

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY**
CAMPUS CUERNAVACA



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

TESIS

Simulación de un algoritmo de handoff heterogéneo

Presentada por

VICTOR MANUEL CHI PECH

Asesor

FRANCISCO ALEJANDRO GONZÁLEZ HORTA, MCC

Sometida al Programa de Graduados en Informática y Computación en
cumplimiento parcial con los requerimientos para obtener el grado de
Maestro en:

CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Cuernavaca, Morelos

febrero, 2007

Simulación de un algoritmo de handoff heterogéneo

Presentada por:
Victor Manuel Chi Pech

Aprobada por:

MC. Francisco Alejandro González Horta
Profesor Investigador,
ITESM Campus Cuernavaca
Asesor de Tesis

Dr. Jesús Arturo Pérez Díaz
Profesor Investigador,
ITESM Campus Cuernavaca
Sinodal

MC. Carlos Felipe García Hernández
Investigador,
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Sinodal

Agradecimientos

Deseo expresar mi gratitud a:

Dios, por permanecer siempre a mi lado, por darme fuerzas en los momentos de flaqueza e impulsarme para concluir con éxito esta etapa de mi vida.

Mis padres, Moisés y María Yolanda, por su cariño y apoyo que siempre me han brindado. Los amo.

Mis herman@s: Elsy, Yolanda, Marina, Francisco y María José por confiar en mí y por el amor que siempre hemos compartido.

Mis amigos de siempre: Antonio Yam Sosa, Manuel Escalante Torres, Pedro Alamilla Morejón, Arturo Rios Sosa, Fernando Curi Quintal, Israel Chacón Ortiz, Luis Colorado, Alejandro Cobá, Irasema Romero Baquedano, Juanita Rodríguez Pech, Teresita Montañez May, Nicté Ha Jiménez, Claudia Chalé Maas, Cinhtia González Segura, Guadalupe May Ayuso, Erika Llanes Castro, Neila Casanova, por sus consejos, palabras de aliento para seguir adelante y por su amistad desinteresada.

Mis amigos de la maestría: Israel Galván Bobadilla, Haziyade Cruz Ángel, Lizzie Narváez Díaz, Roberto Domínguez Estrada y Miguel Ángel Couch Novelo por los momentos de estudio que pasamos juntos y compartir conmigo sus conocimientos; a Michel García y Adriana Cárdenas por los momentos gratos compartidos.

Antonio Vicente Yam Sosa por estar pendiente de mis padres durante el tiempo que cursé la maestría. Gracias hermano, por velar que nada les faltara.

Las **familias** Galván Bobadilla y Galván Bojorquez por brindarme su hospitalidad en todo momento. Nuestra amistad seguirá por siempre, a pesar de la distancia.

Mi **asesor**, MC. Francisco González H. y a mis **sinodales**, Dr. Arturo Pérez D. y MC. Carlos Felipe García H., por el tiempo invertido en la lectura de este trabajo, por sus comentarios para mejorar el mismo y por sus estímulos para seguir creciendo intelectualmente.

RESUMEN

El objetivo principal de esta tesis es diseñar y desarrollar un simulador de handoffs heterogéneos que permita evaluar el desempeño de un algoritmo de decisiones de handoff que haga uso de una variedad de tecnologías de red.

Antes de tomar la decisión de desarrollar un nuevo simulador, se realizó un análisis de algunos simuladores de redes utilizados frecuentemente en el diseño de sistemas móviles, tales como: NS-2, GloMoSim y OPNET. Como resultado de dicho análisis se llegó a la conclusión de que es necesario diseñar y desarrollar un simulador propio que permita evaluar nuevos algoritmos de decisiones de handoff verticales, que hagan uso de una variedad de tecnologías de red, mediante una interfaz gráfica y amigable.

En este trabajo, se describe el proceso de especificación, diseño e implementación del simulador. Dicho simulador se probó con el algoritmo de decisiones de handoff basado en deseabilidades relativas (denominado ARDE), por lo cual fue necesario estudiar este algoritmo.

CONTENIDO

Resumen	i
Índice de contenido	ii
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	vi
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Objetivo general	3
1.3.1 Objetivos particulares	3
1.4 Alcances y limitaciones	3
1.5 Metodología de desarrollo	4
1.6 Estructura de la tesis	5
Capítulo 2. TECNOLOGÍAS DE REDES INALÁMBRICAS Y HANDOFFS	7
2.1 Conceptos de redes celulares	7
2.2 Redes inalámbricas	9
2.2.1 WPAN	9
2.2.2 WLAN	10
2.2.3 WMAN	11
2.2.4 WWAN	12
2.3 Conceptos básicos del handoff	12
2.4 Descripción del proceso de handoff vertical	13
2.5 Descripción del algoritmo de decisiones de handoff basado en deseabilidades relativas (ARDE)	14
2.6 Descripción de simuladores.....	18
Capítulo 3. ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL SIMULADOR	22
3.1 Arquitectura del simulador VHAND	22
3.2 Requerimientos del simulador VHAND	24
3.3 Diseño del simulador VHAND	26
3.3.1 Diseño del MÓDULO 1 (Diseñar Topología)	26
3.3.2 Diseño del MÓDULO 2 (Definir Trayectoria)	33
3.3.3 Diseño del MÓDULO 3 (Cargar Parámetros de Inicialización)	36
3.3.4 Diseño del MÓDULO 4 (Ejecutar Simulación)	42
3.3.5 Diseño del MÓDULO 5 (Ver Resultados)	42
3.3.6 Diseño del MÓDULO 6 (Detectar Redes Alcanzables)	43
3.4 Implementación del Algoritmo de Decisión	44
3.4.1 Implementación del Módulo Criterios de Handoff	44
3.4.2 Implementación del Módulo Políticas de Handoff	46
3.5 Información guardada en la unidad de almacenamiento temporal	49

Capítulo 4. PRUEBAS Y RESULTADOS	50
4.1 Hardware y software para realizar las pruebas al simulador	50
4.2 Definición de escenarios de prueba	50
4.2.1 Escenario A: prueba de decisiones correctas	50
4.2.2 Escenario B: prueba de decisiones oportunas	52
4.3 Construcción de los escenarios de prueba	54
4.3.1 MÓDULO 1. Diseñar la topología de red	54
4.3.2 MÓDULO 2. Definir la trayectoria del nodo móvil	55
4.3.3 MÓDULO 3. Cargar los parámetros de inicialización	56
4.4 Análisis y resultados de la simulación obtenidos del “Escenario A: prueba de decisiones correctas”	57
4.4.1 Introducción	57
4.4.2 Metodología de análisis	58
4.4.3 Resultados del análisis	59
4.4.4 Conclusión	62
4.5 Análisis y resultados de la simulación obtenidos del “Escenario B: prueba de decisiones oportunas”	62
4.5.1 Introducción	62
4.5.2 Metodología de análisis	63
4.5.3 Resultados del análisis	64
4.5.4 Conclusión	68
Capítulo 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	69
5.1 Conclusiones	69
5.1.1 Introducción	69
5.1.2 Características de VHAND	70
5.1.3. Implementación y análisis de ARDE	71
5.1.4 Contribución	71
5.2 Trabajo futuro	71
REFERENCIAS	73
ABREVIATURAS	77
ANEXO A. Cálculo del radio de cobertura para las picocélulas, microcélulas y macrocélulas	78
ANEXO B. Descripción de los casos de uso del simulador VHAND	80
ANEXO C. Cálculo de los criterios y políticas de handoff usados en el simulador VHAND	91
ANEXO D. Código de los módulos para obtener la mejor red y el momento oportuno para ejecutar el handoff	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Número de figura	Título	Página
2-1	Célula usando un transmisor-receptor omnidireccional	7
2-2	Células representadas de manera circular y hexagonal	8
2-3	Subdivisión celular dentro de una red	8
2-4	Redes inalámbricas heterogéneas sobrepuestas	9
2-5	Fases del proceso de handoff vertical	13
2-6	Valores de entrada para el algoritmo de decisión	14
2-7	Parámetros de control del algoritmo de decisiones	15
2-8	Diagrama de flujo del algoritmo de deseabilidad relativa	17
3-1	Arquitectura del simulador VHAND.....	23
3-2	Diagrama de casos de uso del Módulo 1 - Diseñar Topología	27
3-3	Estructura de los Documentos de Inicialización de Valores de Célula	29
3-4	Uso de un DIVC para una picocélula	29
3-5	Interfaz del simulador VHAND para dibujar células	30
3-6	Menú contextual y ventanas para modificar información de las células	31
3-7	Menú contextual y ventana para modificar el peso asignado a los criterios de handoff	32
3-8	Menú contextual para eliminar células	32
3-9	Diagrama de casos de uso del Módulo 2 - Definir Trayectoria	33
3-10	Estructura del Documento de Inicialización de Valores del Segmento	34
3-11	Uso de un Documento de Inicialización de Valores del Segmento ...	34
3-12	Interfaz del simulador VHAND para dibujar la trayectoria del nodo móvil	35
3-13	Menú contextual y ventana para modificar información de un segmento	36
3-14	Menú contextual para eliminar la trayectoria del nodo móvil	36
3-15	Diagrama de casos de uso del Módulo 3 – Cargar Parámetros de Inicialización	37
3-16	Estructura del Documento de Inicialización de Valores de Carga de Parámetros	38
3-17	Uso del Documento de Inicialización de Valores de Carga de Parámetros para los costos de conexión de las tecnologías usadas en el simulador	38
3-18	Uso del Documento de Inicialización de Valores de Carga de Parámetros para los parámetros de control de handoff	39
3-19	Interfaz del simulador VHAND para capturar la carga de los parámetros de inicialización	40
3-20	Ventana para capturar la carga inicial de la batería del nodo móvil .	40
3-21	Ventana para capturar los costos de conexión de las tecnologías usadas en el simulador	41
3-22	Ventana para capturar el valor de los parámetros de control de handoff	41
3-23	Diagrama de casos de uso del Módulo 4 – Ejecutar Simulación	42

3-24	Interfaz del simulador VHAND para iniciar la ejecución de la simulación	42
3-25	Diagrama de casos de uso del Módulo 5 – Ver Resultados	43
3-26	Interfaz del simulador VHAND para observar los resultados de la simulación	43
3-27	Diagrama de flujo del Módulo 5 - Detectar Redes Alcanzables	44
3-28	Diagrama de flujo del Módulo Criterios de handoff	46
3-29	Diagrama de flujo del Módulo Políticas de handoff	48
4-1	Diseño del escenario para la prueba 1	51
4-2	Diseño del escenario para la prueba 2	53
4-3	Momentos críticos detectados para la prueba 1	58
4-4	Variaciones de deseabilidad de las redes “gprs”, “11 g1” y “bt 1”	59
4-5	Variaciones de deseabilidad de las redes “gprs” y “11 b1”	60
4-6	Momentos críticos detectados para la prueba 2	62
C-1	Duración de visita del nodo móvil a través de una célula	102
C-2	Ángulo de inclinación para las macrocélulas, microcélulas y picocélulas	104

ÍNDICE DE TABLAS

Número de tabla	Título	Página
2-1	Velocidades teóricas de tecnologías 802.11a, 802.11b y 802.11g con respecto a la distancia	11
3-1	Modelo de datos asociado al Módulo 1 – Diseñar Topología ..	27
3-2	Modelo de datos asociado al Módulo 2 – Definir Trayectoria ..	33
4-1	Datos de las células que forman la topología de red para la prueba 1	51
4-2	Peso asignado al criterio de handoff de cada célula, para la prueba 1	51
4-3	Datos de los segmentos que forman la trayectoria del nodo móvil para la prueba 1	52
4-4	Valor de los parámetros de control usados para la prueba 1 ..	52
4-5	Datos de las células que forman la topología de red para la prueba 2	53
4-6	Datos de los segmentos que forman la trayectoria del nodo móvil para la prueba 2	54
4-7	Valor de los parámetros de control usados para la prueba 2 ..	54
4-8	Valores requeridos para decidir si se ejecuta el handoff en $t=3$	64
4-9	Conclusiones del DEH: handoff de gprs a 11 g1	65
4-10	Valores requeridos para decidir si se ejecuta el handoff en $t=26$	66
4-11	Conclusiones del DEH: handoff de gprs a bt 1	66
C-1	Criterios a considerar para el valor del BER	96
C-2	Ancho de banda de las tecnologías de acceso inalámbrico ...	97
C-3	Ancho de banda total de un punto de acceso 802.11a	98
C-4	Ancho de banda total de un punto de acceso 802.11g	98
C-5	Ancho de banda total de un punto de acceso 802.11b	99
C-6	Ancho de banda total de la tecnología GSM	99
C-7	Ancho de banda total de la tecnología GPRS	99
C-8	Ancho de banda total de la tecnología WIMAX	99
C-9	Ancho de banda total de la tecnología CDMA 2000 y UMTS ..	100
C-10	Criterios a considerar para la carga de la batería del nodo móvil	103

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como finalidad dar a conocer los antecedentes, el problema que se resolverá en esta tesis, el objetivo general y objetivos particulares del mismo, así como el alcance del trabajo a desarrollar. De igual forma, se presenta la metodología para desarrollar la tesis y un breve resumen de los capítulos incluidos en la misma.

1.1 Antecedentes

Tras el éxito de Internet, el mundo tecnológico se ha caracterizado por el gigantesco auge de los servicios móviles de cualquier tipo. Actualmente los usuarios demandan seguir conectados mientras se desplazan libremente y sin necesidad de ningún cable. En torno a este principio, se ha venido trabajando en los últimos años en integrar una variedad de tecnologías inalámbricas heterogéneas que permitan al usuario visualizar una sola red inalámbrica homogénea, ocultando sus diferencias y haciendo invisible al usuario las transiciones o handoffs que cambian el punto de conexión de la terminal móvil de una tecnología inalámbrica a otra.

Considerando que las redes inalámbricas de cuarta generación (4G) estarán formadas por una variedad de tecnologías heterogéneas sobrepuestas integradas, surge la necesidad de contar con eficientes algoritmos de handoff y algoritmos de decisiones de handoff que decidan al menos de forma correcta y oportuna *a dónde* y *cuándo* ejecutar un handoff.

Varios algoritmos de decisiones de handoff vertical han sido propuestos en la literatura, sin embargo, el diseño de algoritmos de decisiones de handoff todavía se considera un problema abierto porque aún no se han optimizado para tomar decisiones correctas, oportunas, confiables, robustas, seguras, etc. [Gonz05]. Otro inconveniente que han presentado los artículos que han propuesto algoritmos de decisiones de handoff es que los simuladores de red actuales (NS-2, GloMoSim, OPNET, etc.) no están todavía preparados para poder probar los algoritmos de decisiones en escenarios heterogéneos complejos donde se involucre la superposición de una variedad de tecnologías inalámbricas. La mayoría de dichos artículos se han ajustado a las limitaciones del simulador y sólo prueban su algoritmo con escenarios muy simples, considerando únicamente transiciones entre dos tecnologías, una WLAN (red de área local inalámbrica) y una WWAN (red de área amplia inalámbrica).

En esta tesis se plantea el diseño y desarrollo de un simulador de handoffs verticales (VHAND) enfocado a ejecutar algoritmos de decisiones de handoff en escenarios con una diversidad de tecnologías inalámbricas. En particular, este simulador será utilizado para evaluar, analizar y mejorar el desempeño del algoritmo de decisiones de handoff llamado ARDE (Algorithm of Relative DEsirability) propuesto en la tesis doctoral de Francisco González [Gonz06]. En la sección alcances y limitaciones de este capítulo, y en el capítulo tres de este trabajo se explican las características del simulador.

