57.14%	44.44%
NB	100.00%	100.00%	90.48%	92.86%	65.71%	59.52%	51.02%	50.00%	14.29%
SVM	-	-	9.52%	28.57%	8.57%	33.33%	10.20%	10.71%	25.40%
KNN	14.29%	35.71%	28.57%	42.86%	28.57%	28.57%	26.53%	23.21%	-

En la tabla anterior se puede apreciar que el porcentaje que ofrece resultados más aproximados entre si son entre el 40 % y 60 % de los datos para pruebas de exactitud esto es debido a que se encuentra un balance entre los datos que se usan para entrenar y los datos que se usan para las pruebas. En la siguiente grafica se ilustran los datos que se obtuvieron con una gráfica entre la exactitud el algoritmo y el porcentaje de datos que se usan para probar los diferentes algoritmos.

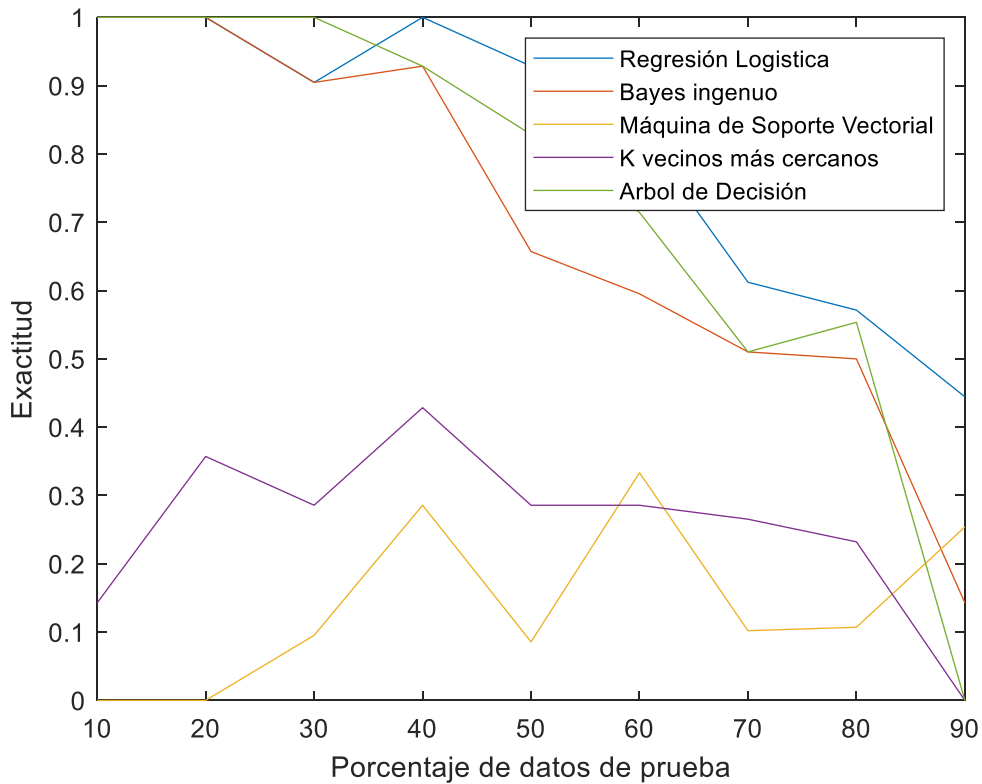


Figura 36 Grafica de comparación de exactitud contra el porcentaje de datos de prueba

Considerando la proporción equitativa ente los datos de prueba y entrenamiento observamos de la gráfica anterior que el algoritmo que mejor se ajusta a los datos es la Regresión Logística(RL), seguido del Árbol de decisión(DT), Naive Bayes(NB), K- nearest neighbors(KNN) y finalmente la Maquina de Soporte Vectorial(SVM).

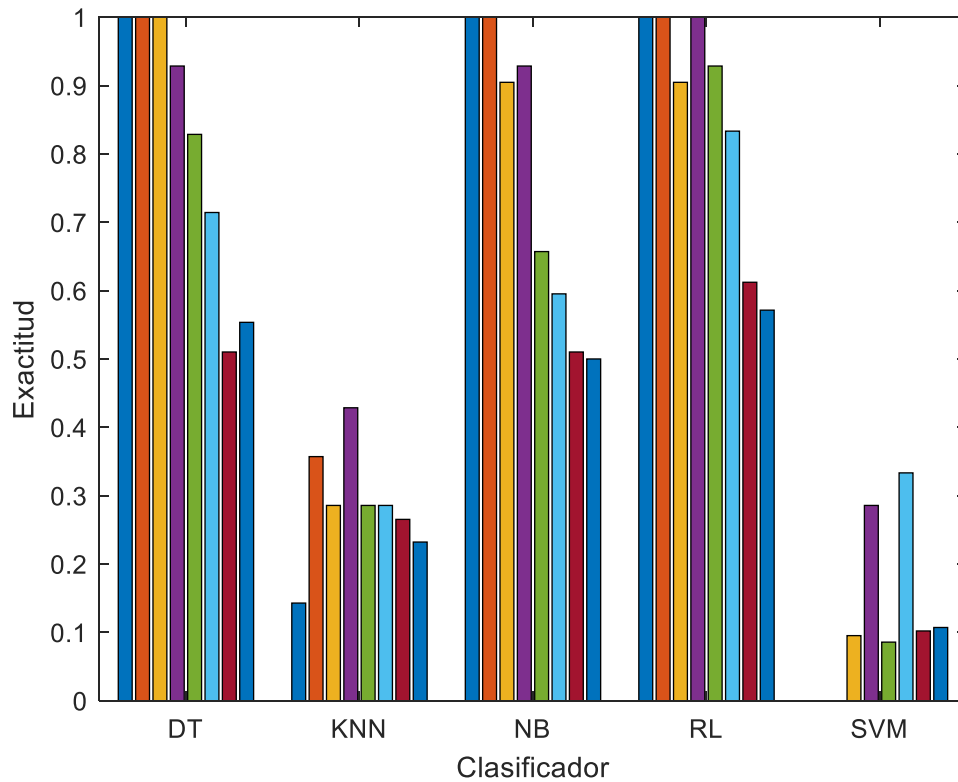


Figura 37 Grafica de porcentaje y exactitud agrupadas por técnica

En este caso se muestra la gráfica agrupada por clasificador y se muestra los resultados obtenidos de menor cantidad de datos a mayor cantidad de datos de prueba. Como se aprecia a mayor cantidad de datos de prueba la exactitud disminuye, y en el centro donde los datos son igualmente proporcionales la exactitud es semejante.

## 5.5 Plataforma de prueba para validación de ejecución de handover.

En este apartado se describe la topología de red que se ha usado para evaluar el desempeño de las propuestas FCLH, de igual manera describen sus componentes.

Durante el proceso de evaluación de protocolo se ha utilizado una sesión de video a la demanda con un servidor fundado en RTSP para una sesión de video MPEGII, debido a que la aplicación no ha soportado la movilidad en los clientes ha sido ligeramente modificada para soportarla, aprovechando la ventaja del código libre, tiene todos los sistemas instalados: sistemas operativos LINUX ó UNIX.

A continuación se presenta una imagen del escenario de pruebas y una breve explicación de cada uno de ellos en la Figura 38.

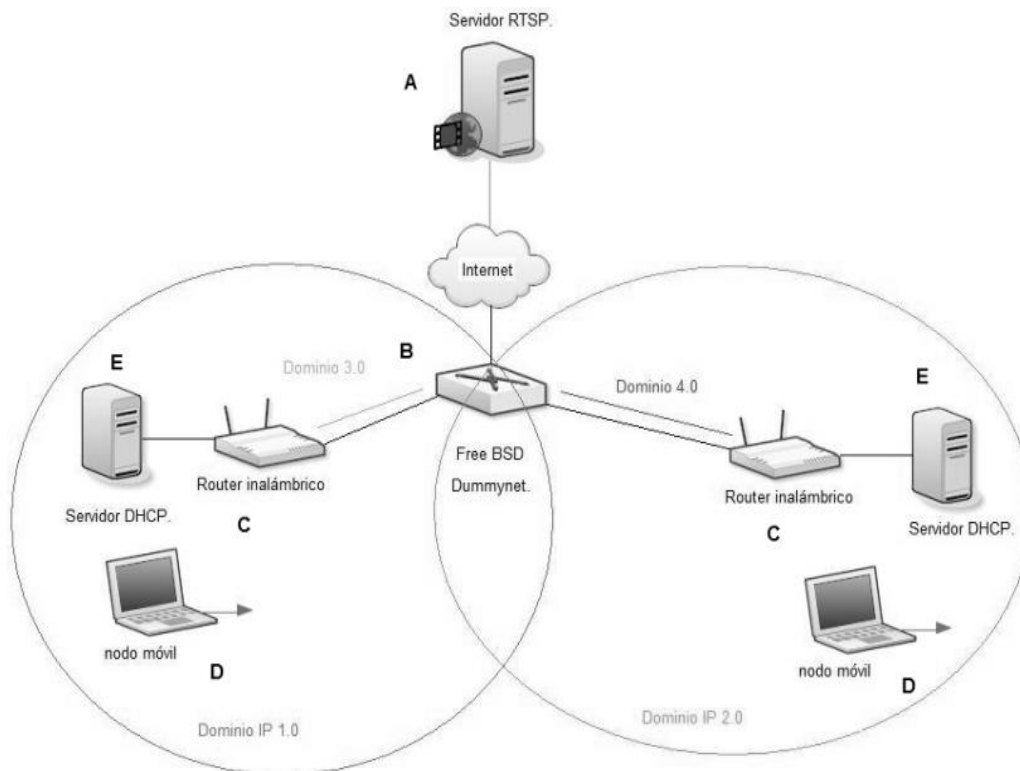


Figura 38 Escenario de pruebas para protocolo FCLH.

### **5.5.1 Descripción de los componentes de prueba.**

#### **A.- Servidor RTSP:**

Es un servidor con procesador Centrino a 3Ghz , 1 Gb de memoria RAM y tiene instalado un servidor de Video LIVE 555 Media server (LIVE555, 2019), este servidor es compatible con VLC player (player, 2019), Quick Time (QuickTime, 2019) y open RTSP (OpenRTSP, 2019)

#### **B.- Router Free BSD:**

Es un servidor con sistema operativo Free BSD 8.0 (FreeBSD, 2019) , que se comporta como router de frontera para los dos acces routers inalámbricos, este router de frontera contiene instalada la aplicación DummyNet (Rizzo, 1997), la cual sirvió para emular la distancia del servidor RTSP.

#### **C.- Router inalámbrico:**

Acces Router inalámbrico con sistema operativo OpenWRT, memoria flash de 8 mb y 32 mb de ram. Para poder compilar y ejecutar programas sobre los access routers, se utilizó un coss-compiler llamado Buildroot (Buildroot, 2019).

#### **D.- Nodo Móvil:**

El nodo móvil es una laptop con tarjeta inalámbrica, durante las pruebas se han probado con varias laptops de diferente capacidad y variedad en tarjetas inalámbricas, todas ellas con sistema operativo Linux.

#### **E.- Servidor DHCP:**

El servidor DHCP es una computadora con sistema operativo fedora 9, 1Gb de RAM y procesador pentium 4 a 2.5Gh, con un servidor DHCP instalado.

### **5.5.2 Adquisición de direcciones IP**

Se presenta un nuevo enfoque para obtener una dirección IP en un tiempo cercano a un RTT sin interferir con los procedimientos establecidos en RFC 2131 (DHCP) y RFC 4039 (opción de confirmación rápida para el protocolo de configuración de host dinámico).



El enfoque es solo una parte de una arquitectura para administrar las comunicaciones móviles y en el que la fase de adquisición de una dirección IP es la demora de los contribuyentes en los procedimientos como el traspaso.

La arquitectura diseñada en esta tesis reduce la sobrecarga de tráfico y es más rápida que el DHCP convencional, ya que intercambia solo dos mensajes de señalización y, en particular, enmascara el procedimiento DAD. Durante la prueba experimental no se ha encontrado duplicados de direcciones IP. Finalmente, este enfoque puede funcionar correctamente sin conflictos entre el servidor DHCP estándar y el servidor FDHCP. Véase Figura 39.

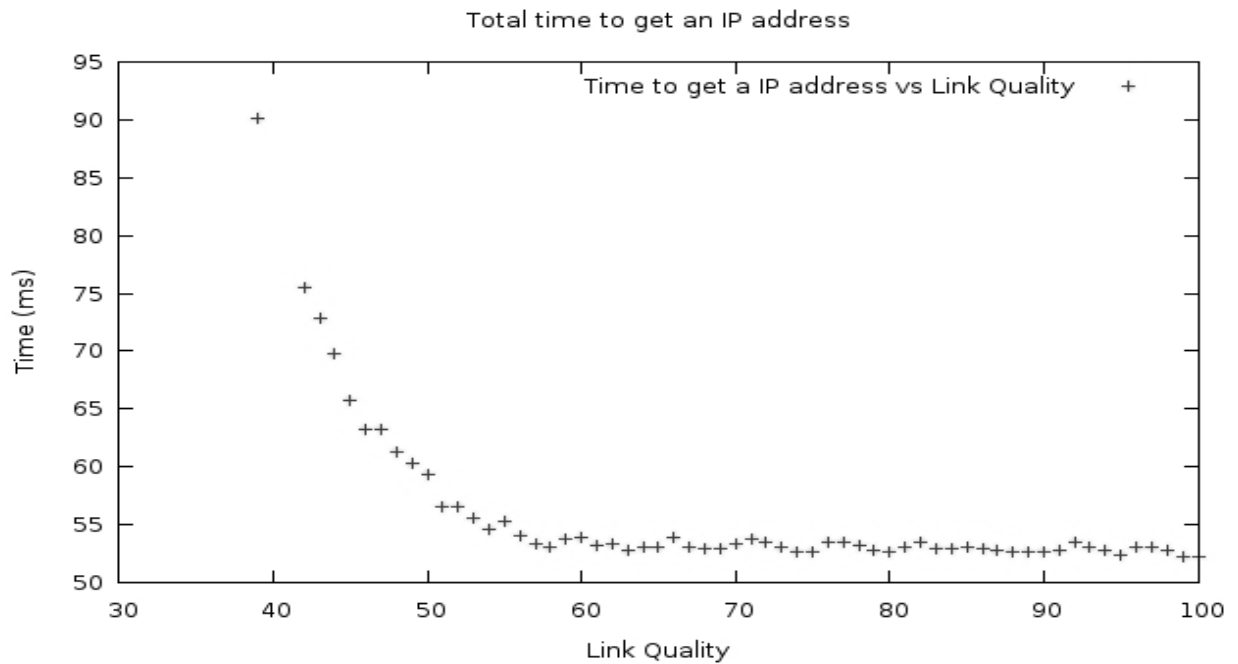


Figura 39 Tiempo total en obtener una dirección IP y configurar la interfaz de red.

### 5.5.3 Evaluación del desempeño del protocolo cross-layer Proactivo

Las siguientes Figuras 40 y 41 muestran los resultados del tiempo de *handover* y el número de mensajes almacenados en el buffer por *handover* en función del retraso de extremo a extremo entre el servidor de video a la demanda y el MN.

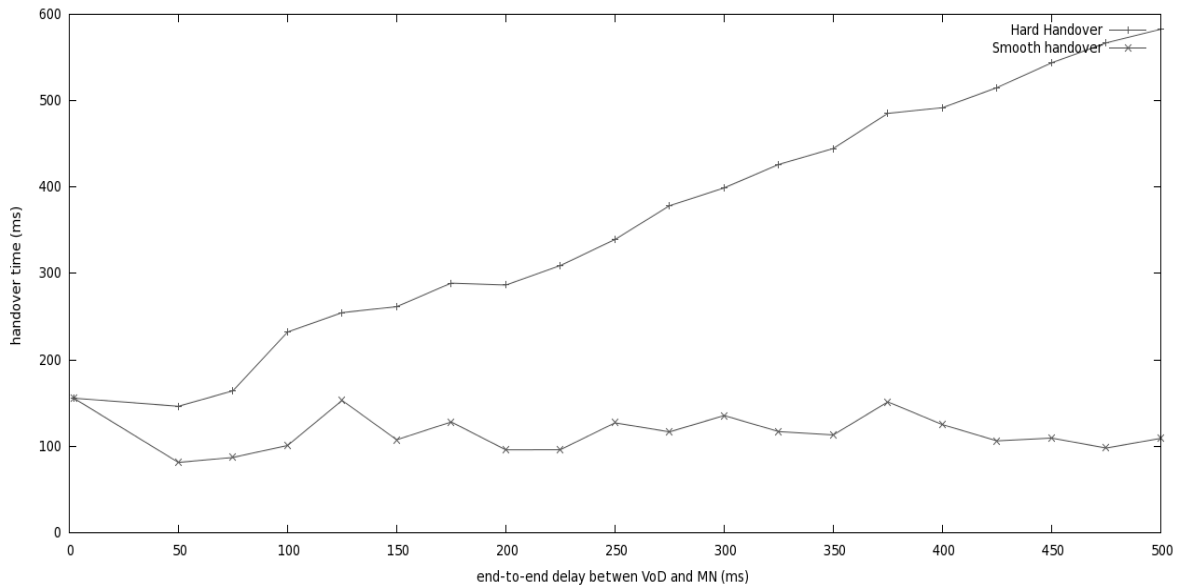


Figura 40 Gráfica de tiempo de handover vs retraso entre el MN y el CN.