1.2 Planteamiento del problema

En diferentes artículos de investigación relacionados con el tema del handoff vertical [Zhu04][Zhan05][Sale04], se presenta una variedad de algoritmos de handoff, sin embargo, una vez planteado el algoritmo surge el problema respecto a cómo validarlo. Existen tres tipos de herramientas para la validación del algoritmo: métodos formales, pruebas de laboratorio y simulación.

La mayoría de los investigadores que trabajan con algoritmos de handoff hacen uso de la simulación para analizar su algoritmo propuesto. Sin embargo en sus artículos no mencionan el por qué del uso de la simulación.

Según [Bank99] la simulación es una metodología indispensable que ayuda en la solución de muchos problemas del mundo real y se utiliza para describir y analizar el comportamiento de un sistema, para responder a preguntas del tipo “¿qué pasa si ...?” y para ayudar en el diseño de sistemas reales.

De las tres herramientas para validar un algoritmo, se decidió usar en este trabajo la simulación debido a las ventajas que ésta ofrece respecto a las otras dos. Algunas de ellas son [Pegd95]:

- Una observación detallada del sistema que se está simulando puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- La simulación de sistemas complejos pueden ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y entender mejor las interrelaciones entre las variables.
- A través de un estudio de simulación se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos del sistema al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de estas alteraciones en el modelo y en el comportamiento del sistema.

El problema al que nos enfrentamos es que hay una necesidad de probar algoritmos de handoff en ambientes heterogéneos mediante la simulación, pero a pesar de que existen varios simuladores de redes que pueden simular un handoff vertical [Netw06][Yañe04][Opne06], éstos no soportan una diversidad de

tecnologías heterogéneas y sólo consideran la superposición de dos tecnologías inalámbricas diferentes. Esto da como resultado que los algoritmos de handoff se prueben con escenarios muy simplificados [Lail06][Rich06]. Recientemente, varios simuladores de redes como NS-2 y GloMoSim, están trabajando en construir escenarios con alta diversidad inalámbrica, pero por lo pronto estos módulos o no están disponibles al público o sólo están disponibles en la versión comercial del simulador [Nati05][Yañe04]. Otro problema que se presenta es que para el uso de algunos simuladores, el usuario requiere aprender y comprender inicialmente una serie de comandos en un lenguaje determinado para poder construir el escenario con el que se probará el algoritmo de handoff.

Por las razones descritas en el párrafo anterior, la solución que se plantea en esta tesis es el diseño y desarrollo de un simulador que haga uso de la superposición de una variedad de tecnologías inalámbricas que permita observar el proceso de handoff vertical. El simulador contará con una interfaz amigable para el usuario, de tal manera, que éste haga uso de herramientas gráficas para construir el escenario con el que se realizarán las pruebas al algoritmo de handoff. Por otra parte, el diseño del simulador será modular, de tal manera que en un futuro se puedan incorporar otros algoritmos para ejecutarlos en el simulador.

1.3 Objetivo general

El objetivo general de la presente tesis es diseñar y desarrollar un simulador de handoffs heterogéneos que provea información que permita evaluar el desempeño de un algoritmo de decisiones de handoff.

1.3.1 Objetivos particulares

- Determinar la información que va a proporcionar el simulador al usuario para facilitar el análisis del algoritmo y la evaluación del desempeño.
- Diseñar el simulador de forma que el algoritmo de decisiones pueda ser un módulo intercambiable e independiente del simulador.
- Probar el simulador con el algoritmo de decisiones ARDE.
- El simulador contará con una interfaz gráfica que permita visualizar la red a la cual está conectado el usuario, conforme éste se mueve siguiendo una trayectoria formada por segmentos de recta.

1.4 Alcances y limitaciones

En esta sección se mencionan las características que tendrá el simulador, de manera que delimite lo que realizará.

El alcance de este trabajo abarca lo siguiente:

- Las tecnologías inalámbricas que se usarán para las macrocélulas serán GSM (sistema global para las comunicaciones móviles), GPRS (servicio general de paquetes por radio), UMTS (sistema universal de telecomunicaciones móviles), CDMA 2000 (acceso múltiple por división del código 2000) y WIMAX (interoperabilidad mundial para acceso por microondas); para las microcélulas será 802.11 en sus estándares *a*, *b* y *g*; y para las picocélulas será Bluetooth con radio de clase dos.
- La topología de la red inalámbrica heterogénea propuesta será definida antes de iniciar la simulación. Una vez definida, ésta permanecerá fija durante la simulación. Se considerará para la topología un escenario exterior y libre de obstáculos.
- Para la definición de la topología, el usuario seleccionará el tipo de célula y tecnología a usar y proporcionará la potencia de transmisión de la estación base y la cantidad de usuarios conectados en cada célula.
- La trayectoria que seguirá el nodo móvil estará formado por segmentos de recta continuos. Cada segmento podrá tener una dirección diferente.
- La velocidad del usuario del nodo móvil estará clasificada como peatonal y vehicular con velocidades de hasta 4 km/hr (para la peatonal) y hasta 200 km/hr (para la vehicular). El usuario proporcionará la velocidad en cada segmento de recta.
- En cuanto al tipo de aplicación del nodo móvil, estará clasificado como sensible al retardo (incluye imagen y voz) y datos. Cada segmento de recta tendrá asignado un solo tipo de aplicación.
- El simulador no guarda los escenarios completos establecidos por el usuario. Por lo tanto, tampoco contiene el módulo para volverlos a cargar.
- Las fases del proceso de handoff vertical que serán contempladas en el simulador son la fase de inicio, decisión y ejecución [Gonz06]. Por lo tanto, la fase de evaluación queda fuera del alcance de esta tesis.

1.5 Metodología de desarrollo

La metodología para el desarrollo de la tesis es la siguiente:

- Investigar y estudiar los conceptos relacionados con handoff vertical.
- Investigar las características de las tecnologías de red WPAN (red de área personal inalámbrica), WLAN, WMAN (red de área metropolitana inalámbrica) y WWAN.
- Estudiar específicamente el algoritmo de decisiones de handoff ARDE.
- Investigar las características de los simuladores NS-2, GloMoSim y OPNET.
- Desarrollar el simulador (análisis, diseño, implementación y pruebas).
- Escribir los capítulos de la tesis.

1.6 Estructura de la tesis

Para describir los fundamentos teóricos del handoff vertical que rodean al problema propuesto, el proceso de desarrollo del simulador para el algoritmo ARDE, así como la implementación del simulador, esta tesis ha sido estructurada en cinco capítulos. A continuación se presenta un breve resumen de los capítulos incluidos en este trabajo titulado “Simulación de un algoritmo de handoff heterogéneo”.

Capítulo 1 Introducción: Proporciona una visión general del simulador a desarrollar, se plantea el problema a resolver, el objetivo general y los objetivos particulares del estudio, los alcances del trabajo, la metodología de desarrollo y la estructura del documento.

Capítulo 2 Tecnologías de redes inalámbricas y handoffs: Incluye una breve descripción de las tecnologías de redes inalámbricas celulares, proporciona las definiciones y conceptos básicos relacionados con el proceso de handoff vertical que sustentan el desarrollo del simulador y una descripción general del algoritmo de decisiones de handoff (ARDE) que se usará en el simulador. Por último, se incluye una breve descripción con las características de los simuladores NS-2, GloMoSim y OPNET.

Capítulo 3 Especificación y diseño del simulador: Se muestra el proceso de desarrollo del simulador a través de su fase de análisis y diseño. Se incluyen los requerimientos del simulador y la arquitectura del mismo.

Capítulo 4 Pruebas y resultados del simulador: Se describe el hardware empleado para implementar y probar el simulador. Se describen las pruebas realizadas al simulador, así como los resultados obtenidos en cada una de ellas.

Capítulo 5 Conclusiones: En esta parte del trabajo se presentan las conclusiones de la tesis y el trabajo futuro de la misma.

Por último, se incluye el listado de las referencias utilizadas para la elaboración de esta tesis, el significado de las abreviaturas utilizadas en todo el documento, así como una sección de anexos necesarios que forman parte del desarrollo de este trabajo. Los anexos son los siguientes:

Anexo A: Contiene las fórmulas empleadas para calcular el radio de cobertura de las células usadas en el simulador.

Anexo B: Contiene la descripción de cada uno de los casos de uso para desarrollar el simulador.

Anexo C: Contiene el cálculo de cada uno de los criterios y políticas de handoff usados en el simulador.

Anexo D: Contiene el código fuente de los módulos *criterios de handoff* y *políticas de handoff*, que forman parte del algoritmo ARDE.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍAS DE REDES INALÁMBRICAS Y HANDOFFS

En este capítulo se incluye una breve descripción de las tecnologías de redes inalámbricas celulares que serán utilizadas en el simulador, los conceptos básicos del proceso de handoff heterogéneo y el algoritmo de decisiones de handoff basado en deseabilidades relativas (ARDE). Por último, se presenta un análisis comparativo de algunos simuladores de redes que se utilizan frecuentemente en el diseño de sistemas móviles, identificando en ellos una serie de deficiencias que limitan la evaluación de algoritmos de handoff verticales en escenarios con alta diversidad de tecnologías inalámbricas.

2.1 Conceptos de redes celulares

Una estrategia utilizada en las redes celulares para dar servicio a un mayor número de usuarios consiste en dividir la zona de cobertura en áreas más pequeñas denominadas células. En cada célula existe una estación base (BS) que se encarga de dar servicio a la célula a la que pertenece.

El tipo más simple de transmisión de una BS es omnidireccional, es decir, la señal se transmite igualmente en todas direcciones, dando como resultado que la forma de la célula sea circular. La señal se hace más débil a medida que una estación móvil (MS) se aleja de la BS, tal como se observa en la figura 2-1.

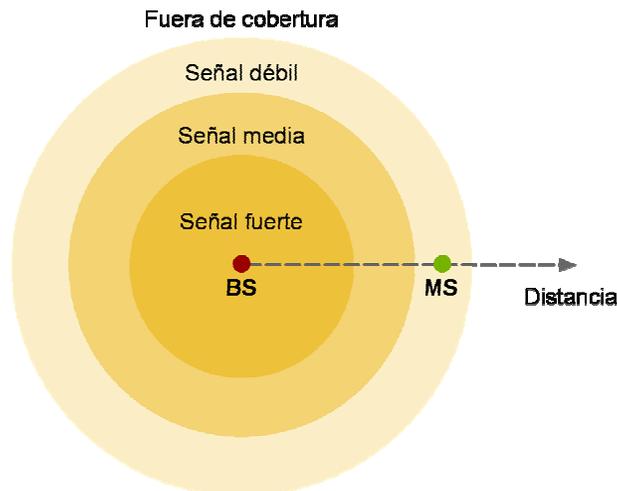


Figura 2-1. Célula usando un transmisor-receptor omnidireccional.

La forma de una célula depende de la geografía de la región, por ejemplo, las colinas y construcciones altas pueden bloquear la señal de la BS, produciendo una célula de forma irregular.

Debido a que los círculos no se ajustan entre ellos de manera exacta, los arquitectos de las redes móviles usualmente representan una célula como un hexágono (véase figura 2-2). Esto es muy usable para la planeación de un sistema celular, pero no es estrictamente adecuado, ya que también debe considerarse el solapamiento entre células, porque en algunas partes un usuario podría tener disponible para su comunicación dos o tres BS [Dorn01].

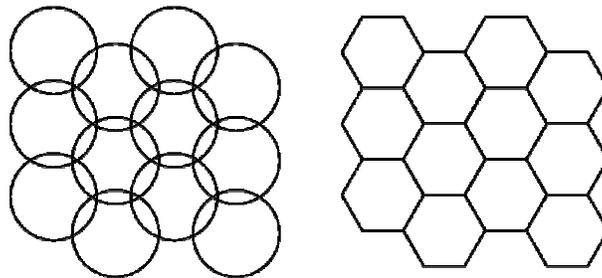


Figura 2-2. Células representadas de manera circular y hexagonal.

Para tener una mejor representación de las células, en nuestro modelo de simulación las dibujaremos de manera hexagonal considerando un solapamiento parcial o total entre ellas, de tal manera que con esta representación estamos usando las ventajas de la representación circular combinadas con las ventajas de la representación hexagonal.

En cuanto al tamaño de las células, no es necesario que todas sean del mismo tamaño, sin embargo, las células pequeñas se usan en lugares donde exista una elevada demanda de usuarios (como por ejemplo una ciudad) y las células grandes se usan en zonas rurales donde el número de usuarios es menor. Esto da como resultado una subdivisión celular (véase figura 2-3) que debe planificarse con sumo cuidado debido a que tiene una serie de implicaciones, como por ejemplo, aumenta el número de BS necesarias y exige una localización más precisa de las mismas [Rold05].

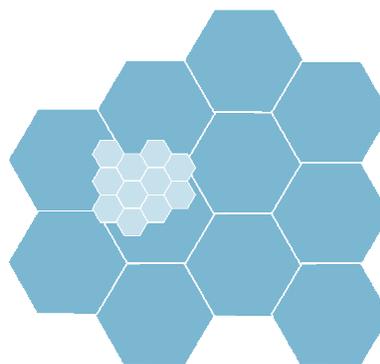


Figura 2-3. Subdivisión celular dentro de una red.

2.2 Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas permiten la conexión entre dispositivos electrónicos sin la necesidad de usar cables, lo cual tiene como ventaja que exista una libertad total para la ubicación y la movilidad en el rango de cobertura establecido.

En un mismo espacio geográfico se puede recibir la señal que proviene de varias tecnologías inalámbricas debido a que las tecnologías de cobertura amplia frecuentemente solapan parcial o totalmente a las tecnologías de cobertura limitada, es decir, las redes inalámbricas heterogéneas se encuentran sobrepuestas como se observa en la figura 2-4 [Gonz05]. De acuerdo a su área de cobertura, las tecnologías de redes inalámbricas se clasifican en cuatro categorías generales: WPAN, WLAN, WMAN y WWAN.

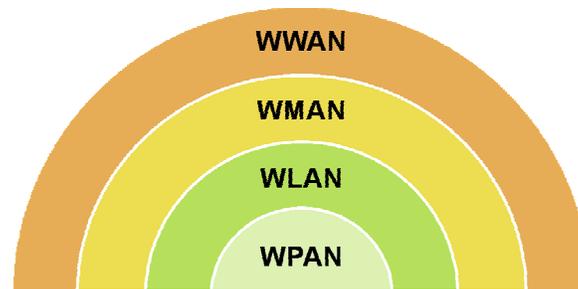


Figura 2-4. Redes inalámbricas heterogéneas sobrepuestas.

A continuación daremos una descripción de cada una de las tecnologías de redes inalámbricas con las que trabajaremos en esta tesis para el desarrollo del simulador.

2.2.1 WPAN

Una WPAN es una red inalámbrica de área personal con un área de cobertura de unos pocos metros y es usada para conectar varios dispositivos portátiles personales con sus periféricos. Se han desarrollado una amplia variedad de tecnologías que pertenecen a la categoría WPAN, entre las que destacan los estándares IEEE 802.15 (Bluetooth, WiMedia y Zigbee), HomeRF, IrDA y RFID.