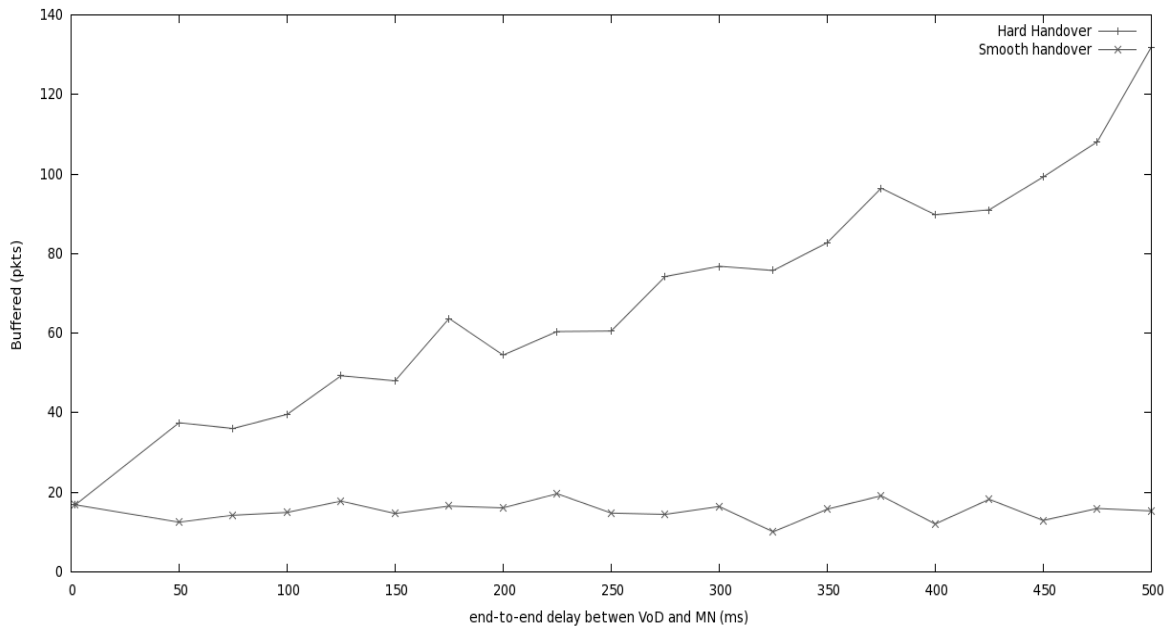


Figura 41 Gráfica de paquetes almacenados en el AP vs retraso entre el MN y el CN.

De las gráficas anteriores se puede observar que el tiempo de *handover* no se incrementa al aumentar el retraso natural introducido por la distancia del CN, también se puede observar que el número de paquetes almacenados en el buffer es constante sin importar el retraso de extremo a extremo entre el MN y el CN, es decir al realizar un *handover* proactivo, no hay paquetes perdidos en este esquema.

---

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

---

En este capítulo se analizan los resultados y se interpretan contrastándolos con los obtenidos en la literatura especializada,

Los resultados obtenidos se dividen en tres etapas: 1) Medición de handover e inicialización, 2) Decisión de handover 3) Ejecución de handover.

Respecto a la etapa de: 1) Medición de handover, el estándar 802.11 describe dos maneras de escanear el ambiente A) Escaneo activo y B) Escaneo pasivo. En la manera activa de escaneo el nodo móvil envía un mensaje “*probe request*” y espera un mensaje “*probe response*” en un tiempo mínimo 40ms a 100ms máximo por canal y considerando que el estándar WiFi tiene 14 canales, el tiempo de escaneo tarda entre 560 ms y 1400 ms tiempo no aceptable para una transición de red (Singh, 2020). Por otro lado, el escaneo pasivo solo espera un mensaje “beacon” que emiten los puntos de acceso cada 200 ms. De igual manera el tiempo de escaneo es inaceptable para una transición de red (Choi, 2017).

El sistema propuesto en esta tesis usa un escaneo activo cada segundo y almacena los datos de la posición del NM y redes disponibles en una base de datos. Esta base de datos se va alimentando cada vez que un NM escanea dicho ambiente. Es posible que el tiempo del escaneo se reduzca a solo el tiempo que toma en consultar esa información en la base de datos debido a que ya se encuentra registrada. Así, se reduce el tiempo de consulta, es decir, el tiempo de ida y regreso de un paquete tomaría entre 5ms a 100ms. Teniendo una reducción del tiempo de escaneo de un 92.85 % respecto a la técnica de escaneo activa mencionada, ver Figura 42.

Considerando lo anterior, Si otros usuarios escanean y actualizan una base de datos en la nube otros usuarios pueden acceder a esa base de datos actualizada y obtener las redes disponibles en su posición sin necesidad de realizar un escaneo activo.

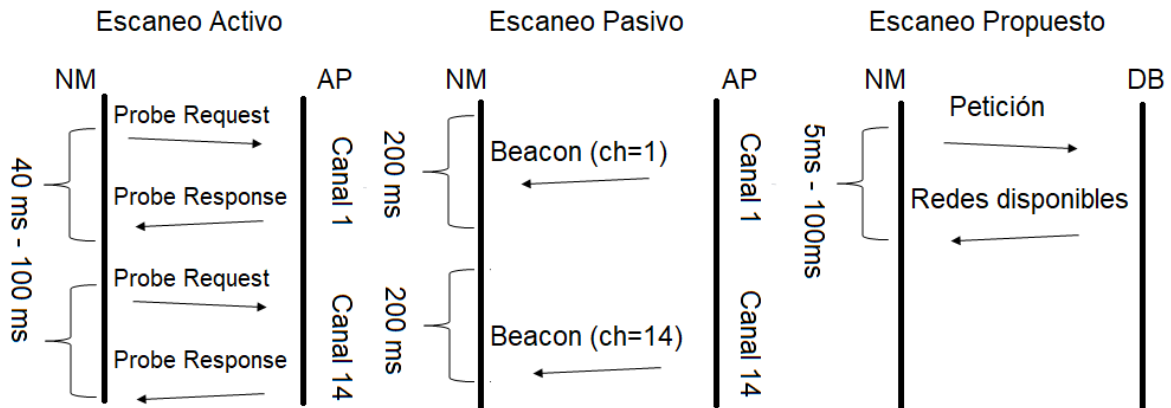


Figura 42 Escaneo Activo, Pasivo y propuesta de escaneo, (elaboración propia)

Existen propuestas que intentan reducir el tiempo de escaneo en redes como lo mencionado en (Liao, Y., & Gao, L., 2006), que obtiene 1.1s en escaneo, en (A. Mishra, 2003) cuenta con 500 ms de tiempo de escaneo y finalmente, en (Chung-Sheng Li, 2008) obtiene 2.4s de tiempo de escaneo, comparados con el sistema propuesto que alcanza un tiempo de escaneo de entre 5 y 100 ms. Todas las propuestas anteriores están citadas y comparadas en la Tabla 4.

Considerando lo anterior, el tiempo de reducción de escaneo de esta propuesta es un aporte significativo al estado del conocimiento.

Respecto a la etapa 2) Decisión de handover, ésta se divide en dos partes: A) La parte de pronóstico de movilidad, en la cual, usualmente los artículos consultados usan técnicas de estimación de la posición de un NM y B) La parte de técnicas de clasificación para determinar qué características pertenecen a una clase.

Con respecto al pronóstico de movilidad, las técnicas usadas en esta tesis son filtro de kalman(KF), filtro de partículas(PF) y Redes Neuronales Artificiales (RNA).

La literatura especializada acostumbra a usar diferentes filtros para estimar la posición de un NM como en (Yan, 2019), que propone un esquema CSI (Información del Estado del Canal) contrastando sus resultados con un filtro de Kalman, ver la Figura 43. Esta propuesta obtiene una mejora de error en el eje x de 0.63 m y en el eje y de 0.75m, considerando que el nodo se mueve en un margen en el eje x de 100 m. y en el eje y 8 m. Se estima un error de 0.63 % en el eje x y en el eje y de 9.37 %.

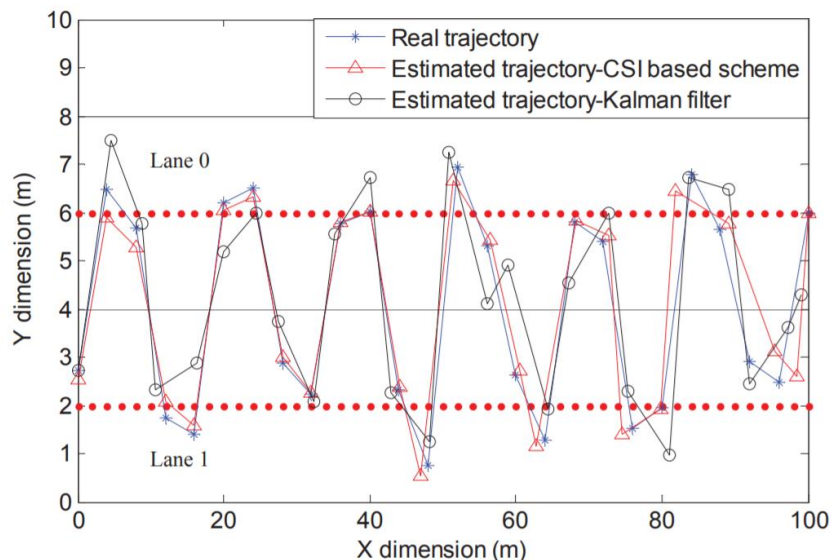


Figura 43 Gráfica de comparación de trayectoria, obtenida de (Yan, 2019).

En contraste con la propuesta que se expone en esta tesis, que se probó con un movimiento de 2000 m en el eje x y 40 m en el eje y, arrojó un error promedio del 33.58% en la red neuronal artificial y 45.74 % en el filtro de partículas. Considerando que es un movimiento aleatorio y que en teoría no tiene ningún patrón de movimiento, se optó por definir un escenario de pruebas como en todos los artículos consultados en esta investigación. Particularmente en esta tesis, se definió un escenario de pruebas con movimiento uniformemente acelerado, en un circuito con siete puntos de acceso.

Respecto a las técnicas de clasificación que se usan, se proponen cinco clasificadores con siete características de entrada y una salida con siete posibles redes. En la Figura 44 se muestra un conjunto de gráficas que se contrastan entre sí, es decir en la primera fila se grafica latitud en el eje y contra las características restantes, con la finalidad de observar su distribución y saber si son linealmente separables. Por otra parte, si se grafica la aceleración contra la velocidad se aprecia que los puntos están muy cerca por lo tanto un clasificador con esas características no tendría un buen desempeño.