De todas las redes WPAN, la más conocida es Bluetooth (denominada también como IEEE 802.15.1). Bluetooth es un estándar de conectividad inalámbrica que opera en la banda de frecuencia ISM (industrial, científico, médico) a 2.4 GHz con índices de datos de 721 Kbps. Sus bajos índices de datos tienen como resultado un bajo consumo de energía, haciendo a la tecnología Bluetooth adecuada para el uso con dispositivos móviles pequeños, impulsados por baterías, tales como teléfonos móviles, PDA's o cámaras digitales [Gilb01].

De acuerdo a su rango de cobertura, Bluetooth está clasificado en tres clases de radio [Blue06]:

- Radio de clase tres, tiene un rango de 1 metro de radio y una potencia de salida de 1 mW (0 dBm).
- Radio de clase dos, tiene un rango de 10 metros de radio. Su potencia de salida máxima es de 2.5 mW (+4 dBm) para transmitir a una distancia de 10 metros y su potencia de salida mínima es de 0.25 mW (-6 dBm).
- Radio de clase uno, tiene un rango de 100 metros de radio y se emplea en casos de uso industriales. Su potencia de salida máxima es de 100 mW (+20 dBm) y su potencia de salida mínima es de 1 mW (0 dBm).

Bluetooth tiene como desventajas el ser susceptible a interferencias al convivir con otras redes (microondas, teléfonos inalámbricos operando a 2.4 GHz, 802.11 b/g, etc.), y tener una tasa de transferencia de datos relativamente baja, aunque se espera que en los siguientes años su velocidad de transmisión aumente gracias a la integración de tecnología OFDM (multiplexión por división de frecuencia ortogonal) [Blue06].

En el simulador, usaremos la tecnología Bluetooth por ser la tecnología WPAN más conocida, y en cuanto a su clase, usaremos la de radio de clase dos debido a que es la empleada en dispositivos móviles.

2.2.2 WLAN

Las WLAN son redes que tienen una cobertura de unos cientos de metros y fueron pensadas para crear un entorno de red local entre computadoras situadas en un mismo edificio o grupo de edificios como un campus [Carb05].

Una de las tecnologías que pertenecen a las WLAN es el IEEE 802.11. Los estándares más conocidos de esta tecnología inalámbrica son el 802.11a, 802.11b y 802.11g.

El estándar 802.11a es usado en Europa y opera a 5 GHz en la banda U-NII (infraestructura de información nacional sin licencia), la cual requiere licencia en algunos países, es resistente a interferencias, costoso y no es compatible con el estándar 802.11b. El estándar 802.11b es el estándar más usado y común, opera a 2.4 GHz en la banda ISM, es sensible a interferencias por equipos que operan en su misma banda. Por último, el estándar 802.11g es más resistente a interferencias y es compatible con el 802.11b, opera a 2.4 GHz en la banda ISM.

La potencia máxima de emisión para los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g en Norteamérica es de 1000 mW [Carb05].

El estándar 802.11a ofrece velocidades de 6 a 54 Mbps, el estándar 802.11b de 2 a 11 Mbps y el 802.11g de 6 a 54 Mbps. El radio de cobertura de estos tres estándares varía de acuerdo a su velocidad de transmisión tal como se muestra en la tabla 2-1 [Cisc05].

Tabla 2-1. Velocidades teóricas de tecnologías 802.11a, 802.11b y 802.11g con respecto a la distancia.

Estándar	Distancia	Velocidad
802.11 a	0 - 13 mts.	54 Mbps
	13 - 15 mts.	48 Mbps
	15 - 19 mts.	36 Mbps
	19 - 26 mts.	24 Mbps
	26 - 33 mts.	18 Mbps
	33 - 39 mts.	12 Mbps
	39 - 45 mts.	9 Mbps
802.11 b	45 - 50 mts.	6 Mbps
	0 - 48 mts.	11 Mbps
	48 - 67 mts.	5.5 Mbps
802.11 g	67 - 82 mts.	2 Mbps
	0 - 27 mts.	54 Mbps
	27 - 29 mts.	48 Mbps
	29 - 30 mts.	36 Mbps
	30 - 42 mts.	24 Mbps
	42 - 54 mts.	18 Mbps
	54 - 64 mts.	12 Mbps
	64 - 76 mts.	9 Mbps
76 - 91 mts.	6 Mbps	

En el simulador, usaremos la tecnología 802.11 por ser la que tiene mejor posicionamiento en el mercado de las WLAN y al que más éxito se le augura [Carb05], y en cuanto a sus estándares usaremos los más conocidos: el 802.11a, 802.11b y 802.11g.

2.2.3 WMAN

Las WMAN son redes que tienen una cobertura desde unos cientos de metros hasta varios kilómetros y su objetivo es poder cubrir el área de una ciudad.

WiMAX es una tecnología WMAN y tiene tres estándares conocidos como 802.16 (estándar original), 802.16a (es el usado actualmente) y 802.16e (aprobado en enero de 2005), siendo éste último el que soporta la movilidad y el que se usará en el simulador. El estándar 802.16 trabaja en la banda de frecuencia de 10 a 66 GHz para tener un gran ancho de banda de 124 Mbps y un radio de cobertura de 2 a 5 Km. El estándar 802.16a puede trabajar en bandas libres (5.8 GHz) y en bandas con licencia necesarias (2.5 y 3.5 GHz). Al trabajar con frecuencias más bajas este estándar consigue un radio de cobertura de 5 a 10 Km aproximadamente y un ancho de banda de 70 Mbps. El estándar 802.16e ofrecerá velocidades de hasta 15 Mbps, radios de cobertura de 2 a 5 Km y trabajará en bandas de frecuencia inferiores a 6 GHz (2.3, 2.5, 3.3 y 3.5 GHz) [Wima06][Ramo06].

2.2.4 WWAN

Dentro de las redes WWAN se encuentran las redes de telefonía celular móvil, tal como GSM, GPRS, CDMA 2000 y UMTS.

GSM es el estándar más extendido de la telefonía móvil de segunda generación (2G) y opera en Europa en las bandas de frecuencia de 900 MHz (GSM 900) y de 1800 MHz (DCS), y en Estados Unidos en la banda de 1900 MHz (PCS 1900). La red GSM tiene una tasa de transferencia de datos de 2.4 a 9.6 Kbps [Jorg01] y el radio de cobertura de una célula GSM puede cubrir varios kilómetros.

GPRS pertenece a la segunda y media generación (2.5G) de telefonía móvil. Es un nuevo servicio que soporta la transmisión de paquetes vía radio utilizando el protocolo IP y el mismo sistema de estación base de GSM, pero con velocidades de datos comprendidas entre los 9.6 y los 171 Kbps [Jorg01].

CDMA 2000 es una tecnología apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos desde 384 Kbps hasta 2 Mbps. Trabaja en las frecuencias 450, 800, 1700 y 1900 MHz. Esta tecnología se divide en dos fases: la fase I conocida como CDMA 2000 1X y la fase II conocida como CDMA 2000 EV-DO (Evolution Data Only). La fase I corresponde a la 2.5G y sus características son: introduce los datos en paquetes de hasta 144 Kbps en un entorno móvil y mayor velocidad en un entorno fijo, en servicios avanzados la velocidad de transmisión llega a los 300 Kbps y proporciona una mayor duración de la pila de los teléfonos. La fase II por su parte corresponde a la 3G y tiene velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps, tiene capacidad multimedia y una mayor calidad de voz que la que ofrece la fase I [Pere05].

UMTS (WCDMA – acceso múltiple por división de código de banda ancha) es la visión europea de un sistema de comunicación móvil de tercera generación (3G), diseñado para continuar el éxito global del sistema europeo de comunicación móvil GSM. Esta tecnología ofrece velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps para el usuario móvil. Si la movilidad es baja UMTS ofrece velocidades de transmisión de hasta 384 Kbps y para una alta velocidad vehicular la velocidad de transmisión es de hasta 144 Kbps [Rold05].

El radio de cobertura de una célula de red UMTS y CDMA 2000 es de aproximadamente 10 Km [Huid06].

2.3 Conceptos básicos del handoff

Una de las características más importantes de una red móvil es su capacidad para que un usuario se mueva de una célula a otra. El handoff y el roaming son dos aspectos de movilidad en una red de servicios de comunicación personal (PCS), los cuales se describen a continuación [Yibi01].

- *Handoff*: Cuando un usuario móvil está entablando una conversación telefónica, la estación móvil se conecta a la BS vía un enlace de radio. Si el usuario móvil se mueve al área de cobertura de otra BS, el enlace de radio a la BS “antigua” es desconectada, y se establece de manera transparente al usuario móvil un enlace de radio a la “nueva” BS para continuar la conversación.
- *Roaming*: Cuando un usuario móvil se mueve desde un sistema PCS (por ejemplo, el sistema en Morelos) a otra (por ejemplo, el sistema en Yucatán), el sistema debe ser informado de la localización actual del usuario. De otra forma, será imposible liberar los servicios al usuario móvil.

Para llevar a cabo un handoff se requiere de varios segundos, por lo que si un usuario que está realizando una llamada telefónica a través de un dispositivo móvil se mueve demasiado rápido, su llamada será interrumpida. El límite de velocidad para los sistemas análogos generalmente no sobrepasa los 110 Km/hr. Algunos sistemas digitales pueden funcionar a velocidades superiores a los 300 Km/hr, lo que significa que pueden utilizarse en ferrocarriles de alta velocidad como los japoneses y europeos [Dorn01].

En la literatura existen varias clasificaciones de handoff. En [Stem98] el handoff se clasifica en handoff horizontal y handoff vertical (VHO). Un *handoff horizontal* es aquél que se lleva a cabo entre BS que están usando el mismo tipo de interfaces de redes inalámbricas. Un *handoff vertical* es aquél que se lleva a cabo entre BS que están usando diferentes tipos de interfaces de red inalámbricas. En este trabajo sólo se consideran handoffs verticales.

2.4 Descripción del proceso de handoff vertical

De manera general, el proceso de VHO incluye cuatro fases: inicio, decisión, ejecución y evaluación [Gonz06], ilustradas en la figura 2-5.

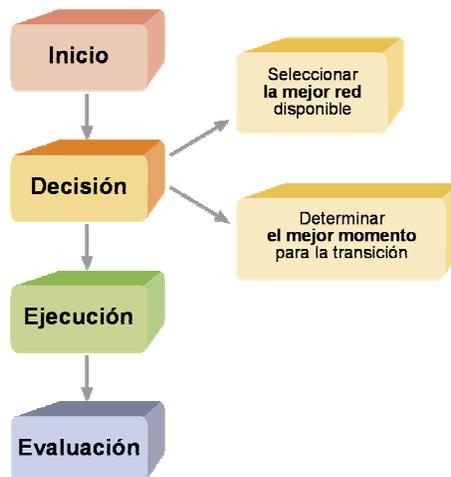


Figura 2-5. Fases del proceso de handoff vertical.

En la *fase de inicio* se establecen las razones por las cuales es necesario hacer el handoff. Una razón obligatoria para iniciar el handoff es porque la calidad del enlace actual se degrada, lo cual tiene como consecuencia una pérdida de la conexión actual. Otra razón para iniciar el handoff, aunque considerada como opcional, es que aparezca una nueva red “mejor” que la red actual. En la *fase de decisión*, el dispositivo móvil realiza un descubrimiento de las redes a las que tiene alcance, selecciona la mejor basándose en criterios y elige el momento apropiado para cambiarse a ella basándose en políticas. En la *fase de ejecución*, se realiza físicamente la conmutación de la conexión del nodo móvil de la red actual a la nueva red. Finalmente, durante la *fase de evaluación* se determina qué tan bien funcionó la decisión de cambiarse de red y qué tan bien está la calidad de las aplicaciones. El simulador incluye en su desarrollo la simulación de las primeras tres fases del proceso de handoff vertical.

2.5 Descripción del algoritmo de decisiones de handoff basado en deseabilidades relativas (ARDE)

Típicamente, el algoritmo de decisiones de handoff ARDE tiene como función decidir a dónde y cuándo hacer el handoff. Para decidir a dónde hacer el handoff, el algoritmo de decisiones se basa en el cálculo de una *métrica de deseabilidad*, que requiere de parámetros denominados criterios de handoff. Para decidir cuándo hacer el handoff, el algoritmo de decisiones se basa en *políticas de handoff* que establecen reglas o condiciones para ejecutarlo en el momento oportuno.

En un principio, el nodo móvil está conectado a una red (denominada red actual) y continuamente realiza un descubrimiento de las redes a las cuales tiene alcance según la posición en la que se encuentre. Para cada red descubierta se calcula su métrica de deseabilidad usando los criterios de handoff de cada red y el peso correspondiente asignado a cada criterio, es decir, para cada red descubierta, se mantendrá una tabla similar a la figura 2-6.

Red descubierta	Criterios de handoff	Peso asignado al criterio de handoff	Métrica de deseabilidad
1	$C_{1,1}(t) C_{1,2}(t) \dots C_{1,n}(t)$	$W_{1,1} W_{1,2} \dots W_{1,n}$	$D_1(t)$
2	$C_{2,1}(t) C_{2,2}(t) \dots C_{2,n}(t)$	$W_{2,1} W_{2,2} \dots W_{2,n}$	$D_2(t)$
...
m	$C_{m,1}(t) C_{m,2}(t) \dots C_{m,n}(t)$	$W_{m,1} W_{m,2} \dots W_{m,n}$	$D_m(t)$

Figura 2-6. Valores de entrada para el algoritmo de decisión.

donde, $D_m(t)$ es la deseabilidad de la red m en el instante t , $C_{m,i}(t)$ es el valor del i -ésimo criterio de handoff para la red m en el instante t y $W_{m,i}$ es un valor entre 0 y 1 que representa el peso del i -ésimo criterio de handoff para la red m . La métrica de deseabilidad se define con la ecuación 1 [Gonz06]:

$$D_m(t) = \sum_{i=1}^n W_{m,i} \ln(C_{m,i}(t)), \quad \text{donde } \sum_{i=1}^n W_{m,i} = 1 \quad (1)$$

La deseabilidad es un valor que representa el grado de preferencia o aceptación que tiene una red en un momento dado. El algoritmo de decisiones asigna como mejor red a la que haya arrojado la mayor deseabilidad.

Cada criterio tiene asociado un peso que representa la preferencia o prioridad que el usuario asigna a un criterio sobre otro. La suma de todos los pesos de una misma red debe ser uno y en caso de que algún criterio no sea de interés para el usuario, éste puede asignarle cero a su peso correspondiente. En el simulador, los pesos de los criterios serán asignados por el usuario antes de ejecutar la simulación.

Los criterios de handoff son parámetros de diversas clases asociados a las redes de acceso que nos permiten medir la deseabilidad de una red. Algunos de estos parámetros son: la calidad de los enlaces inalámbricos, el ancho de banda de la red, la latencia de paquetes, la tasa real de transferencia de datos, el porcentaje de utilización del ancho de banda y el costo de la conexión. La forma en que se calculan estos criterios de handoff durante la simulación se explica en el anexo C de la tesis. Los criterios que contribuyen de forma directamente proporcional a la deseabilidad se expresan como el logaritmo natural del criterio (por ejemplo el ancho de banda), mientras que aquellos que contribuyen de forma inversamente proporcional a la deseabilidad se expresan como el logaritmo natural del valor recíproco del criterio (por ejemplo el costo de conexión) [Gonz06].

Evaluando de forma continua la deseabilidad de la red actual y de las redes descubiertas, se pueden generar gráficas de deseabilidad para cada red respecto al tiempo. Las variaciones de deseabilidad corresponden a cambios en los valores de los criterios de handoff que son dinámicos. La figura 2-7 muestra las curvas de deseabilidad de las redes de acceso 1 y 2, representadas por $D_1(t)$ y $D_2(t)$, así como los parámetros de control del handoff usados por el algoritmo de decisiones ARDE en el momento de realizar un handoff de la red 1 a la red 2.

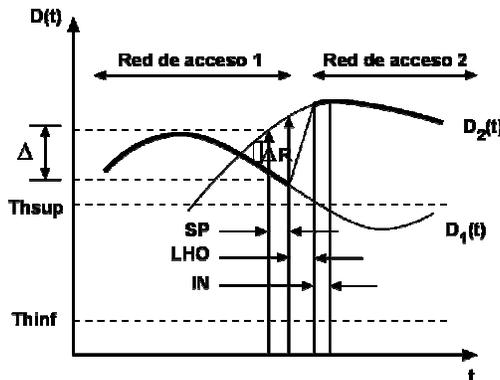


Figura 2-7. Parámetros de control del algoritmo de decisiones.

Los parámetros de control de handoff ilustrados en la figura anterior, se definen como:

- **(Δ_R) Deseabilidad relativa**, es la diferencia de deseabilidad entre la mejor red descubierta y la red actual. Indica qué tan mejor es la nueva red con respecto a la red actual. Su valor se obtiene con la relación $\Delta_R(t) = D_{\text{mejor}}(t) - D_{\text{actual}}(t)$.
- **(Δ) Umbral de histéresis de deseabilidad**, este valor se compara continuamente con Δ_R para determinar si la nueva red tiene el nivel de deseabilidad mínimo como para iniciar un proceso de handoff hacia ella. Solamente si $(\Delta_R(t) \geq \Delta)$ entonces la nueva red se convierte en la red elegida para el handoff.
- **(Thsup) Umbral de deseabilidad superior**, es un valor que determina si la necesidad de hacer un handoff es imperativa. Si la deseabilidad de la red actual se mantiene por encima de este valor, no hay necesidad imperativa de hacer el handoff.
- **(Thinf) Umbral de deseabilidad inferior**, es un valor que representa el límite inferior de aceptación que puede tener una red antes de quedar desconectada. Si la deseabilidad de la red actual es inferior a este valor, las aplicaciones y el usuario experimentarán una interrupción en sus comunicaciones. Cuando la deseabilidad de la red descubierta sea inferior a Thinf, ésta no será considerada para la elección de la mejor red.
- **(SP) Período de estabilidad**, es el tiempo que espera el algoritmo de decisiones antes de ejecutar un handoff a fin de comprobar que la nueva red sea estable. El handoff se ejecutará, solamente si se cumple la condición $(\Delta_R(t) \geq \Delta)$ durante el período de estabilidad.
- **(IN) Período de inestabilidad**, es el tiempo posterior al handoff durante el cual se evalúa qué tan preciso y puntual fue la decisión de handoff.
- **(LHO) Latencia de handoff**, es el tiempo que dura la transición de conectividad del nodo móvil, de la red actual a la nueva red. Después del periodo de estabilidad y de verificar las políticas de handoff, puede iniciar la ejecución del proceso de handoff. Cuando el handoff termina, inicia el periodo de inestabilidad.

El valor de los parámetros de control del handoff descritos anteriormente (excepto la deseabilidad relativa) es proporcionado por el usuario del simulador antes de ejecutar la simulación.

La figura 2-8 muestra gráficamente el algoritmo de decisiones ARDE. Para una descripción más completa de este algoritmo puede consultar [Gonz06].

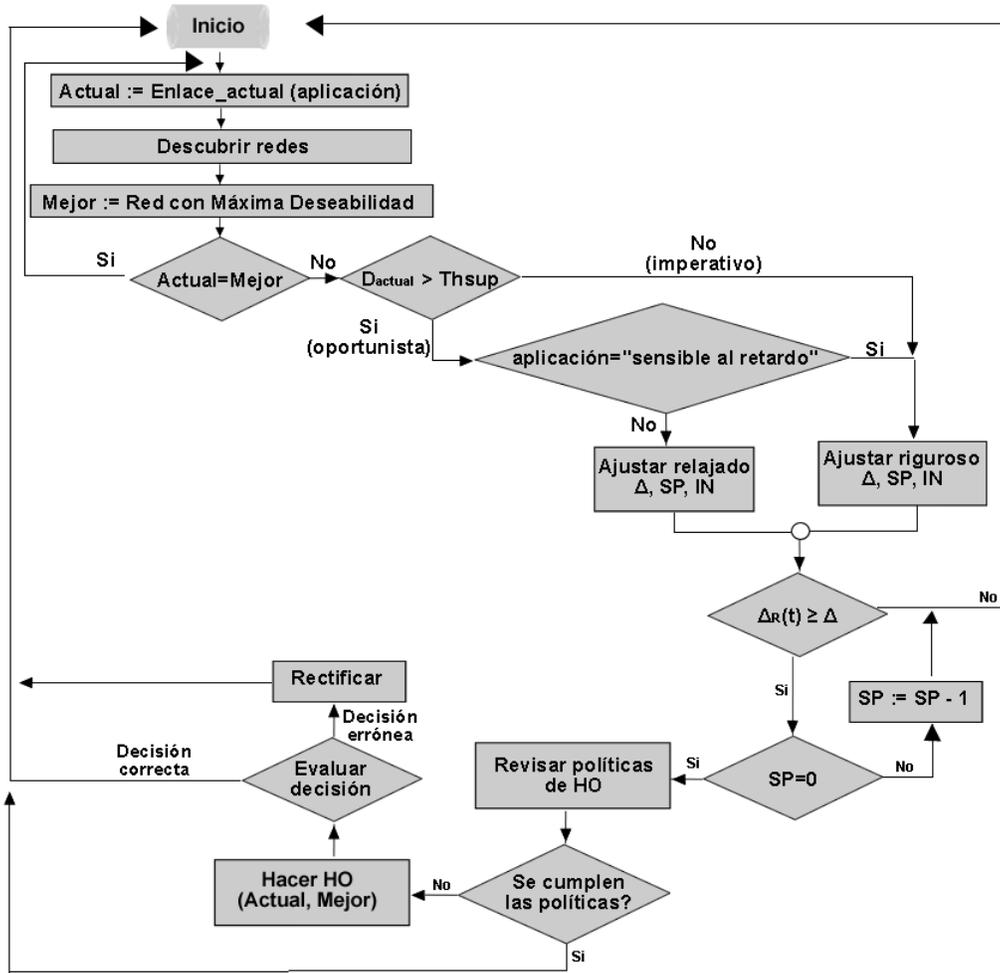


Figura 2-8. Diagrama de flujo del algoritmo de deseabilidad relativa (ARDE).

Una vez que el algoritmo de decisiones encuentra una red que tiene una mejor deseabilidad respecto a la red actual, inicia la preparación para ejecutar un handoff. Sin embargo, para decidir si se ejecuta el handoff, el algoritmo de decisiones verifica un conjunto de políticas que evitan la realización de handoffs frecuentes (oscilantes) e innecesarios.

Las políticas de handoff que usamos en el simulador son las siguientes:

- Si el tiempo estimado de visita (VD) a la nueva célula es menor o igual que el tiempo de visita mínimo requerido (MRVD, donde $MRVD = SP + LHO + IN$), es decir ($VD \leq MRVD$), entonces el handoff es innecesario pues produciría handoffs oscilantes. Los parámetros VD y MRVD están definidos en el anexo C.
- Si la carga de la batería del nodo móvil es crítica (entre el 25% y 30%) y la red destino demanda más energía que la red actual, entonces evitar hacer el handoff.

- Si ninguna de las políticas anteriores se cumple, entonces ejecuta el handoff de la red origen a la red destino.

2.6 Descripción de simuladores

Antes de tomar la decisión de desarrollar un simulador propio, se realizó una búsqueda de las herramientas actuales para la evaluación de algoritmos de decisión de handoff, siendo **Network Simulator Versión 2 (NS-2)**, **GloMoSim** y **OPNET** las más relevantes.

En dichas herramientas se evaluaron los siguientes aspectos, que desde el punto de vista de ésta tesis son importantes:

- Extensibilidad con nuevos algoritmos de handoff vertical.
- Capacidad para diseñar escenarios compuestos por una alta diversidad de redes heterogéneas.
- Facilidad de uso.
- Costo.

A continuación se presenta la descripción y análisis de cada uno de los simuladores seleccionados:

▪ **Network Simulator versión 2 (NS-2)**

NS-2 es un simulador enfocado a la investigación de redes. Proporciona soporte para la simulación de protocolos TCP, de enrutamiento y multicast que se ejecutan sobre redes cableadas e inalámbricas (locales y satelitales) [Netw06].

Este simulador es extensible con nuevos algoritmos de handoff vertical (VHO), sin embargo no permite diseñar escenarios compuestos por una alta diversidad de redes heterogéneas ya que sólo se pueden incluir dos tecnologías distintas de red en una simulación. Lo anterior se debe a que en NS-2 el modelo de un nodo móvil no soporta más de dos interfaces de red. No obstante, desde junio de 2005 se creó un grupo de trabajo que está desarrollando una nueva plataforma que permita a un nodo móvil soportar múltiples interfaces de red (Ethernet, WLAN, Bluetooth y UMTS); sin embargo, dicha plataforma aún no ha sido integrada [Nati05].

Algunos ejemplos que muestran la limitación antes mencionada pueden ser observadas en [Lail06] y en [Rich06]. Por una parte, [Lail06] presenta un conjunto de experimentos realizados para analizar un VHO de una red WLAN a una GPRS y viceversa. Por otro lado, [Rich06] muestra un escenario en el que se estudia el proceso de VHO desde una red 802.11 hacia una 802.16. En ambos trabajos únicamente se utilizan 2 tecnologías de redes distintas.

En escenarios en donde se requiere evaluar algoritmos de decisión que contemplan más de 2 tecnologías de red distintas (como es el caso de ARDE) el uso de NS-2 es inapropiado.

Por otro lado, NS-2 es una herramienta poco amigable, ya que no ofrece una interfaz de usuario fácil de usar para el diseño de escenarios; esto se debe a que pone como requerimiento el aprendizaje de un lenguaje de *scripts* (llamado *Tool Command Language* o TCL [Tcl06]) con el cual se definen las características de la simulación (topología, nodos, movimientos, etc.).

Lo anterior, se traduce en un lento aprendizaje de la herramienta y mayor cantidad de tiempo invertido al momento de diseñar diversos escenarios de pruebas.

De la experiencia de los usuarios que han incursionado en el uso de este simulador, NS-2 es lento de aprender porque el usuario debe darse a la tarea de conocer el significado y sintaxis específica, de cada una de las instrucciones requeridas para llevar a cabo la simulación. Además, para un usuario que no está acostumbrado a usar un lenguaje de programación, esto puede resultar un obstáculo más en la curva de aprendizaje del simulador.

Respecto al costo, por tratarse de un simulador de dominio público no tiene precio alguno, lo cual para fines académicos resulta ser muy conveniente. Para el caso del simulador propuesto en esta tesis, éste será donado a la comunidad científica internacional, poniendo el código disponible a través de la cátedra de investigación de Sistemas Distribuidos para Aprendizaje Colaborativo que dirige el Dr. Victor Hugo Zárate Silva en el ITESM Campus Cuernavaca.

- **GloMoSim: *Global Mobile Information System Simulation Library***

GloMoSim es un entorno de simulación para sistemas de redes cableadas e inalámbricas [Glom06].

Actualmente GloMoSim trabaja con redes homogéneas, lo que lo convierte en una herramienta no válida para algoritmos como ARDE. Sin embargo, en un futuro se planea que GloMoSim pueda simular redes híbridas con capacidades alámbricas e inalámbricas [Yañe04].

Al igual que NS-2, GloMoSim es una herramienta poco amigable, ya que no ofrece una interfaz de usuario fácil de usar para el diseño de escenarios; requiere que el usuario aprenda un lenguaje de programación (llamado *Parallel Simulation Environment for Complex Systems* o PARSEC [Pars06]) con el cual se definen las características de la simulación. Por consecuencia hereda las mismas deficiencias de usabilidad detectadas en NS-2.

Gracias a PARSEC, GloMoSim es extensible con nuevos algoritmos de decisión, sin embargo, como no soporta redes heterogéneas no es adecuado para evaluar algoritmos de decisión como ARDE.

Respecto al costo, existe una versión *open source* para instituciones académicas con propósitos de investigación, que es gratuita, y una versión comercial conocida como *QualNet* que tiene un costo elevado.

- **OPNET: *Optimized Network Engineering Tool***

OPNET es un lenguaje de simulación orientado a las comunicaciones que hace uso de una interfaz conocida como “OPNET Modeler”. Dicha interfaz, es una herramienta de simulación gráfica de sistemas de comunicaciones que permite el desarrollo de modelos complejos de redes.

El OPNET Modeler tiene una estructura jerárquica orientada a objetos que permite modelar, por ejemplo, una red GSM con su parte fija (estaciones móviles, centros de conmutación, bases de datos) y las estaciones móviles. Tiene disponibles las funcionalidades básicas: generación, recepción y terminación de llamadas. También tiene en cuenta la movilidad, a través de procedimientos de localización y handoff. A través de los folletos informativos del simulador y la información de su página oficial [Opne06] se puede decir que OPNET sí soporta la simulación de handoffs verticales, sin embargo, de lo que reporta OPNET [Opne06] no especifica cuántas tecnologías de red pueden soportar los nodos móviles y tampoco si es extensible con nuevos algoritmos de decisión.

En cuanto a su facilidad de uso, posee una interfaz gráfica amigable para el usuario. Sin embargo, para poder ser utilizado, primero el usuario tiene que comprender la jerarquía de diseño en OPNET para que pueda plantear su simulación. De no comprender bien la jerarquía, el usuario corre el riesgo de que los resultados de la simulación sean erróneos.

Respecto al costo del simulador podemos decir que OPNET es un software comercial con un costo elevado. Recientemente, se ha liberado una versión académica y para investigación, donde la institución educativa o grupo de investigación debe someter una solicitud que es evaluada por los dueños del simulador para determinar si se les otorga una licencia de uso para la versión académica.

Como conclusión de este análisis, podemos decir que las razones por las cuales decidimos desarrollar un nuevo simulador son las siguientes:

- GloMoSim trabaja con redes homogéneas y es una herramienta poco amigable.

- NS-2, a pesar de que permite simular los handoff verticales, solamente hace uso de dos tecnologías de red diferentes, además de que es una herramienta poco amigable.
- OPNET, a pesar de contar con una interfaz gráfica amigable, es un software comercial de costo muy elevado*, lo que ha impedido que una gran parte de la comunidad científica haga uso del simulador. En particular, esto se puede corroborar con la escasa cantidad de artículos de handoffs verticales que utilicen OPNET para validar sus algoritmos.

Por lo anterior, es necesario desarrollar una herramienta de simulación que permita evaluar nuevos algoritmos de decisiones de handoff verticales, que hagan uso de una variedad de tecnologías de red, mediante una interfaz gráfica y amigable, y que esté disponible como código libre a la comunidad científica para su uso y mejora.

* Durante el análisis de este simulador y al inicio de esta tesis, se obtuvo que OPNET tenía un costo elevado, sin embargo, hoy día se sabe que existe una versión gratuita para usos científicos, previa aceptación de una solicitud por parte de los dueños del simulador.