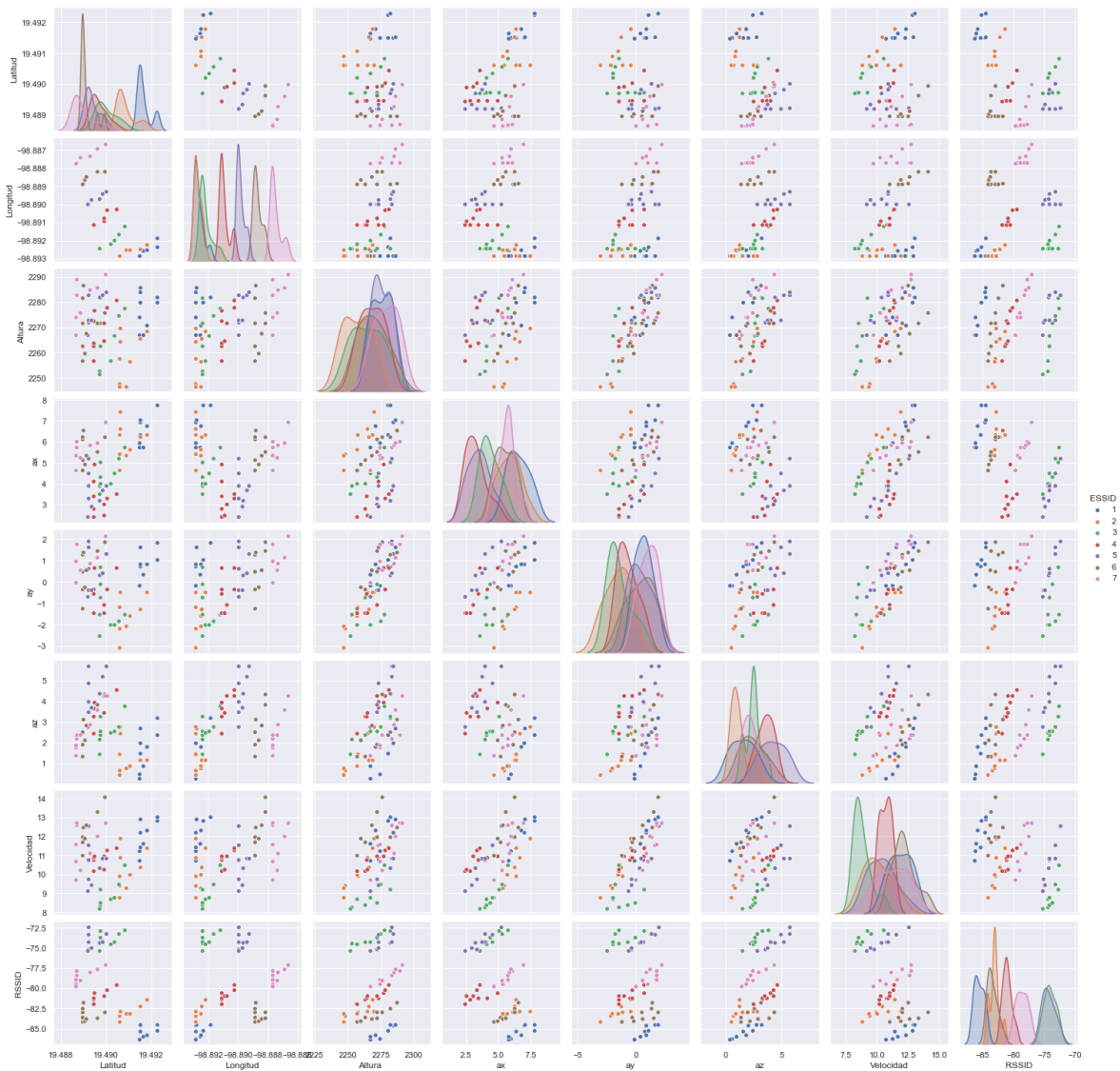


Figura 44 Gráfica de comparación de características, (elaboración propia)

---

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

---

En este capítulo se describen las conclusiones como resultado de las pruebas.

Respecto al pronóstico de red basado en los clasificadores, se obtuvieron buenos resultados con los clasificadores Regresión Logística, Naive Bayes y Árbol de decisión, esto debido a la naturalidad de los datos, sin embargo, se tuvieron que balancear los datos para evitar que los resultados se vieran afectados. Respecto a las características que fueron seleccionadas para hacer la clasificación, resulta que la posición es una característica más importante que la aceleración debido a que la posición de un nodo móvil determina la cobertura del área de la red y también la red a seleccionar. Por otra parte, la velocidad es un punto clave para determinar si el nodo está en movimiento o estático y de esta manera desencadenar el proceso de cambio. Por otra parte, los resultados mostraron que la cantidad de datos ideal para entrenar y clasificar es 50 % para tomar una mejor decisión basado en los datos anteriores.

En las pruebas sobre las técnicas de estimado de posición del nodo móvil, con las técnicas de PF y RNA se demuestra que los resultados tienen más de un 60 % de exactitud en la estimación del siguiente punto de acceso, esto implica que, durante los aciertos de cambio, no habrá pérdida de paquetes durante la transición de una red a otra. Sin embargo, se considera que el pronóstico de movimiento de un nodo móvil basado en técnicas de filtro de partículas y redes neuronales no es la decisión óptima para hacer el pronóstico del movimiento de un nodo móvil.



Respecto al escenario de pruebas, algunos trabajos sólo presentan un escenario de dos redes adyacentes (Guo, 2011), (Yang, 2017), mientras que esta propuesta se evalúa hasta con siete redes adyacentes.

Respecto a la técnica de ontologías usada para el pronóstico de la siguiente red es un tema interesante porque se le agrega semántica a la toma de decisiones es decir, se pueden añadir más variables que pueden ser precisas en dicha toma de decisiones y posiblemente aumentar la calidad de experiencia del usuario (QoE). Sin embargo, este marco de referencia necesita una infraestructura modificada para obtener datos y añadir el Corpus de la Ontología a cada usuario, entonces es posible que la infraestructura se vuelva pesada para los dispositivos móviles por la naturaleza del sistema distribuido. Habría que elegir Precisión contra Velocidad.

La infraestructura del sistema presentado en esta tesis permite escalabilidad sin problemas debido a que el *buffer* en la parte proactiva almacena en promedio 21kb, considerando que el sistema cuenta con una memoria de 32MB, en teoría podría atender hasta 1500 usuarios.

Los resultados muestran un *handover seamless (sin fisuras)* logrando un cambio de red en un tiempo promedio de 126.8709588 ms. Además, la implementación proactiva muestra un *handover* sin pérdidas de paquetes, logrando almacenar en el buffer 21.5983449 paquetes por *handover* en promedio.

Se implementó un protocolo rápido de adquisición de direcciones logrando obtener una dirección en un tiempo promedio de 75.3729189 ms también se observó un incremento exponencial en el tiempo de adquisición de una dirección IP en función de la potencia de la señal, es por eso que se recomienda realizar un salto con una potencia superior a -40 db o 60 % de Quality of Link.

Con lo anterior expuesto, se ha alcanzado el objetivo general planteado en el apartado 1.1 y se ha demostrado la hipótesis planteada en el apartado 1.4.

Respecto al trabajo futuro, aún falta integrar la infraestructura y la toma de decisión para obtener resultados integrales de la propuesta en un ambiente no controlado.



# ANEXOS

## A.1 Instalación del simulador NS3

El simulador NS3, se usa principalmente en ambientes educativos y de investigación. Permite trabajar tanto con los protocolos unicast como los multicast y se utiliza intensamente en la investigación de redes móviles ad-hoc. NS3 es un software libre, bajo la licencia GNU GPLv2. Por esta razón se utilizó la distribución Linux Ubuntu 14.04. La metodología para instalar NS3 en Ubuntu 14.04 se divide en cinco pasos.

1. Prerrequisitos del sistema
2. Descarga de NS3
3. Construir el software NS3
4. Configurar NS3
5. Probar el simulador NS3

En la siguiente sección se ilustra los comandos para instalar NS3.

### 1. Prerrequisitos del sistema:

El comando resumido para instalar en la distribución de Ubuntu 14.04 Es el siguiente:

```
sudo apt-get install gcc g++ python python-dev mercurial bzip2 gdb valgrind gsl-bin libgsl0-dev libgsl0ldbl flex bison tcpdump sqlite sqlite3 libsqlite3-dev libxml2 libxml2-dev libgtk2.0-0 libgtk2.0-dev uncrustify doxygen graphviz imagemagick texlive texlive-latex-extra texlive-generic-extra texlive-generic-recommended texinfo dia texlive texlive-latex-extra texlive-extra-utils texlive-generic-recommended texi2html python-pygraphviz python-kiwi python-pygoocanvas libgoocanvas-dev python-pygccxml
```

Para comprobar que todo se ha instalado correctamente se debe ejecutar el comando `#bake.py check` y debe mostrar el siguiente resultado

```
> Python - OK
> GNU C++ compiler - OK
> Mercurial - OK
> CVS - OK
> GIT - OK
> Bazaar - OK
> Tar tool - OK
> Unzip tool - OK
> Unrar tool - OK
> 7z data compression utility - OK
> XZ data compression utility - OK
> Make - OK
> cMake - OK
> patch tool - OK
> autoreconf tool - OK
> Path searched for tools: /usr/lib64/qt-3.3/bin
/usr/lib64/ccache /usr/local/bin /usr/bin/bin/usr/local/sbin /usr/sbin
/sbin /user/dcamara/home/scripts/user/dcamara/home/INRIA/Programs/bin
/user/dcamara/home/INRIA/repos/llvm/build/Debug+Asserts/bin
```

## 2. Descarga de NS3

Los comandos para descargar el simulador son los siguientes

```
cd
```

```
mkdir ns3
```

```
cd ns3
```

```
wget http://www.nsnam.org/release/ns-allinone-3.19.tar.bz2
```

```
tar xjf ns-allinone-3.19.tar.bz2
```

```
cd ns-allinone-3.19/
```

```
ls
```

### **3. Construir el software NS3**

Cambiar al directorio ns-allinone y ejecutar el comando:

```
./build.py --enable-examples --enable-tests
```

### **4. Configurar NS3**

Cambiar al folder ns-3.19 y ejecutar el comando :

```
./waf -d debug --enable-examples --enable-tests configure
```

### **5. Probar el simulador NS3**

Finalmente probar todo ejecutando el comando

```
./test.py
```

## A.2. Visual de las pruebas

Se presenta la Figura A.2.1 como una de las fotografías satelitales tomadas cada 5 segundos durante las pruebas.

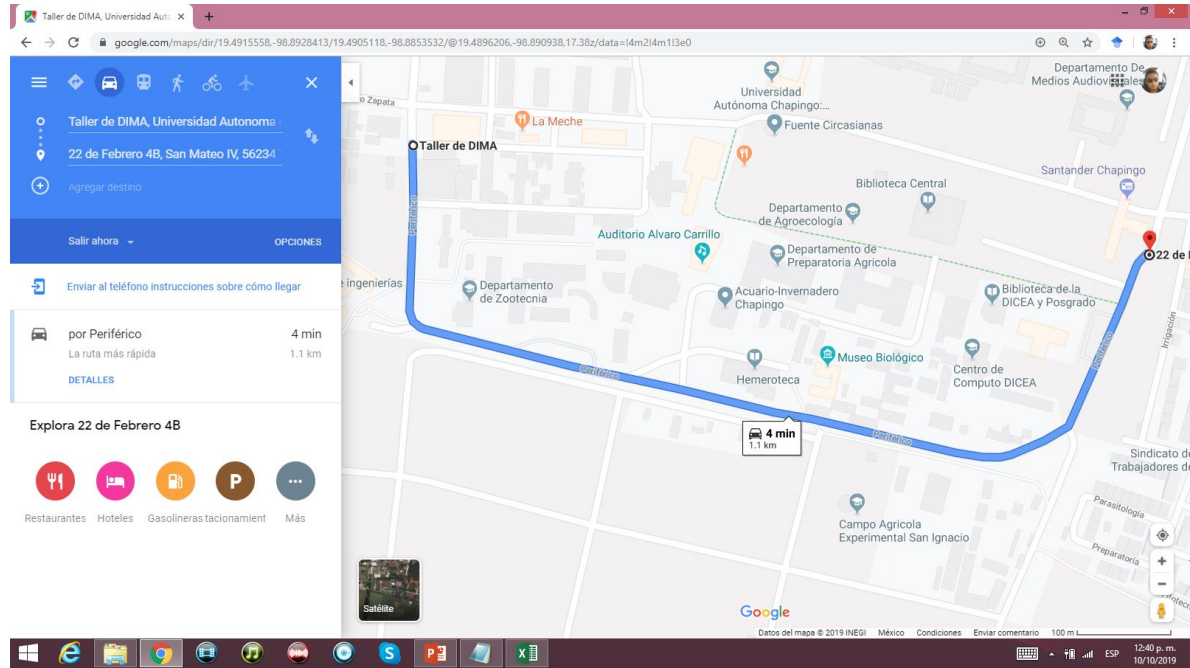


Figura A.2.1 Muestra la ubicación del móvil durante los primeros 5 minutos de la búsqueda del nodo más recomendable.

## GLOSARIO

1. ARPA : Advanced Research Projects Agency
2. TCA: Time Constrained Applications
3. Handover: Traspaso de una red a otra.
4. NM: Nodo Móvil, puede ser un dispositivo móvil como una laptop, Tablet, Smartphone.
5. IP: Protocolo Internet
6. WLAN: wireless local area network
7. UMTS: Universal Mobile Telecommunications System
8. LTE : Long Term Evolution
9. PF Particle Filter
10. RNA : Red Neuronal Artificial
11. MSE : Mean Square Error
12. IEEE 802.11 : Protocolo de Red Inalámbrica
13. WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.
14. RSSI : Received Signal Strength Indicator.
15. NL: Network Load.
16. BER: Bit Error Rate.
17. Throughput: Cantidad de Datos o Mensajes que se Reciben con Éxito
18. SNR: Signal Noise Ratio
19. NC: Network Cost
20. BS: Base Station.
21. MT: Mobile Terminal.
22. SNR: Signal to Noise Ratio.
23. WiFi: Wireless Fidelity. Fidelidad sin Cables o Inalámbrica.
24. AMIPCI: Asociación Mexicana de Internet.
25. INEGI: Instituto Nacional de Estadísticas Geografía e Informática.
26. ENTIC: Encuesta Sobre las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
27. 4G: Telefonía Móvil de Cuarta Generación, LTE
28. 3G: Telefonía Móvil de Tercera Generación, UMTS

29. handoff latency: tiempo que tarda el cambio de red.
30. packet losse rate: Porcentaje de Paquetes Recibidos.
31. handover-rate: cantidad de cambios realizados durante una sesión.
32. RNA: Redes Neuronales Artificiales.
33. KF: Kalman Filter.
34. EKF: Extended Kalman Filter, Filtro de Kalman Extendido.
35. UKF: Unscented Kalman Filter.
36. UT: Unscented Transformation.
37. AMIPCI: Asociación Mexicana de Internet.
38. IETF: Internet Engineering Task Force.
39. OSI: Interconexión de Sistemas Abiertos.
40. GPS: Sistema de Posicionamiento Global.
41. PDF: Función de Probabilidad de Densidad
42. SIR: Sampling Importance Resampling.
43. Web: Red, se utiliza para nombrar una red informática.
44. W3C: World Wide Web Consortium.
45. ONT: Ontology.
46. OIL: Ontology Inference Layer.
47. XML: Lenguaje de Marcas Extensible.
48. RDF: Resource Description Framework.
49. URI: Identificador Único de Recursos.
50. OWL: Ontology Web Language.
51. OM: Ontology Merging.
52. Bandwidth: Ancho de Banda
53. CL: Current Loads, Carga Actual.
54. HU: High Users, Usuario Demandante.
55. AU: AVERAGE Users, Usuarios Promedio.
56. LU: Low Users, Usuarios no Demandantes.
57. APs: Puntos de Acceso
58. QoS: Quality Of Service.
59. NL: Network Load.



- 60. RSNi: Received Signal-to- Noise Interference
- 61. SIP: Sesion Initiation Protocol.
- 62. DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol.
- 63. DAD: Duplicate Address Detection.
- 64. MIP: Mobile IP.
- 65. HA: Home Agent.
- 66. FA: Foreign Agent.
- 67. CoA: Care-OF-Address.
- 68. OM: Ontology Merging.
- 69. POC: Preservación de la Continuidad de los Servicios.
- 70. LD: Directorio Local
- 71. MGLT: Mantener la Localización Global
- 72. DHCP: Protocolo Dinámico de Control de Host
- 73. CN: Nodo Correspondiente
- 74. AA: Asignación de Direcciones.
- 75. SHP: Proceso Smooth Handover.
- 76. FCLH: Fasto Cross-layer Handoff
- 77. UGLT: Actualización Global de Localización

## BIBLIOGRAFÍA

- A. Mishra, M. S. (2003). An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process. *SIGCOMM Comput. Commun.*, 102.
- A., K. J. (2006). Received Signal to Noise Indicator. *US Patent 2006 / 0234660 A1*.
- Abiodun, O. I. (2018). State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey. *Heliyon*, 4(11), e00938.
- Ahmed, A. B. (2014). Enabling vertical handover decisions in heterogeneous wireless networks: A state-of-the-art and a classification. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 776-811.
- Ahmed, A., Boulahia, L. M., Gaiiti, D., & Amoud, R,R. (2010). Towards a knowledge-based intelligent handover in heterogeneous wireless networks. *In Local Computer Networks (LCN), 2010 IEEE 35th Conference on*, 284-287.
- Ahmed, B. G. (2010). Towards a knowledge-based intelligent handover in heterogeneous wireless networks. *IEEE 35th Conference in Local Computer Networks (LCN)*.
- al, M. Y. (2011). AdaptativeScan: The Fast Layer-2 Handoff for WLAN. *Eighth International Conference on Information Technology: New Generations*.
- al., D. A. (2009). LTE: The Evolution of Mobile Broadband. *IEEE Comm.*, vol. 47, no. 4, 2009, pp. 44–51.
- Alessandro, B. (2010). A softer vertical handover algorithm for heterogeneous wireless access networks. *in PIMRC. IEEE*, 2156-2161.
- André Zúquete, C. F. (2011). Pre-allocation of DHCP leases: a cross-layer approach. 16. *André Zúquete , Carlos Frade, «Pre-allocation of DHCInternational Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*.