CAPÍTULO 3

ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL SIMULADOR

Este capítulo presenta la especificación y diseño de un nuevo simulador llamado VHAND orientado a evaluar el desempeño de algoritmos de decisiones de handoff verticales. Todos los criterios de especificación y diseño del simulador VHAND se centran en resolver las limitaciones descritas de los simuladores analizados en el capítulo anterior.

3.1 Arquitectura del simulador VHAND

Como se mencionó en el capítulo uno, el producto final de esta tesis es el desarrollo de un simulador que permita diseñar escenarios con una variedad de tecnologías inalámbricas para evaluar algoritmos de decisión de handoff. Dicho simulador es llamado de aquí en adelante VHAND.

Para el caso de esta tesis, el trabajo se centró específicamente en la implementación del algoritmo de deseabilidad relativa (ARDE). No obstante, esto no significa que el simulador no sea extensible con nuevos algoritmos de decisión, sino todo lo contrario. VHAND será diseñado de forma independiente al algoritmo de decisiones.

De manera general, VHAND está compuesto de seis módulos básicos, que describen tareas comunes que se realizan durante el proceso de simulación: 1) diseñar topología, 2) definir trayectoria, 3) cargar parámetros de inicialización, 4) ejecutar simulación, 5) ver resultados y 6) detectar redes alcanzables, tal como se muestran en la figura 3-1. Los primeros 5 módulos están disponibles al usuario desde la interfaz gráfica y el módulo 6 corre al momento de ejecutar la simulación y sirve de apoyo al algoritmo de decisiones, el cual corresponde a otro módulo independiente del simulador.

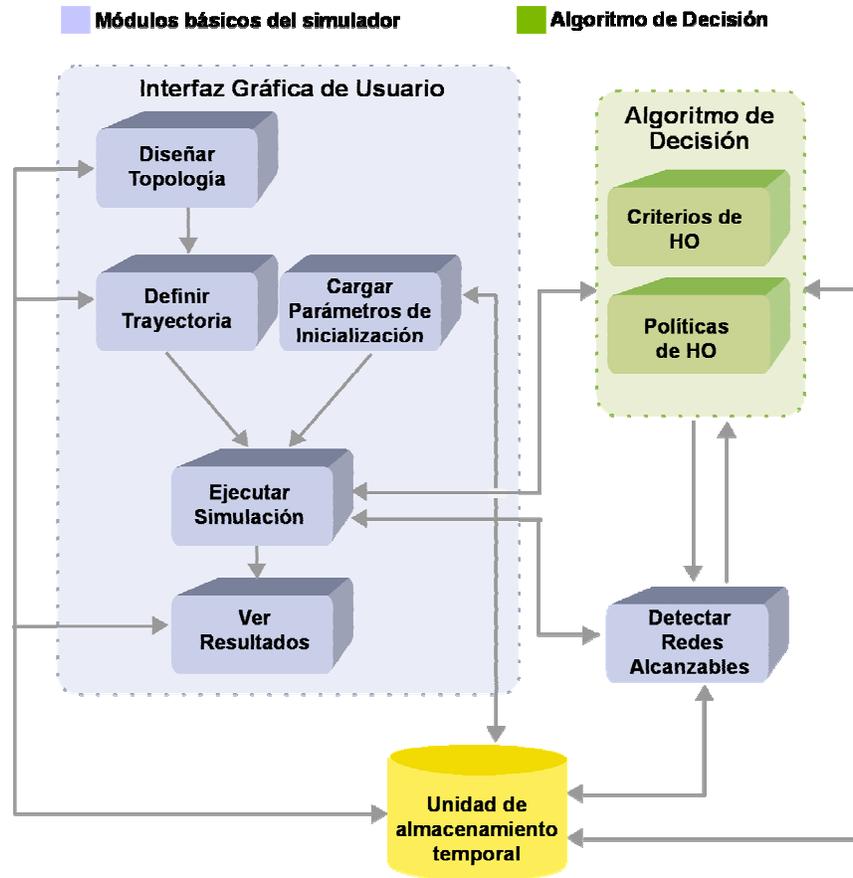


Figura 3-1. Arquitectura del simulador VHAND.

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los módulos que integran a VHAND:

MÓDULO 1 - Diseñar Topología. En este módulo el usuario dibuja y define las características de cada célula. Una célula representa alguna de las tecnologías de red usadas en el simulador, como: GSM, GPRS, UMTS, CDMA 2000, WiMAX, 802.11a, 802.11b, 802.11g y Bluetooth.

MÓDULO 2 - Definir Trayectoria. Este módulo sirve para dibujar la trayectoria que el nodo móvil recorrerá durante la simulación. La trayectoria es definida mediante segmentos de recta continuos. A cada segmento se le especifican características como: tipo de velocidad (peatonal o vehicular), velocidad y tipo de aplicación (datos, multimedia, voz, etc.).

MÓDULO 3 - Cargar Parámetros de Inicialización. Los parámetros de inicialización son una serie de valores que sirven para indicarle al algoritmo de decisión con qué información inicial arrancará la simulación. Los parámetros usados en este módulo son: la carga inicial de la batería del dispositivo móvil, el costo de conexión a cada tecnología inalámbrica y los parámetros de control de

handoff. Dichos parámetros son proporcionados inicialmente por el sistema, pero pueden ser modificados por el usuario de acuerdo a su conveniencia.

MÓDULO 4 – Ejecutar Simulación. Este módulo consiste en invocar al algoritmo de decisiones de handoff que se desea evaluar. Para el caso de esta tesis, el algoritmo invocado es ARDE. En este módulo, el usuario ve de manera gráfica cómo el nodo móvil se desplaza a lo largo de la trayectoria predefinida y cómo va cambiando el punto de conexión del nodo móvil de una célula a otra.

MÓDULO 5 – Ver Resultados. La función de este módulo es presentar en pantalla los resultados de la simulación con los cuales el usuario final podrá analizar el algoritmo de decisiones.

MÓDULO 6 – Detección de Redes Alcanzables. La finalidad de este módulo es descubrir en cada unidad de tiempo, las redes a las que el nodo móvil tiene alcance, de acuerdo a la posición en la que éste se encuentre. Este módulo sirve para comunicar al algoritmo de decisión la lista de redes alcanzables.

En los módulos 1, 2 y 3, el usuario puede modificar los datos que proporcionó previamente, así como eliminar las células y la trayectoria que haya especificado.

Adicionalmente, el simulador integra de manera modular la implementación del algoritmo ARDE, mediante la interconexión de los módulos 4 y 6 mencionados con anterioridad (véase figura 3-1).

La ventaja de haber implementado ARDE de manera modular, permite que el simulador no dependa de un algoritmo de decisiones en particular, lo cual lo convierte en una herramienta extensible con nuevos algoritmos o con nuevas versiones del mismo algoritmo ARDE.

3.2 Requerimientos del simulador VHAND

En esta sección se describen los requerimientos que debe cumplir el simulador VHAND para cada uno de sus módulos.

▪ **Requerimientos del MÓDULO 1 (Diseñar Topología)**

- **RDTO-01.** El usuario podrá dibujar tres tipos de células: macrocélulas, microcélulas y picocélulas.
- **RDTO-02.** Cada célula dibujada dentro del simulador deberá contar con las siguientes propiedades: nombre de la célula; tecnología de red; potencia de transmisión de la estación base; cantidad de usuarios conectados; radio de cobertura y el peso de cada criterio de handoff.
- **RDTO-03.** Las propiedades de cada tipo de célula estarán inicialmente precargadas a partir de un archivo externo de configuración.

- **RDTO-04.** El usuario podrá modificar las propiedades de cada célula, a excepción del radio de cobertura.
- **RDTO-05.** El usuario podrá eliminar las células dibujadas.
- **Requerimientos del MÓDULO 2 (Definir Trayectoria)**
 - **RDTR-01.** El usuario dibujará la trayectoria del nodo móvil, mediante segmentos de recta continuos.
 - **RDTR-02.** Cada segmento dibujado dentro del simulador deberá contar con las siguientes propiedades: nombre del segmento; tipo de velocidad; velocidad del nodo móvil; tipo de aplicación que ejecuta el nodo móvil y longitud del segmento.
 - **RDTR-03.** Las propiedades de cada segmento estarán inicialmente precargadas a partir de un archivo externo de configuración.
 - **RDTR-04.** El usuario podrá modificar las propiedades de cada segmento, a excepción del nombre y la longitud del segmento.
 - **RDTR-05.** El usuario podrá eliminar la trayectoria dibujada.
- **Requerimientos del MÓDULO 3 (Cargar Parámetros de Inicialización)**
 - **RCPI-01.** El usuario proporcionará los siguientes parámetros de inicialización: carga inicial de la batería del nodo móvil, costo de conexión de cada tecnología y valor de los parámetros de control de handoff.
 - **RCPI-02.** La carga inicial de la batería tendrá asignado inicialmente un valor del 100%. Por otra parte, el costo de conexión y los parámetros de control de handoff estarán inicialmente precargados a partir de un archivo externo de configuración.
- **Requerimientos del MÓDULO 4 (Ejecutar Simulación)**
 - **RESI-01.** Durante la ejecución de la simulación, se observará el desplazamiento del nodo móvil a través de la trayectoria definida.
- **Requerimientos del MÓDULO 5 (Ver Resultados)**
 - **RRSI-01.** Los resultados de la simulación se desplegarán al término de la misma.
 - **RRSI-02.** Los resultados podrán ser extraídos del simulador para posteriormente almacenarse en un archivo.
- **Requerimientos del MÓDULO 6 (Detectar Redes Alcanzables)**
 - **RDRA-01.** La detección de redes alcanzables se debe ejecutar cada unidad de tiempo. Para el caso de esta tesis, la unidad de tiempo definida fue de 1 segundo.

▪ **Requerimientos no funcionales**

A continuación se presentan una serie de requerimientos que no se relacionan en forma directa con el funcionamiento del simulador, pero que son de gran importancia para el mismo:

- **RNF-01.** La implementación debe ser independiente de la plataforma.
- **RNF-02.** El sistema debe ser una aplicación Web, de tal manera que el usuario sólo deba contar con un navegador Web para usarlo.
- **RNF-03.** El simulador debe proporcionar una herramienta gráfica que facilite al usuario las fases de dibujo de células y trayectoria. Dicha herramienta involucrará el uso de ratón (mouse) y sus eventos como: clic al botón derecho, “*drag and drop*”, doble clic, etc.
- **RNF-04.** Dado que las células dibujadas en el escenario pueden ser de gran tamaño, se requiere que el simulador cuente con una herramienta de “*zoom*” para hacer acercamientos y alejamientos a los componentes dibujados.
- **RNF-05.** Debido a que la información requerida por el simulador no es de carácter confidencial, se determinó que no era necesario contar con un mecanismo de verificación de acceso al sistema y privacidad de la información.
- **RNF-06.** El simulador será desarrollado en Macromedia Flash versión 8.0, y el lenguaje de programación a usar será ActionScript 2.0 [Coli05][Dere04].

3.3 Diseño del simulador VHAND

En esta sección se detalla el diseño del simulador VHAND a través de cada uno de sus módulos, el cual cumple con todos los requerimientos especificados. Las distintas vistas arquitectónicas del simulador son mostradas mediante el uso de diagramas de casos de uso [Bern02] y tablas de datos.

3.3.1 Diseño del MÓDULO 1 (Diseñar Topología)

Como su nombre lo indica, este es el módulo con el que empieza el usuario a diseñar su escenario de simulación, en el se define la topología, la cual incluye el dibujo de una o más células y la carga de información asociada a cada una de ellas.

De manera general, el módulo *Diseñar Topología* está compuesto de dos casos de uso: **Dibujar célula** e **Ingresar datos de la célula**. A su vez Dibujar célula se compone de dos casos de uso, **Mover célula** y **Eliminar célula**. Por otra parte, el caso de uso **Modificar datos de la célula** extiende a Ingresar datos de la célula, tal como se muestra en la figura 3-2.

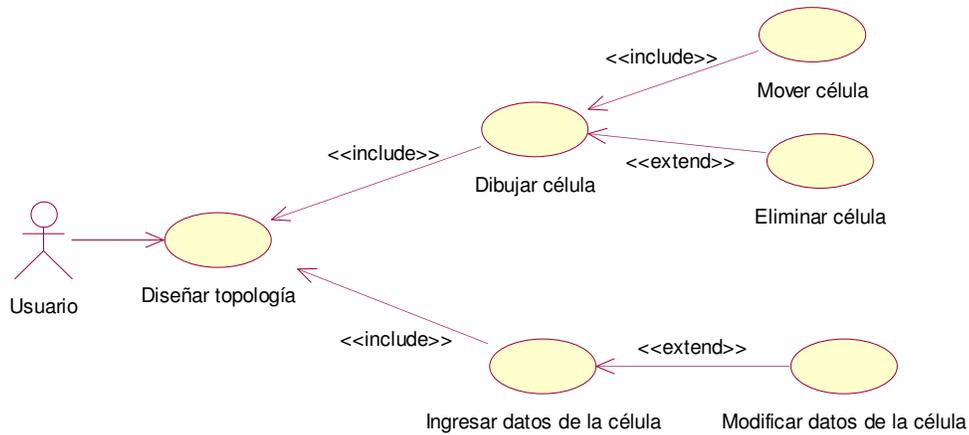


Figura 3-2. Diagrama de casos de uso del Módulo 1 - Diseñar Topología.

El detalle de cada caso de uso es explicado en el **Anexo B** de esta tesis.

- **Modelo de datos asociado.**

De acuerdo al requerimiento **RDTO-02**, cada célula que dibuje el usuario deberá contener la información que se indica en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Modelo de datos asociado al Módulo 1 – Diseñar Topología.

Dato	Tipo de datos	Descripción	Proporciona
idCelula	Integer()	Es el número que identifica de manera única a cada célula dibujada en el escenario.	VHAND
Tipo	Integer()	Representa el tipo de célula dibujada. Si es una macrocélula el tipo es 0, si es una microcélula es 1 y si es una picocélula es 2.	VHAND
Nombre	Varchar()	Es el nombre que se le asignará a la célula para que el usuario la identifique con mayor facilidad. Por defecto el nombre de la célula está compuesto de acuerdo a la siguiente sintaxis: cel_ + numero de objeto dibujado NOTA: opcionalmente, el usuario puede asignarle un nombre distinto de acuerdo a sus preferencias.	VHAND
tecnología	Varchar()	Indica el tipo de tecnología de la célula, las cuales pueden ser: - Macrocélulas: GSM, GPRS, UMTS, CDMA 2000 ó WIMAX. - Microcélulas: 802.11a, 802.11b ó 802.11g. - Picocélulas: Bluetooth.	Usuario *
potencia	Float()	Es la potencia a la que transmite la estación base de una célula, la cual se encuentra en los siguientes rangos: - Macrocélulas: de 1000 a 4000 mW.	Usuario *

		<p>- Microcélulas: de 100 a 1000mW - Picocélulas: de 0.25 a 2.5 mW.</p>	
Usuario	Integer()	<p>Representa el número de usuarios conectados a la célula. El número de usuarios máximo será de: cincuenta, para las macrocélulas; quince, para las microcélulas y siete para las picocélulas. Como valor mínimo será un usuario por célula.</p>	Usuario *
Cobertura	Float()	<p>Representa el radio (en metros) de una célula. Para calcular el radio de cobertura "C" se usan las siguientes fórmulas, según el tipo de célula:</p> <p>- Macrocélulas: $C=1.5x$ - Microcélulas: Para 802.11a, $C=0.05x$ Para 802.11b, $C=0.082x$ Para 802.11g, $C=0.091x$ - Picocélulas: $C=4x$</p> <p>donde x representa la potencia de transmisión (expresada en mW) de la estación base.</p>	VHAND
pesoUbicación	Float()	Peso dado al criterio "distancia del nodo móvil a la estación base". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *
pesoPotencia	Float()	Peso dado al criterio "potencia de la señal recibida". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *
pesoRuido	Float()	Peso dado al criterio "razón señal a ruido". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *
pesoError	Float()	Peso dado al criterio "tasa de bits con error". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *
pesoCosto	Float()	Peso dado al criterio "precio de conexión a la tecnología inalámbrica". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *
pesoBanda	Float()	Peso dado al criterio "ancho de banda". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *
pesoTransferencia	Float()	Peso dado al criterio "tasa de transferencia real". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *
pesoPropagación	Float()	Peso dado al criterio "latencia". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *
pesoUtilización	Float()	Peso dado al criterio "utilización del ancho de banda". Es un valor entre 0 y 9.	Usuario *

* El valor de este dato es proporcionado inicialmente por VHAND, pero puede ser modificado por el usuario del sistema.