- Antunes, H. C. (2004). Pre-handover Signaling for QoS Aware Mobility Management. 27. H. Chaouchi and P. Antunes, "Pre-handovInternational Journal of Network Management, 14, 367-374.
- Anyamanee Navichai, W. B. (2011). Two-Step Paging for Reducing Signaling Costs in Mobile IP . 13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT).
- Arnold, T. L. (2008). IP address passing for VANETs. Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom) (pp. 70-79). IEEE.
- Balakrishnan, A. C. (2000). An End-to-End Approach to Host Mobility. Proc. 6th Int'l. Conf. Mobile Comp. and Net.
- Bechhofer, S. v.-S. (2004). OWL Web Ontology Language Reference. W3C Recommendation.
- Bob O'hara, A. P. (2004). IEEE 802.11 handbook a designer's companion. New York : IEEE .
- Buildroot. (2019). <https://buildroot.org/>.
- C. Techabanyat, a. W. (2007). Distributed Local Paging Scheme for Mobility Management in Mobile IP. Proceedings APCC , 265-269.
- Cervantes-Bazán, A. D. (2019). Artificial intelligence techniques In handover decision : a brief review. Revista Ingeniantes, 78-83.
- Chen, W. G. (2017). Fuzzy multiple attribute decision access scheme in heterogeneous wireless network. Multimedia Tools and Applications, 76(19), 20049-20065.
- Chen., J. L. (1990). Blind deconvolution via sequential imputation . American Statistical Association, 567-76.

- Chung-Sheng Li, Y.-C. T.-C.-M. (2008). A neighbor caching mechanism for handoff in IEEE 802.11 wireless networks. 13. *Chung-Sheng Li , Yung-Chih Tseng, Han-Chieh Chao, Yueh-Min Huang “ A neighbor caching mechanismThe Journal of Supercomputing, 45(1).*
- Chung-Wei Wang, L.-C. W. (2010). Modeling and Analysis for Reactive-Decision Spectrum Handoff in Cognitive Radio Networks. *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM).*
- Connolly, C. H.-S. (2001). *DAML+OIL Reference description.*
- Cuevas, A. a. (2005). Improving the Search for the Most Similar Concept in other Ontology. *In proc. XVIII Congreso Nacional y IV Congreso Internacional de Informática y Computación. Torreón Coah. México. .*
- Cuevas, A. D. (2006). *Union de ontologías usando propiedades semanticas . Mexico : Doctoral dissertation, PhD thesis, IPN .*
- D. Johnson, C. P. (2004). RFC 3775 -Mobility Support in, IPv6. *IETF Networking Group.*
- D. Lee, G. H. (2002). Performance enhancement of Mobile IP by educing out-of-sequence packets using priority scheduling. *IEICE Transaction Communication.*
- Digital, A. d. (2019). *Elogia.* Obtenido de <https://elogia.net>
- Droms, R. (1997). DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol, RFC 2131 . *IETF.*
- ENTIC. (2016). *Encuesta sobre Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.* [En línea]. Disponible: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/encuestas/establecimientos/otras/entic/presentacion.aspx>. [Último acceso: 7 Julio 2017].
- FreeBSD, S. o. (2019). Obtenido de <https://www.freebsd.org/>

- Giorgos Karopoulos, G. K. (2007). Survey of secure handoff optimization schemes for multimedia services over all-ip wireless heterogeneous networks. *IEEE Communications surveys*, 9(3).
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge acquisition*, 5(2), 199-220.
- Guo, J. J. (2011). A novel spectrum handoff management scheme based on SVM in cognitive radio networks. *Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)* (págs. pp. 645-649). China: IEEE.
- IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee. (1997). Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. *IEEE Standard 802.11*.
- IETF. (1999). Part. 11: wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical Layer (PHY) specifications. *IEEE Std. 802.11*.
- Isassi, J. A. (2015). Cambio climático y ecosistemas digitales: Las narrativas transmedia como nuevas prácticas comunicativas. *Razón y palabra*. (91), 35-23.
- Jaidhar, H. F. (2015). Location prediction of vehicle Using A Kalman Filter. *wirel, Pers. Commun.* 80, 543-559.
- Johnson, D. P. (2004). Support in IPv6, RFC 3775.
- Julier, S. J., & Uhlmann, J. K. (1992). New extension of the Kalman filter to nonlinear system. *Signal Processing, Sensor Fusion and Target Recognition VI*, 182.
- Julier, S., & Uhlmann, J. K. (2004). Unscented Filtering and Nonlinear Estimation. *Proc. of the IEEE*, 401-422.
- K. Hong, H. J. (2007). Cost-Effective IP Paging for Wireless Internet. *Proceedings IEEE Globecom* .

- Kalman, R. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Trans. of the ASME Journal of Basic Engineering*, 82, 3545.
- Kapoor, S. G. (2017). A base station selection scheme for handover in a mobility-aware ultra-dense small cell urban vehicular environment. *In 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 1-5.
- Khan, M. D. (2017). 1. Khan, Enabling multimedia aware vertical handover Management in Internet of Things based heterogeneous wireless networks. *Multimedia Tools and applications*, 1-23.
- Kitagawa, G. (1996). Monte Carlo filter and smoother for non-Gaussian non-linear state space models. *J. Comput. Graph Statist.*, 125.
- Kustiawan, I. L. (2017). Vertical Handoff Decision Using Fuzzification and Combinatorial Fusion. *IEEE Communications Letters*.
- Kwak, J. A. (2012). *Washington, DC: U.S. Patent and Trade-mark Office. Patente nº 8,116,692.* .
- Li, C. S., Tseng, Y. C., & Chao, H. C. (2007). A neighbor caching mechanism for handoff in IEEE 802.11 wireless networks. *In Multimedia and Ubiquitous Engineering, MUE'07. International Conference IEEE*, 48-55.
- Liao, Y., & Gao, L. (2006). Practical schemes for smooth MAC layer handoff in 802.11 wireless networks. *In Proceedings of the 2006 International Symposium on on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, 181-190.
- LIVE555. (2019). Obtenido de [www.live555.com/mediaServer/](http://www.live555.com/mediaServer/)
- M. Handley, H. S. (1999). SIP: Session Initiation Protocol RFC 2543. *IETF*.

- M. Kassar, B. K. (2008). An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, 31, 2607-2620.
- Mahira, A. G., & Subhedar, M. S. (2017). Handover Decision in Wireless Heterogeneous Networks Based on Feedforward Artificial Neural Network. *In Computational Intelligence in Data Mining, Springer, Singapore*, 663-669.
- Majlesi, A. &. (2002). An adaptive fuzzy logic based handoff algorithm for interworking between WLANs and mobile networks. *In The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (Vol. 5, pp. 2.*
- Malki, K. E. (2006). Low Latency Handoffs in Mobile IPv4. *Internet Draft, Network Working Group.*
- Manola, F. M. (2004). *RDF Primer. W3C Recommendation.* .
- Mishra, A., Shin, M., & Arbaugh, W. (2003). An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 33(2), 93-102, 33, 93-102.
- Mohamed Alnas, I. A. (2009). A Survey of Handoff Performance in Mobile IP. 6. *Mohamed Alnas, Irfan Awan, R Holton , "A SurThird UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation .*
- Mohamed Alnas, I. A. (2009). Handoff Mechanism in Mobile IP. *In Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, CyberC'09. International Conference on (pp. 176-179). IEEE.*
- N. Kohl and R. Miikkulainen. (2009). Evolving neural networks for strategic decision-making problems. *Neural Networks*, 22(3), 326-337.
- N. Nasser, S. Guizani, and E. Al-Masri. (2007). Middleware vertical handoff manager: A neural network-based solution. *in IEEE International Conference on Communications.*, 5671-5676.

- Nilanjan Banerjee, e. a. (2003). Mobility Support In Wireless Internet . *Wireless Communications, IEEE, 10*, 54-61.
- O'Neill, J. E. (1995). The Role of ARPA in the Development of the ARPANET. *IEEE Annals of the History of Computing, 17(4)*, 76-81.
- OpenRTSP. (2019). Obtenido de [www.live555.com/openRTSP/](http://www.live555.com/openRTSP/)
- Patwardhan, V. B. (2011). Identification of process and measurement noise covariance for state and parameter estimation using extended Kalman filter. *Journal of Process Control, 21(4)*.
- player, V. m. (2019). Obtenido de <https://www.videolan.org/>
- QuickTime, M. p. (2019). Obtenido de <https://support.apple.com/kb/DL837>
- Ramanathan, B. H. (2004). A Network-Layer Soft Handoff Approach for Mobile Wireless IP-Based Systems. *IEEE journal, 22(4)*.
- Rizzo, L. (1997). Dummynet: a simple approach to the evaluation of network protocols. . *ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 27(1)*., 31-41.
- Robert Hsieh, Z. G. (2003). S-MIP: A Seamless Handoff Architecture for Mobile IP . *INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications, 3*.
- Rosenberg, J. S. (2002). SIP: session initiation protocol (No. RFC 3261).
- Roy, N. S. (2011). Novel framework for proactive handover with seamless multimedia over wlans. *Communcations IETF, 5(9)*, 1204-1212.
- Ryan W. Thomas, D. H. (2006). Cognitive Networks: Adaptation and Learning to Achieve. *IEEE Communications Magazine, Volume 44, Issue 12*, 51-57.
- Ryden, H. B. (2018). Predicting Strongest Cell on Secondary Carrier using Primary Carrier Data. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*



*Workshops (WCNCW): 7th International Workshop on Self-Organizing Networks*, 137-142.

- S. Lee, K. S. (2009). Vertical handoff decision algorithms for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks. *IEEE Trans. Veh. Technol*, 58(2), 865-881.
- Saini, Y. K. (2015). Analysis of Vertical Handover Based on RSS and QOS Parameter. *Networking and Communication Engineering*, 7, 298-292.
- Sarikaya, T. O. (2004). Fast IPv4/IPv6 Address Acquisition in Wireless LANs. 15. *Timucin Ozugur and Behcet Sarikaya, «Consumer Communications and Networking Conference*.
- Savage, I. R. (2005). SyncScan: Practical fast handoff for 802.11 infrastructure networks. *INFOCOM*, 1, 684.
- Saxena, N. &. (2011). Novel framework for proactive handover with seamless multimedia over WLANs.
- Seneviratne, R. H. (2002). Performance analysis on Hierarchical Mobile IPv6 with Fast-handoff over TCP. *Proceedings of GLOBECOM*.
- Song, Y. a. (2010). Common Hopping Based Proactive Spectrum Handoff in Cognitive Radio Ad Hoc Networks. *IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM*.
- Sun, C. S.-N. (2008). A constrained MDP-based vertical handoff decision algorithm for 4G wireless networks. *ICC'08. IEEE International Conference* , 2169-2174.
- Svahn, C. S. (2019). Inter-frequency radio signal quality prediction for handover, evaluated in 3GPP LTE. *In 2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)*, 1-5.

- Vanni, R. M. (2006). DOHand: An ontology to support building services to exploit handover information in mobile heterogeneous networks. *In Proceedings of 5th International Information and Telecommunication Technology*, 1, 105-112.
- Voutilainen, L. a. (1997). Developing a hybrid NP parser. *In Proceeding The 5th Conference on Applied Natural Language Processing, ANLP, pages 80-87, Washington DC.*
- Xia, L. J. (2007). A novel fuzzy logic vertical handoff algorithm with aid of differential prediction and pre-decision method. *IEEE international conference on communications (pp. 5665-5670). IEEE.*
- Xie, J. (2006). User Independent Paging Scheme for Mobile IP. *Wireless Networks*, 2, 145-158.
- Y. Bi, P. I. (2004). An Integrated IP-layer Handover Solution for Next Generation IP-based Wireless Network. 28. Y. Bi, P. Iyer, "An Integrated IP-layer Handover SoIEEE Vehicular Technology Conference VTC2004-Fall, 6, 3950-3954.
- Y. Chen, M. C. (2008). DeuceScan: Deuce-Based Fast Handoff Scheme in IEEE 802.11 Wireless Networks. 20. Y. Chen, M. Chuang and C. Chen, "DeuceScan: Deuce-Based FastIEEE Transactions on Vehicular Technology, 57, 1147.
- Yan, L. D. (2019). Machine Learning-Based Handovers for Sub-6 GHz and mmWave Integrated Vehicular Networks. *EEE Transactions on Wireless Communications,, 4873-4885.*
- Yang, J. D. (2017). A scheme of terminal mobility prediction of ultra dense network based on SVM. *IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis (ICBDA)*, 837-842.

- Yi, S. a. (2010). Jiang. Proactive Spectrum Handoff in Cognitive Radio Ad Hoc Networks Based on Common Hopping Coordination. *INFOCOM IEEE Conference on Computer Communications Workshops* .
- Yong Liao, L. G. (2006). Practical Schemes for Smooth MAC Layer Handoff in 802.11 Wireless Networks. *Proceedings of the 2006 international Symposium on a World of Wireless*.
- Yu, H. N. (2015). An Algorithm of Regression Prediction for RSS Based on SVM with Granulating Information. *In Electrical and Control Engineering & Materials Science and Manufacturing: The Proceedings of Joint Conferences of the 6th (ICECE2015) and the 4th (ICMSM2015)*, 362-370.
- Zhu, J. M. (2004). Vertical handoffs in fourth-generation multinet network environments. *IEEE Wireless Communications*, 11(3), 8-15.

Publicación de artículo “Artificial intelligence techniques in handover decision: a brief review”, se publicó en la revista ingeniantes en el año 2019. Se muestra la portada de la revista.



Figura A.1.1 Portada de la revista

# Ingeniantes

Año 6 / No. 1 / Vol. 1

## Información Legal

**Ingeniantes**, año 6, No. 1 Vol 1. noviembre 2018 - mayo 2019, es una publicación semestral editada y publicada por el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Km. 18 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, teléfono 01 (235) 323 60 18, página web [citt.itsm.edu.mx](http://citt.itsm.edu.mx). Editor responsable: M.II Erika Adrienne Bandala Martínez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-062512501200-203, ISSN 2395-9452, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación & Transferencia de Tecnología del ITSM, M.II. Erika Adrienne Bandala Martínez, Km. 18 carretera a Loma del Cojolite, Col. Centro, Misantla, Veracruz. México, C.P. 93821, fecha de última modificación, 21 de junio de 2019.

Actualmente indexada en la base de datos del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal LATINDEX, con número de registro 25671.

Se autoriza cualquier reproducción parcial de los contenidos o imágenes de la publicación siempre y cuando sea sin fines de lucro y para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente dando los créditos a los autores del artículo.

El contenido de los artículos publicados es responsabilidad de los autores y no representa el punto de vista del editor de la revista Ingeniantes.

The logo for LATINDEX features the word "latindex" in a lowercase, serif font. The letters "l", "a", "t", "i", "n", "d", "e", and "x" are in a dark red color. The letter "i" is white with a red dot above it. The letter "n" is white with a red dot above it. The letter "d" is white with a red dot above it. The letter "e" is white with a red dot above it. The letter "x" is white with a red dot above it.

mayo 2019

Figura A.1.2 Información Legal de la revista ingeniantes.



58



64



72



78



85



93

Evaluación de Puntos Críticos Aplicado al Proceso de Empaque de Lima Persa. \_\_\_\_\_ 58  
 Rosalía Aguirre Solano; Priscila González Rosales. Tecnológico Superiores de Misantla

Vehículos impulsados con residuos: un análisis del gas natural renovable como estrategia climática en México \_\_\_\_\_ 64  
 Edgar Roberto Sandoval García. Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli

Sistema electrónico de análisis de posicionamiento y monitoreo en pasajeros en el transporte público mediante GPS \_\_\_\_\_ 72  
 Dulce María León De la O; Víctor Manuel Arias Peregrino; Arcely Aquino Ruiz; Carlos Raúl Muñoz Rodríguez. Instituto Tecnológico de Villahermosa

Artificial intelligence techniques in handover decision: a brief review \_\_\_\_\_ 78  
 Josué Vicente Cervantes Bazán. Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca / UAEM; Alma Delia Cuevas Rasgado, Saúl Lazcano Salas, Farid García Lamont. Universidad Autónoma del Estado de México, Jesús Cerquides Bueno, Universidad Autónoma de Barcelona

Cuantificación y evaluación de la calidad de pectina extraída de cáscaras en tres variedades de mango (Mangifera indica L.) de la región mixteca baja poblana \_\_\_\_\_ 85  
 López-Aranda Erika; Pacheco-Contreras Víctor Inocencio; Escamilla-Ramírez Rosalinda; Romero-Cruz Anabel, Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio

Desarrollo y Teleoperación de un Robot Móvil para la navegación y asistencia en espacios cerrados \_\_\_\_\_ 93  
 Hernández-Paredes José Miguel; Escobedo-Cabello Jesús Arturo; Muñoz Barrón Benigno; Serna Hernández Luis Felipe. Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

## Índice de la revista ingeniantes

# Artificial intelligence techniques in handover decision: a brief review



## Colaboración

**Josué Vicente Cervantes Bazán**, Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca / UAEM; **Alma Delia Cuevas Rasgado**, **Saúl Lazzano Salas**, **Farid Garcia Lamont**, Universidad Autónoma del Estado de México, **Jesús Cerquides Bueno**, Universidad Autónoma de Barcelona

**ABSTRACT:** *In this paper we present an analysis of intelligent artificial techniques applied to handover decision. Besides, we do an analysis of handover process by OSI model and the solutions from application layer, network and link. Our contribution to the state of the art is update intelligent artificial techniques adding ontologies. Besides, this paper is an overview of the active research topics in Handover.*

**KEYWORDS:** *Handoff decision, ANN, Fuzzy logic, Ontology, Intelligent artificial*

## INTRODUCCIÓN

The conception of the Internet was born from the Advanced Research Projects Agency (ARPA) in 1957, with the collaboration of Leonard Kleinrock et al, developed the ARPANET [1]. Afterwards, several researchers joined the development of the internet and it is conceived as a network of static networks. But, later with the evolution of the network of networks, wireless devices appear and with them the problem of mobility. That is, problems related with the physical change of the network and the problems inherent to the loss of continuity of services.

This work focuses on the investigation of mobility in IP networks, mainly in the handover procedure, its stages, protocols and applied techniques of artificial intelligence in decision making. That is why, an analysis is made from the perspective of each of the stages of the handover and it contributes to the classification of the proposals by the OSI model layer and the artificial intelligence techniques are updated in the decision making process.