Para más detalle de la obtención de las fórmulas para calcular el radio de cobertura, consultar el **Anexo A**.

Según el requerimiento **RDTO-03**, los datos mostrados en la tabla 3-1 estarán precargados a partir de un documento externo. Para ello se diseñó una serie de **Documentos de Inicialización de Valores de Célula (DIVC)** basados en XML [Erik03][Stev03].

Se decidió usar XML porque es un estándar del dominio público utilizado para el intercambio de datos entre aplicaciones. Su principal ventaja es que no limita a las aplicaciones a usar un manejador de datos específico, dado que está basado en texto plano; además de que es legible no sólo por computadoras sino también por humanos.

La estructura de cada DIVC se ilustra en la figura 3-3.

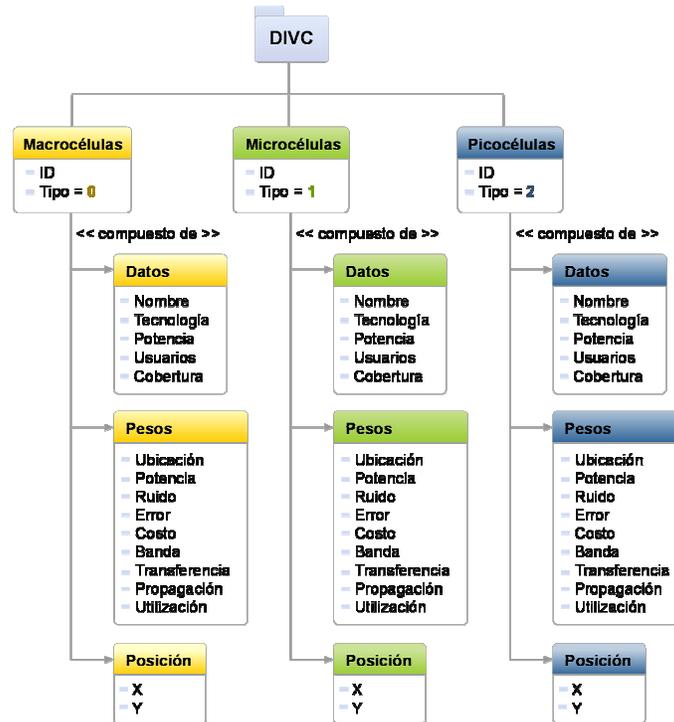


Figura 3-3. Estructura de los Documentos de Inicialización de Valores de Célula.

La figura 3-4 muestra un ejemplo de cómo se utilizó un DIVC para especificar los datos de inicialización de una picocélula.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<celula id="" tipo="2">
  <datos>
    <nombre></nombre>
    <tecnologia>Bluetooth</tecnologia>
    <potencia>2.5</potencia>
    <usuarios>1</usuarios>
    <cobertura></cobertura>
  </datos>
  <pesos>
    <ubicacion>1</ubicacion>
    <potencia>2</potencia>
    <ruido>4</ruido>
    <error>3</error>
    <costo>9</costo>
    <banda>8</banda>
    <transferencia>7</transferencia>
    <propagacion>6</propagacion>
    <utilizacion>5</utilizacion>
  </pesos>
  <posicion _x="" _y="" />
</celula>
  
```

Figura 3-4. Uso de un DIVC para una picocélula.

- **Interfaces de usuario requeridas**

A continuación se presentan las interfaces de usuario para aquellos requerimientos del simulador VHAND que lo necesitan para su comunicación con el usuario final.

Para dibujar las células que formarán parte del escenario de la simulación y cumplir con el requerimiento **RDTO-01**, se diseñó una interfaz tal como se muestra en la figura 3-5. Dicha interfaz consta de una *barra de herramientas*, de la cual se usan los primeros tres botones con la imagen de un hexágono etiquetado con la palabra Macro, Micro y Pico, usados para dibujar una macrocélula, microcélula o picocélula respectivamente.



Figura 3-5. Interfaz del simulador VHAND para dibujar células.

Como algunas de las células dibujadas en el *área de trabajo* del simulador pueden ser de gran tamaño, para cumplir con el requerimiento **RNF-04**, fue necesario que la interfaz cuente en su *barra de herramientas* con botones para acercar (🔍) o alejar (🔍) las células dibujadas. En caso de realizar estos acercamientos o alejamientos, también se cuenta con un botón (100%) para reestablecer el nivel de zoom al 100% (véase figura 3-5).

Una vez dibujada una célula en el *área de trabajo* del simulador, ésta contiene como propiedades, los valores por defecto definidos en el DIVC. Sin embargo, para cumplir con el requerimiento **RDTO-04**, se diseñó un menú contextual con las opciones “Datos de la célula” y “Editar pesos”.

Si el usuario desea modificar los datos generales de una célula, entonces, primero selecciona la célula, y haciendo clic con el botón derecho del ratón, se despliega un menú contextual (véase figura 3-6a) del cual elige la opción “Datos de la célula”. Posteriormente se despliega una ventana similar a la figura 3-6b, 3-6c ó 3-6d, dependiendo del tipo de célula seleccionada.



Figura 3-6. Menú contextual y ventanas para modificar información de las células.

Por otra parte, si el usuario desea modificar el peso de cada criterio de handoff, procede a realizar los siguientes pasos: selecciona la célula y hace clic con el botón derecho del ratón. Esto presenta como resultado un menú contextual, del cual elige la opción “Editar pesos” (véase figura 3-7a). Finalmente, esta acción, despliega la ventana “Pesos de los criterios de Handoff” que contiene la lista de

los criterios, a los cuales se les asigna el peso que desee el usuario (véase figura 3-7b).

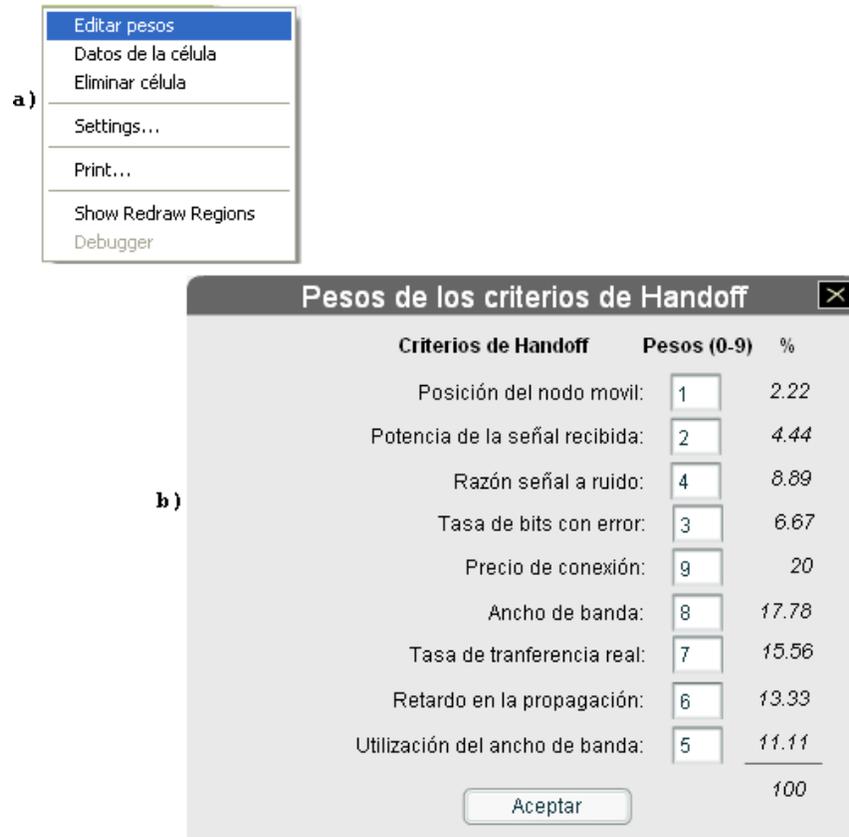


Figura 3-7. Menú contextual y ventana para modificar el peso asignado a los criterios de handoff.

Para cumplir con el requerimiento **RDTO-05**, el usuario hace clic con el botón derecho del ratón sobre la célula que desea eliminar, lo cual despliega un menú contextual (véase figura 3-8) del cual elige la opción “Eliminar célula”. Al hacer clic en esta opción, la célula queda eliminada del *área de trabajo* de VHAND.

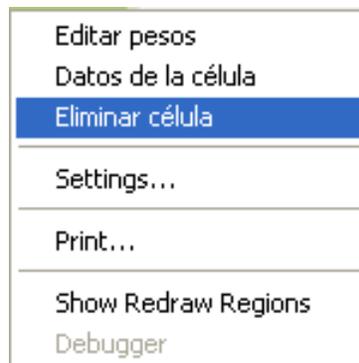


Figura 3-8. Menú contextual para eliminar células.

3.3.2 Diseño del MÓDULO 2 (Definir Trayectoria)

En este módulo, el usuario dibuja a través de segmentos de recta la trayectoria que seguirá el nodo móvil al ejecutar la simulación. Además, se carga la información asociada a cada segmento de recta dibujado.

De manera general, el módulo *Definir Trayectoria* está compuesta de dos casos de uso: **Dibujar segmento** e **Ingresar datos del segmento**. A su vez dibujar segmento esta compuesto de dos casos de uso, **Mover segmento** y **Eliminar trayectoria**. Por otra parte, el caso de uso **Modificar datos del segmento** extiende a Ingresar Datos del segmento, tal como se muestra en la figura 3-9.

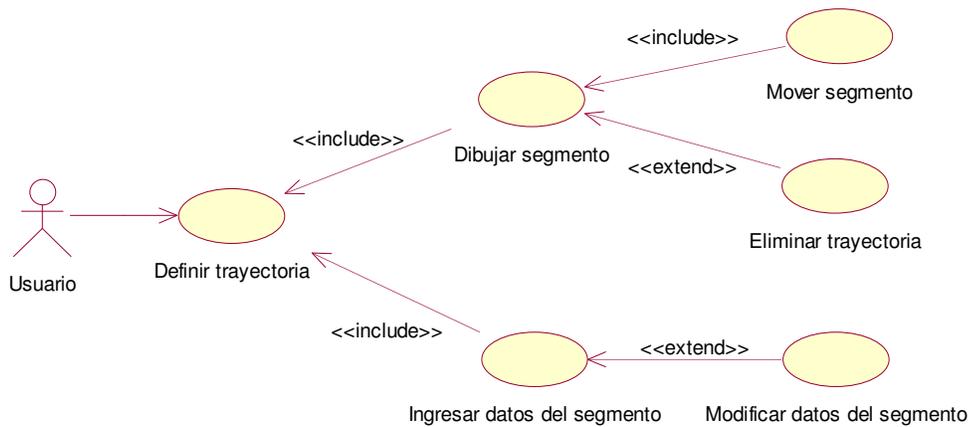


Figura 3-9. Diagrama de casos de uso del Módulo 2 - Definir Trayectoria.

El detalle de cada caso de uso es explicado en el **Anexo B**.

- **Modelo de datos asociado.**

De acuerdo al requerimiento **RDTR-02** cada segmento que dibuje el usuario deberá contener la información que se indica en la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Modelo de datos asociado al Módulo 2 – Definir Trayectoria.

Dato	Tipo de datos	Descripción	Proporción
idSegmento	Integer()	Es el número que identifica de manera única a cada segmento dibujado en el escenario.	VHAND
nombre	Varchar()	Es el nombre que se le asignará al segmento para que el usuario lo identifique con mayor facilidad. Por defecto el nombre del segmento está compuesto de acuerdo a la siguiente sintaxis: seg_ + numero de objeto dibujado	VHAND
tipoVelocidad	Varchar()	Es el tipo de velocidad que se ejecutará en cada segmento de recta. Puede ser <i>peatonal</i> o <i>vehicular</i> .	Usuario *

velocidad	Float()	Es la velocidad a la que se desplazará el nodo móvil en el segmento de recta durante la simulación. Se encuentra en los siguientes rangos: - Peatonal: hasta 2 m/seg. - Vehicular: hasta 200 km/hr.	Usuario *
tipoAplicacion	Varchar()	Se refiere al tipo de aplicación que se ejecuta en cada segmento de recta, la cual puede ser de dos tipos: de <i>datos</i> o <i>sensible al retardo</i> (<i>multimedia, voz, etc.</i>).	Usuario *
distancia	Float()	Es la distancia del segmento de recta dibujado. Este valor será almacenado en metros.	VHAND

* El valor de este dato es proporcionado inicialmente por VHAND, pero puede ser modificado por el usuario del sistema.

Según el requerimiento **RDTR-03**, los datos mostrados en la tabla 3-2 estarán precargados a partir de un documento externo. Para ello se diseñó el **Documento de Inicialización de Valores de Segmento (DIVS)** basado en XML, cuya estructura se ilustra en la figura 3-10.

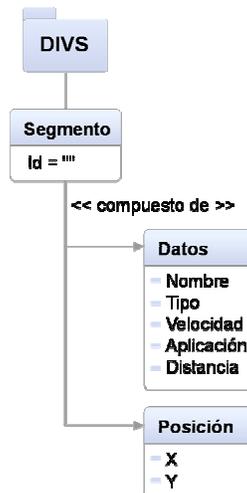


Figura 3-10. Estructura del Documento de Inicialización de Valores del Segmento.

La figura 3-11 muestra un ejemplo de cómo se utilizó un DIVS para especificar los datos de inicialización de un segmento.

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<segmento id="">
  <datos>
    <nombre></nombre>
    <tipo>peatonal</tipo>
    <velocidad>1</velocidad>
    <aplicacion>datos</aplicacion>
    <distancia>150</distancia>
  </datos>
  <posicion _x="" _y="" />
</segmento>

```

Figura 3-11. Uso de un Documento de Inicialización de Valores del Segmento.

- **Interfaces de usuario requeridas**

Para dibujar en el *área de trabajo* de VHAND, los segmentos que formarán parte de la trayectoria que seguirá el nodo móvil durante la simulación, y cumplir con el requerimiento **RDTR-01**, se diseñó una interfaz tal como se observa en la figura 3-12. Esta interfaz consta de una *barra de herramientas*, de la cual se usa el cuarto botón con la imagen de una flecha para dibujar un segmento de recta.



Figura 3-12. Interfaz del simulador VHAND para dibujar la trayectoria del nodo móvil.