Figura A.1.3 Primera página de artículo



**Artículo sometido** “Proactive Cross-Layer protocol based on classification techniques for handover decision on WLAN environments” a la revista AdHoc & Sensor Wirekess Networks.

**Proactive Cross-Layer protocol based on classification techniques for handover decision on WLAN environments**

**abbreviated title: handover decision CrossLayer**

Josue V. Cervantes-Bazán, Mechatronics Engineering, Universidad Autónoma Chapingo, highway México-Texcoco Km 38.5, Texcoco, 56230, Mexico.

[jcervantesba@chapingo.mx](mailto:jcervantesba@chapingo.mx)

Alma D. Cuevas-Rasgado, Computer Engineering, Universidad Autónoma del Estado de México CU Texcoco, Jardín Zumpango Str , 56259, Mexico.

[adcuevasr@uaemex.mx](mailto:adcuevasr@uaemex.mx)

Luis M. Rojas-Cárdenas, Electronic Engineering, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, San Rafael Atlixco Str, 186, Iztapalapa, 09340 Ciudad de México, CDMX.

[lmrc@xanum.uam.mx](mailto:lmrc@xanum.uam.mx)

Saul Lazano-Salas, Computer Engineering, Universidad Autónoma del Estado de México CU Valle de México, University Boulevard, 56500, Mexico.

[slazcanos@uaemex.mx](mailto:slazcanos@uaemex.mx)

Farid García-Lamont, Computer Engineering, Universidad Autónoma del Estado de México CU Texcoco, Jardín Zumpango Str , 56259, Mexico.

[fglamont@uaemex.mx](mailto:fglamont@uaemex.mx)

**Keywords:** Cross-layer, Handover, handoff decisión, naive bayes, logistic regression, decision tree, K-nearest neighbors , Support Vector Machine.

**ABSTRACT**

This article proposes a new approach to forecast a possible future network to be connected through a mobile node in WLAN environments. This decision-making system uses past, present and future data to anticipate the network change (handover) based on a naive Bayesian classifier, reaching up to 92.86% accuracy in

1

Figura A.2.1. Primera página de artículo.

## A.2.1 Evidencia de artículo sometido

El artículo fue enviado a la revista AdHoc & Sensor Wirekess Networks el día 18 de noviembre 2020. Se muestra la evidencia de correo electrónico en la siguiente imagen.

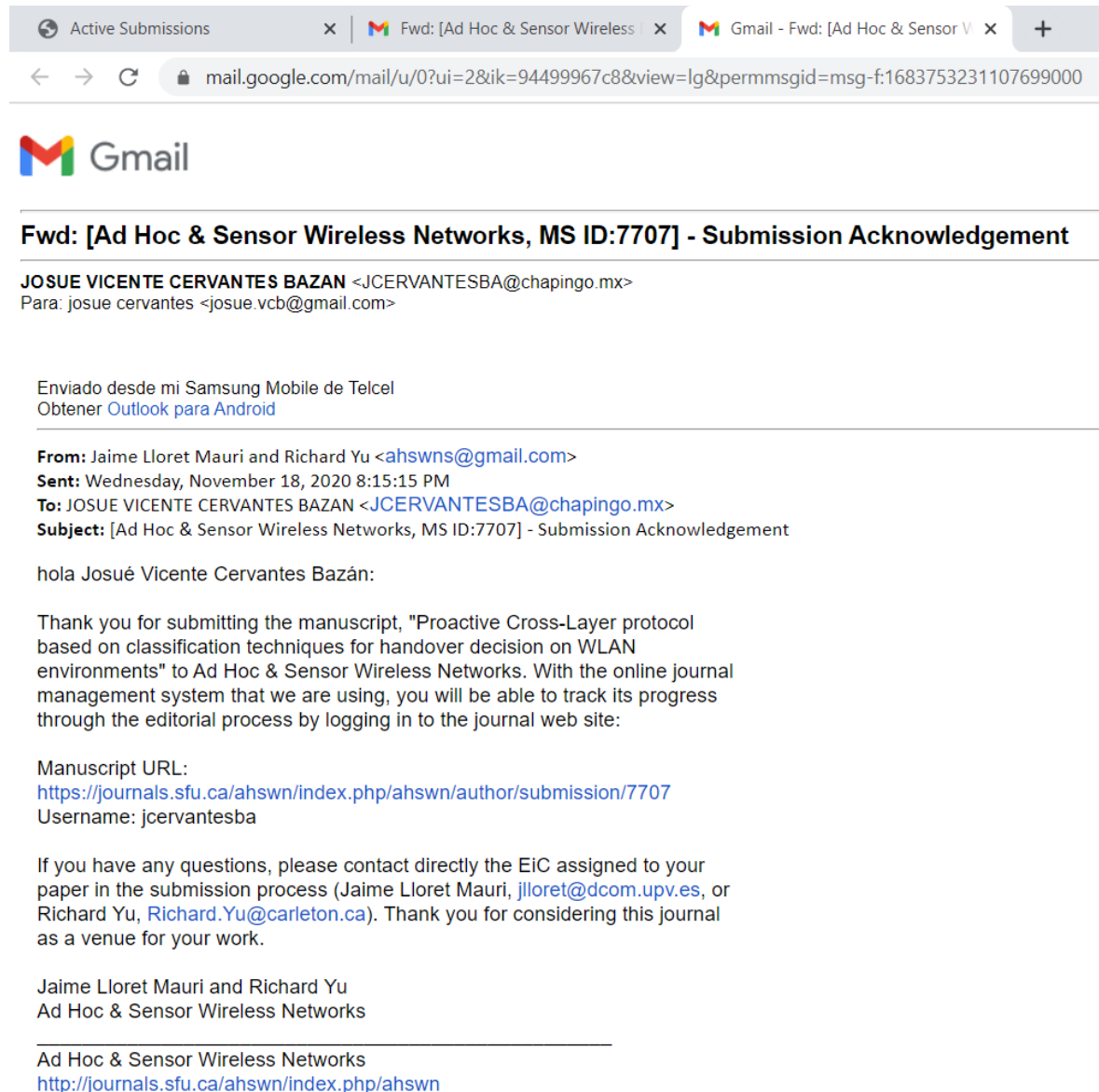


Figura A.2.2. Correo de acuse de recibido.

Además, se añade captura de pantalla de la plataforma con el estatus del artículo en revisión.

The screenshot shows the 'Active Submissions' page for the journal 'Ad Hoc & Sensor Wireless Networks'. The page features a navigation bar with 'EDITORIAL HOME', 'USER HOME', and 'ANNOUNCEMENTS'. Below the navigation bar, there is a breadcrumb trail: 'Home > User > Author > Active Submissions'. The main content area is titled 'Active Submissions' and includes a table with the following data:

ID	MM-DD SUBMIT	SEC	AUTHORS	TITLE	STATUS
7707	11-18	AIB in WSN	Cervantes Bazán, Cuevas Rasgado,...	PROACTIVE CROSS-LAYER PROTOCOL BASED ON CLASSIFICATION...	IN REVIEW

Below the table, there is a link to 'Start a New Submission' and a section for 'Refeedbacks'. The 'Refeedbacks' section includes a table with columns for 'DATE ADDED', 'HITS', 'URL', 'ARTICLE', 'TITLE', 'STATUS', and 'ACTION'. The table is currently empty, with the message 'There are currently no refeedbacks.' displayed below it.

Figura A.2.3. Plataforma de envío de revista.

Journals in the JCR with a Journal Impact Factor

Full Title	Abbreviated Title	Country/Region	SCIE	SSCI
AD HOC & SENSOR WIRELESS NETWORKS	AD HOC SENS WIREL NE	UNITED STATES	✓	
AD HOC NETWORKS	AD HOC NETW	NETHERLANDS	✓	
ADANSONIA	ADANSONIA	FRANCE	✓	
ADAPTED PHYSICAL ACTIVITY QUARTERLY	ADAPT PHYS ACT Q	UNITED STATES	✓	
ADAPTIVE BEHAVIOR	ADAPT BEHAV	ENGLAND	✓	✓
ADDICTION	ADDICTION	ENGLAND	✓	✓
ADDICTION BIOLOGY	ADDICT BIOL	ENGLAND	✓	
ADDICTION RESEARCH & THEORY	ADDICT RES THEORY	ENGLAND		✓
ADDICTIVE BEHAVIORS	ADDICT BEHAV	ENGLAND	✓	✓
ADDITIVE MANUFACTURING	ADDIT MANUF	NETHERLANDS	✓	
ADICCIONES	ADICCIONES	SPAIN	✓	✓
ADIPOCYTE	ADIPOCYTE	UNITED STATES	✓	
ADMINISTRATION & SOCIETY	ADMIN SOC	UNITED STATES		✓

Figura A.2.4 Lista de revistas indexadas en JCR.

La Fiugra A.2.4 ha sido obtenida de 2019 Journal Citation Reports Full journal list, disponible en línea : [https://clarivate.com/webofsciencegroup/wp-content/uploads/sites/2/dlm\\_uploads/2019/08/JCR\\_Full\\_Journal\\_list140619.pdf](https://clarivate.com/webofsciencegroup/wp-content/uploads/sites/2/dlm_uploads/2019/08/JCR_Full_Journal_list140619.pdf) , última consulta 27 de noviembre 2020.