Una vez dibujado un segmento en el *área de trabajo* del simulador, éste contiene como propiedades, los valores por defecto definidos en el DIVS. Sin embargo, para cumplir con el requerimiento **RDTR-04**, se diseñó un menú contextual con la opción "Datos de la trayectoria".

Si el usuario desea modificar la información de algún segmento de recta dibujado, primero selecciona el vértice de cualquier segmento y hace clic con el botón derecho del ratón. Posteriormente, elige la opción "Datos de la trayectoria" del menú contextual desplegado (véase figura 3-13a), presentando la ventana "Información Trayectoria" (véase figura 3-13b) que permite modificar los datos de cualquier segmento de recta.

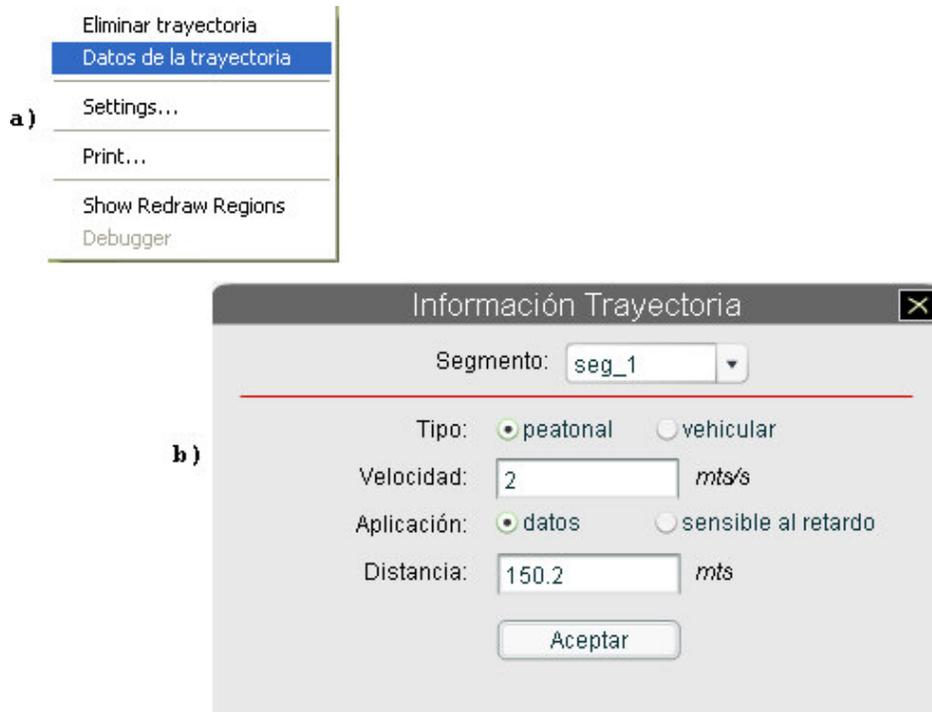


Figura 3-13. Menú contextual y ventana para modificar información de un segmento.

Para cumplir con el requerimiento **RDTR-05**, el usuario hace clic con el botón derecho del ratón en un vértice de cualquier segmento de la trayectoria. Posteriormente se despliega un menú contextual (véase figura 3-14) del cual elige la opción “Eliminar trayectoria” para eliminar del *área de trabajo* de VHAND todos los segmentos de recta dibujados.



Figura 3-14. Menú contextual para eliminar la trayectoria del nodo móvil.

3.3.3 Diseño del MÓDULO 3 (Cargar Parámetros de Inicialización)

En este módulo, el usuario ingresa información relacionada con: la carga inicial de la batería del nodo móvil; el costo de conexión de cada tecnología inalámbrica y el valor de los parámetros de control de handoff.

De manera general, el módulo *Cargar parámetros de Inicialización* está compuesta de los casos de uso: **Asignar carga inicial a la batería**, **Definir precios de conexión** y **Asignar valor a los parámetros de control** tal como se muestra en la figura 3-15.

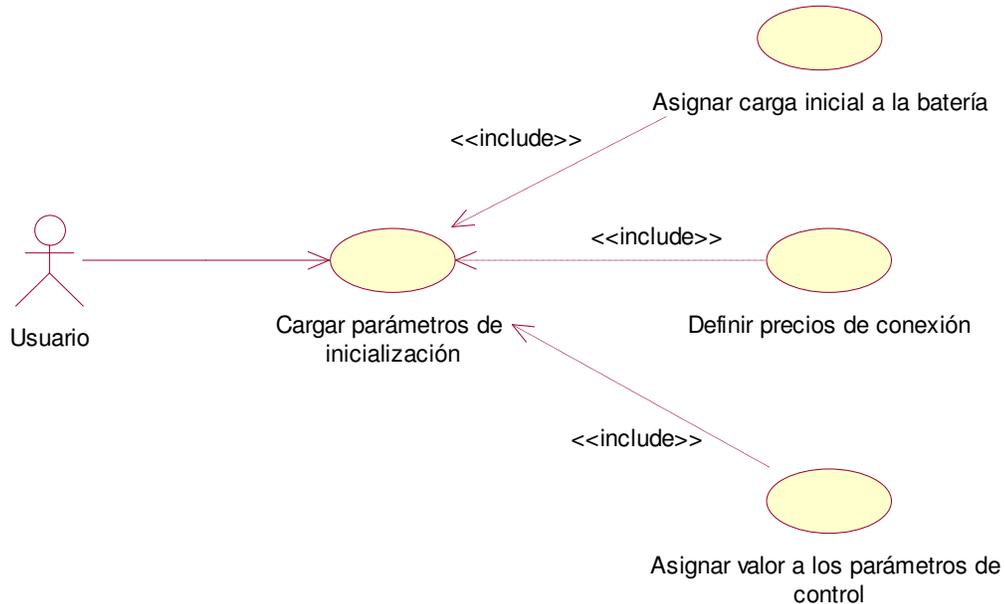


Figura 3-15. Diagrama de casos de uso del Módulo 3 –Cargar Parámetros de Inicialización.

El detalle de cada caso de uso es explicado en el **Anexo B**.

- **Modelo de datos asociado.**

Para cumplir con el requerimiento **RCPI-02**, se diseñó el **Documento de Inicialización de Valores de Carga de Parámetros (DIVCP)** basado en XML. Este documento contendrá los valores precargados para los precios de conexión de las tecnologías involucradas en el simulador, y para los valores iniciales de los parámetros de control de handoff. La estructura del DIVCP se ilustra en la figura 3-16.

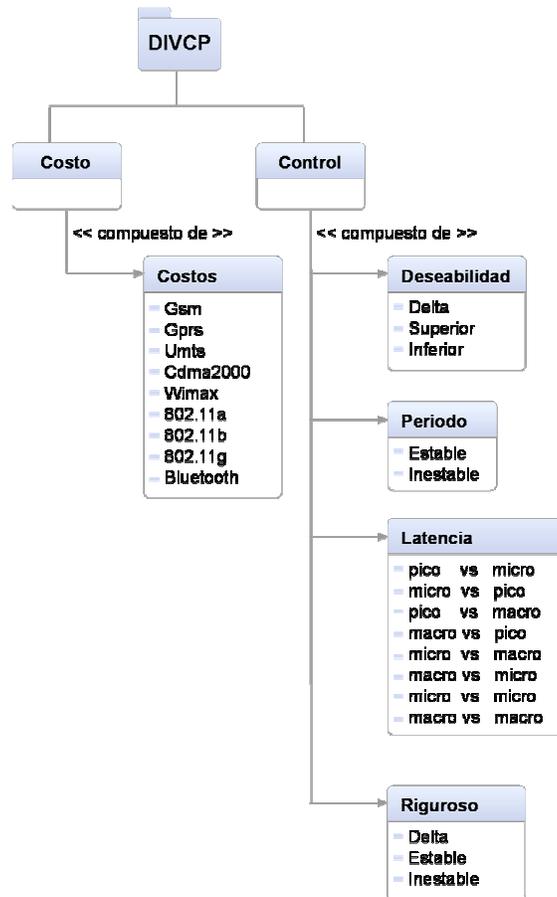


Figura 3-16. Estructura del Documento de Inicialización de Valores de Carga de Parámetros.

En la figura 3-16 se puede observar que no estamos considerando la “*Latencia*” de una picocélula a otra picocélula debido a que únicamente estamos haciendo uso de la tecnología Bluetooth.

La figura 3-17 muestra un ejemplo de cómo se utilizó un DIVCP para especificar los datos de inicialización de los costos de conexión de las tecnologías inalámbricas.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<costo>
  <gsm>10</gsm>
  <gprs>10</gprs>
  <umts>10</umts>
  <cdma2000>10</cdma2000>
  <wimax>10</wimax>
  <_80211a>10</_80211a>
  <_80211b>10</_80211b>
  <_80211g>10</_80211g>
  <bluetooth>10</bluetooth>
</costo>
```

Figura 3-17. Uso del Documento de Inicialización de Valores de Carga de Parámetros para los costos de conexión de las tecnologías usadas en el simulador.

En relación a la unidad de medida de los costos de conexión, como hay redes de acceso que cobran por tiempo, otras por cantidad de datos transmitidos, etc., consideramos usar una escala numérica del 0 al 25, donde el usuario elige un valor de la escala para definir el costo de cada red según su preferencia.

La figura 3-18 muestra un DIVCP para especificar los datos de inicialización de los parámetros de control de handoff.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<control>
  <deseabilidad>
    <delta>0.005</delta>
    <superior>0.008</superior>
    <inferior>0.002</inferior>
  </deseabilidad>
  <periodo>
    <estable>2</estable>
    <inestable>0.5</inestable>
  </periodo>
  <latencia>
    <pico_vs_micro>0.25</pico_vs_micro>
    <micro_vs_pico>0.25</micro_vs_pico>
    <pico_vs_macro>0.25</pico_vs_macro>
    <macro_vs_pico>0.25</macro_vs_pico>
    <micro_vs_macro>0.25</micro_vs_macro>
    <macro_vs_micro>0.25</macro_vs_micro>
    <micro_vs_micro>0.25</micro_vs_micro>
    <macro_vs_macro>0.25</macro_vs_macro>
  </latencia>
  <riguroso>
    <delta>0.003</delta>
    <estable>1</estable>
    <inestable>0.5</inestable>
  </riguroso>
</control>
```

Figura 3-18. Uso del Documento de Inicialización de Valores de Carga de Parámetros para los parámetros de control de handoff.

En relación a la unidad de medida de los parámetros de control de handoff, los valores de las variables *delta*, *superior* e *inferior* son valores numéricos sin unidad de medida, en tanto que los valores de las variables *estable*, *inestable* y *latencia* se encuentran expresados en segundos.

Las variables *delta*, *superior* e *inferior* representan umbrales de deseabilidad. Los valores asignados en el DIVCP a estas variables, se obtuvieron después de realizar una serie de pruebas al algoritmo para observar los resultados de deseabilidad arrojados para cada una de las redes simuladas.

En relación a los valores asignados a las latencias de handoff se consideraron valores inferiores a un segundo, de tal manera que con este tiempo el HO no sea perceptible por el usuario.

- **Interfaces de usuario requeridas**

Para cumplir con el requerimiento **RCPI-01**, se diseñó una interfaz tal como se observa en la figura 3-19. Esta interfaz consta de una *barra de opciones*, de la cual se usan los primeros tres botones: el botón *Pila*, para asignar la carga inicial de la batería del nodo móvil; el botón *Costos*, para capturar los costos de conexión de cada tecnología usada en el simulador; y el botón *Control*, para capturar el valor de los parámetros de control de handoff.

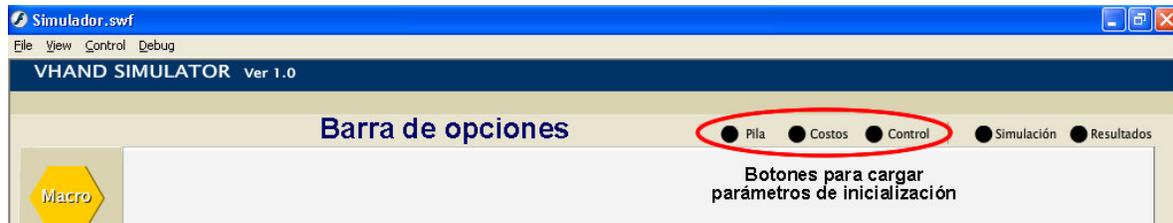


Figura 3-19. Interfaz del simulador VHAND para capturar la carga de los parámetros de inicialización.

Para ingresar la carga inicial de la batería del nodo móvil, se hace clic en el botón “Pila” de la *barra de opciones*. Posteriormente, se despliega la ventana “Información de la Pila” para que el usuario ingrese el valor correspondiente (véase figura 3-20).

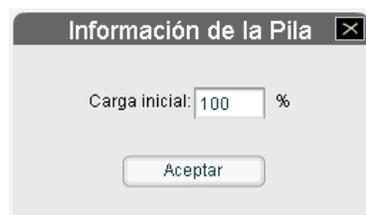


Figura 3-20. Ventana para capturar la carga inicial de la batería del nodo móvil.

Para ingresar el costo de conexión de cada tecnología inalámbrica, se hace clic en el botón “Costos” de la *barra de opciones* del simulador. La función de este botón es desplegar la ventana “Costos de conexión” que contiene las tecnologías inalámbricas para que el usuario ingrese el costo por conectarse a cada una (véase figura 3-21). En esta figura el valor asignado al costo de conexión para cada red, es una escala comprendida del 0 al 25. Decidimos usar una escala en lugar de una unidad de medida en particular, debido a que los proveedores de internet cobran en algunos casos por tiempo, otras por cantidad de datos transmitidos, etc.

Tecnología	Costo
GSM:	10
GPRS:	10
UMTS:	10
CDMA 2000:	10
WIMAX:	10
802.11a:	10
802.11b:	10
802.11g:	10
Bluetooth:	10

Aceptar

Figura 3-21. Ventana para capturar los costos de conexión de las tecnologías usadas en el simulador.

Para ingresar el valor de los parámetros de control de handoff, se cuenta con el botón “Control” de la *barra de opciones* del simulador. La función del botón es desplegar la ventana “Parámetros de control” que contiene la lista de los parámetros de control (véase figura 3-22). En esta figura las variables SP , IN y LHO están expresadas en segundos.

	Ajuste relajado	Ajuste riguroso
Umbral de histéresis de deseabilidad:	0.005	0.003
Periodo de estabilidad (SP):	2	1
Periodo de inestabilidad (IN):	0.5	0.5

Umbral de deseabilidad - superior (Thsup):	0.008
-inferior (Thinf):	0.002

Latencia del handoff (LHO)	
- pico a micro:	0.25
- micro a pico:	0.25
- pico a macro:	0.25
- macro a pico:	0.35
- micro a macro:	0.35
- macro a micro:	0.30
- micro a micro:	0.20
- macro a macro:	0.30

Aceptar

Figura 3-22. Ventana para capturar el valor de los parámetros de control de handoff.

3.3.4 Diseño del MÓDULO 4 (Ejecutar Simulación)

La finalidad de este módulo es mostrar en el *área de trabajo* del simulador el desplazamiento del nodo móvil a través de la trayectoria definida. A medida que se desplaza el nodo móvil en cada unidad de tiempo, este módulo se comunica con el módulo *Detección de Redes Alcanzables* y el *Algoritmo de Decisión de handoff*.

De manera general, en este módulo, el usuario se comunica con el caso de uso: **Ejecutar simulación**, tal como se observa en la figura 3-23.

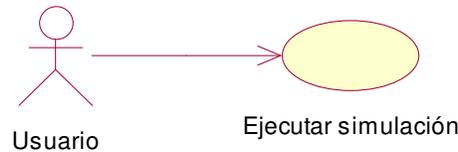


Figura 3-23. Diagrama de casos de uso del Módulo 4 – Ejecutar Simulación.

El detalle del caso de uso es explicado en el **Anexo B** de esta tesis.

- **Interfaces de usuario requeridas**

Para cumplir con el requerimiento **RESI-01**, se diseñó una interfaz tal como se observa en la figura 3-24. Esta interfaz consta de una *barra de opciones*, de la cual se usa el botón *Simulación* para dar inicio a la ejecución de la simulación.

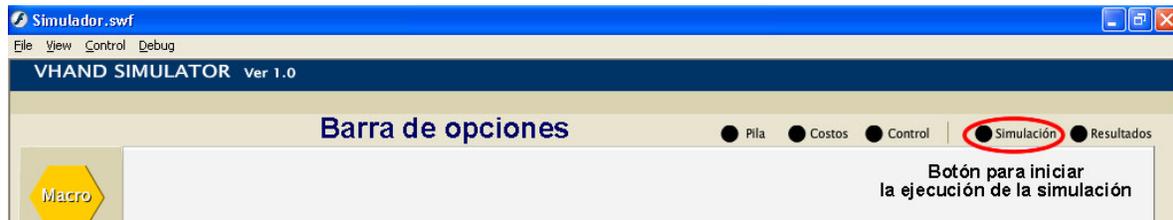


Figura 3-24. Interfaz del simulador VHAND para iniciar la ejecución de la simulación.

3.3.5 Diseño del MÓDULO 5 (Ver Resultados)

El propósito de este módulo es mostrar los resultados obtenidos al final de la simulación, que faciliten el análisis del algoritmo de decisiones. Para esto, el simulador deberá arrojar por cada unidad de tiempo la siguiente información:

- Para cada red descubierta: Nombre de la red, valor de cada criterio de handoff, peso de cada criterio de handoff y deseabilidad de la red.
- Nombre de la red actual y de la mejor red.

- En caso de ejecutar un handoff: red a la que estaba conectado el nodo móvil antes del handoff, red a la que se conectará el nodo móvil al hacer el handoff y tipo de handoff realizado (oportunista o imperativo).
- En caso de iniciar la preparación del handoff y no llegar a ejecutarlo, se desplegará la razón por la cual no se llevó a cabo dicha ejecución.

En este módulo, el usuario se comunica con el caso de uso: **Ver resultados**, tal como se observa en la figura 3-25.

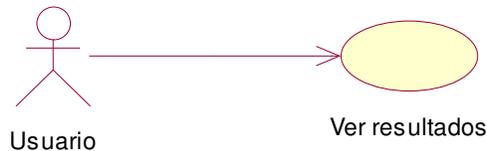


Figura 3-25. Diagrama de casos de uso del Módulo 5 – Ver Resultados.

El detalle del caso de uso es explicado en el **Anexo B** de esta tesis.

• Interfaces de usuario requeridas

Para cumplir con el requerimiento **RRSI-01**, se diseñó una interfaz tal como se observa en la figura 3-26. Esta interfaz consta de una *barra de opciones*, de la cual se usa el botón *Resultados* para observar en una ventana los resultados de la simulación.

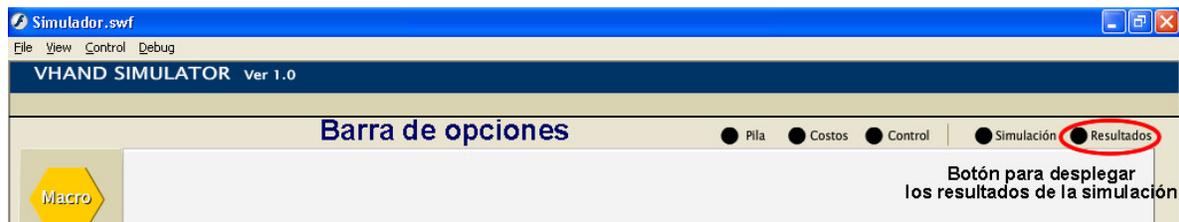


Figura 3-26. Interfaz del simulador VHAND para observar los resultados de la simulación.

Al hacer clic en el botón “Resultados”, el sistema despliega la ventana “Información de resultados” donde se encuentran los resultados de la simulación. Estos resultados, se pueden seleccionar y copiar en un archivo de texto para que el usuario final los analice posteriormente, de tal manera que se cumpla con el requerimiento **RRSI-02**.

3.3.6 Diseño del MÓDULO 6 (Detectar Redes Alcanzables)

Este módulo da inicio al ejecutar la simulación. Tiene como finalidad descubrir en cada unidad de tiempo, las redes a las que el nodo móvil tiene alcance

dependiendo de la posición en la que se encuentre. Finalmente, le proporciona al Algoritmo de decisión la lista de redes descubiertas.

La figura 3-27 muestra el diagrama de flujo para este módulo.

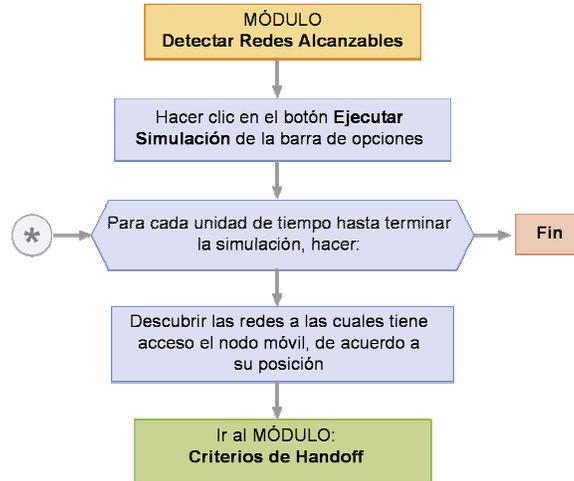


Figura 3-27. Diagrama de flujo del Módulo 5- Detectar Redes Alcanzables.

En la figura 3-27, la simulación se termina (llega a *Fin*) cuando el nodo móvil ha recorrido toda la trayectoria dibujada, o bien, cuando el porcentaje de carga en la batería del nodo móvil es igual o menor al 25%.

3.4 Implementación del Algoritmo de Decisión

Como se mencionó anteriormente, el módulo 6, le proporciona la lista de redes alcanzables al Algoritmo de Decisión, la cual sirve como entrada para el Algoritmo de decisión.

Para implementar el algoritmo ARDE, usamos dos módulos: Criterios de handoff y Políticas de handoff. Estos módulos serán usados para determinar la mejor red y el momento oportuno para ejecutar el handoff, respectivamente.

3.4.1 Implementación del Módulo Criterios de Handoff

Propósito: Calcular la métrica de deseabilidad de cada red alcanzable en el instante t .

Entradas:

- Lista de redes alcanzables en un instante t , proporcionada por el módulo 6 (Detectar Redes Alcanzables).
- Lista de criterios de handoff. Los criterios que son considerados para el algoritmo de decisiones son los siguientes:
 - Distancia del nodo móvil a la estación base (DIS).

- Potencia de la señal recibida (RSS).
 - Razón señal a ruido (SNR).
 - Tasa de bits con error (BER).
 - Precio de conexión a la tecnología inalámbrica (COSTO).
 - Ancho de banda (BW).
 - Tasa de transferencia real (TTR).
 - Latencia o retardo (LATE).
 - Utilización del ancho de banda (UBW).
- Peso asignado a cada criterio de handoff para cada red descubierta. Este peso es proporcionado por el usuario en el módulo 1.

Por cada célula descubierta y por cada instante de tiempo t , se calcula el valor asociado a cada criterio de handoff. En la figura 2-6, estos valores fueron representados por los términos $C_{m,i}(t)$. En el anexo C se muestra la forma como se obtiene el cálculo de cada uno de estos criterios de handoff.

Una vez obtenidos dichos valores, usamos la fórmula 2 para obtener la deseabilidad $D_m(t)$ de cada red descubierta m , en el instante de tiempo t [Gonz06]. La fórmula 2 fue obtenida a partir de la ecuación 1, explicada en el capítulo 2 de esta tesis (véase sección 2.5, página 15).

$$D_m(t) = W_{DIS} \ln(1/DIS(t)) + W_{RSS} \ln(RSS(t)) + W_{SNR} \ln(SNR(t)) + W_{BER} \ln(1/BER(t)) + W_{COSTO} \ln(1/COSTO(t)) + W_{BW} \ln(BW(t)) + W_{TTR} \ln(TTR(t)) + W_{LATE} \ln(1/LATE(t)) + W_{UBW} \ln(1/UBW(t)) \quad (2)$$

El valor de $D_m(t)$ es numérico sin unidad de medida debido a que cada uno de los términos de la fórmula 2 se encuentra normalizado mediante una escala logarítmica. La normalización fue necesaria porque cada criterio de handoff empleado en la fórmula 2 está expresado en unidades diferentes [Gonz06].

Salidas: Para cada instante de tiempo t , las salidas incluyen los siguientes resultados:

- El valor de deseabilidad de cada red descubierta.
- El nombre de la mejor red y su valor de deseabilidad.
- El nombre de la red actual y su valor de deseabilidad.

La mejor red es aquella que presenta el valor más alto de deseabilidad, y la red actual es aquella que mantiene la conexión actual del nodo móvil.

Diagrama:

La figura 3-28 muestra el diagrama de flujo para el módulo Criterios de handoff.

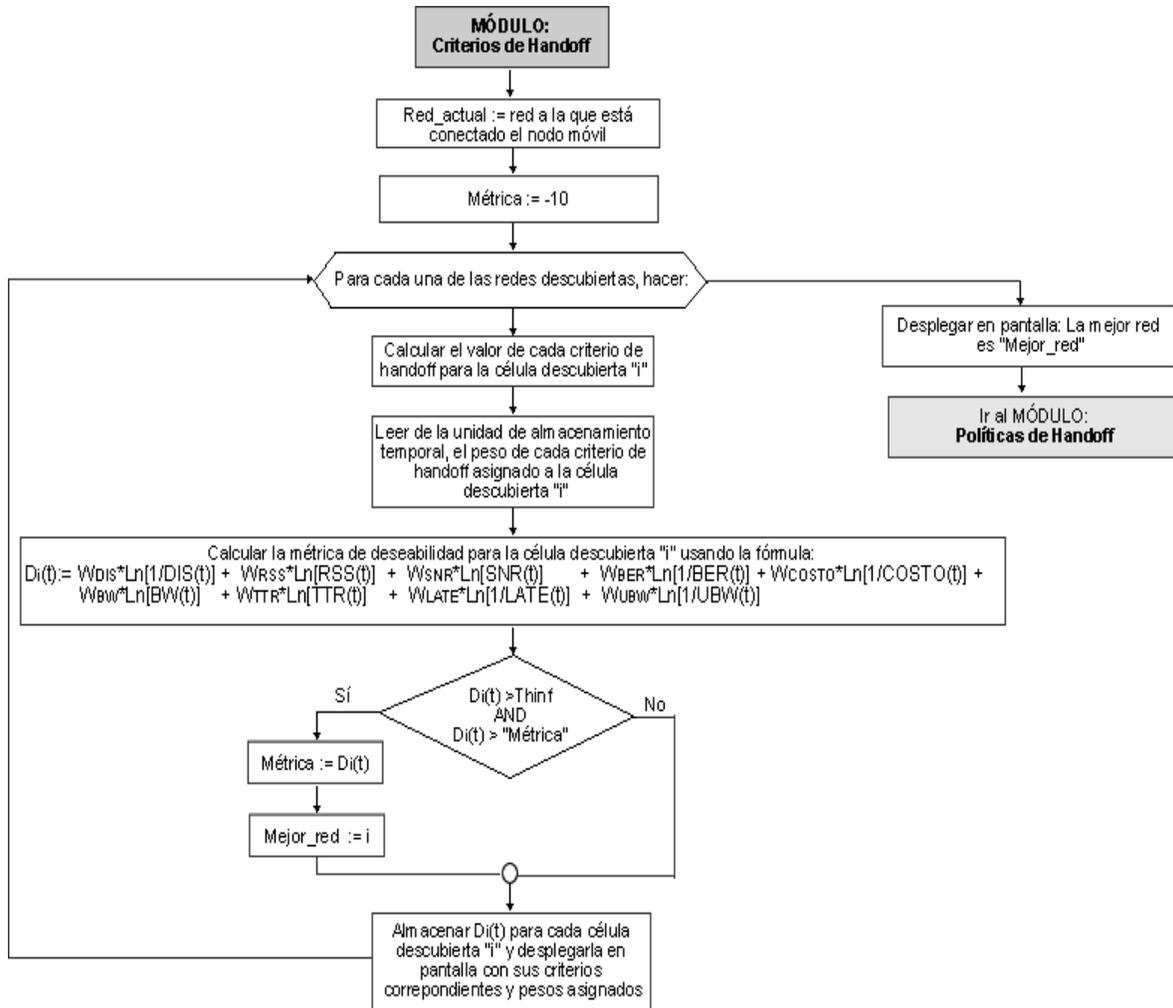


Figura 3-28. Diagrama de flujo del Módulo Criterios de handoff.

Para ver el código de este módulo, consulte el **Anexo D** en la función “getMejorRed()”.

3.4.2 Implementación del Módulo Políticas de Handoff

Propósito: Determinar el momento oportuno para hacer el handoff. El monitoreo de la mejor red se realiza cada segundo.

Entradas: Cuando el algoritmo detecta que la mejor red es diferente a la red actual, entonces proporciona la siguiente información:

- El nombre de la mejor red y su valor de deseabilidad, proporcionados por el módulo Criterios de Handoff.
- El nombre de la red actual y su valor de deseabilidad, proporcionados por el módulo Criterios de Handoff.
- El valor de los parámetros de control de handoff, proporcionados por el usuario en el módulo 3.

Para ejecutar el handoff, el algoritmo requiere determinar primeramente que tipo de handoff se esta llevando a cabo (oportunista o imperativo). Dependiendo del tipo de handoff y del tipo de aplicación actual, se van a ajustar los parámetros: Δ , SP e IN. Una vez hecho el ajuste apropiado, se verifica si la deseabilidad relativa es mayor o igual que Δ . Si esta condición se cumple, se comprueba que se mantenga durante un periodo de estabilidad. En caso que alguna de las condiciones anteriores no se cumpla, se regresa al módulo detectar redes alcanzables para la siguiente unidad de tiempo. Si finaliza el periodo de estabilidad con la mejor red teniendo una deseabilidad mejor que la actual por encima de un valor Δ , entonces se procede a verificar el cumplimiento de las políticas de handoff (descritas en el capítulo 2), las cuales determinan finalmente si se ejecuta o no el handoff. La figura 3-29 presenta el diagrama de flujo de este módulo.

En el anexo C se muestra el cálculo de cada una de las políticas de handoff usadas en el simulador.

- Salidas:**
- En caso de ejecutar el handoff, especifica el tipo de handoff realizado, la red origen a la que estaba conectado el nodo móvil y la red destino a la que se conectará el nodo móvil al hacer el handoff.
 - En caso de no ejecutar el handoff, indicar la razón por la cual no se ejecutó el handoff.

La figura 3-29 muestra el diagrama de flujo para el módulo Políticas de handoff.

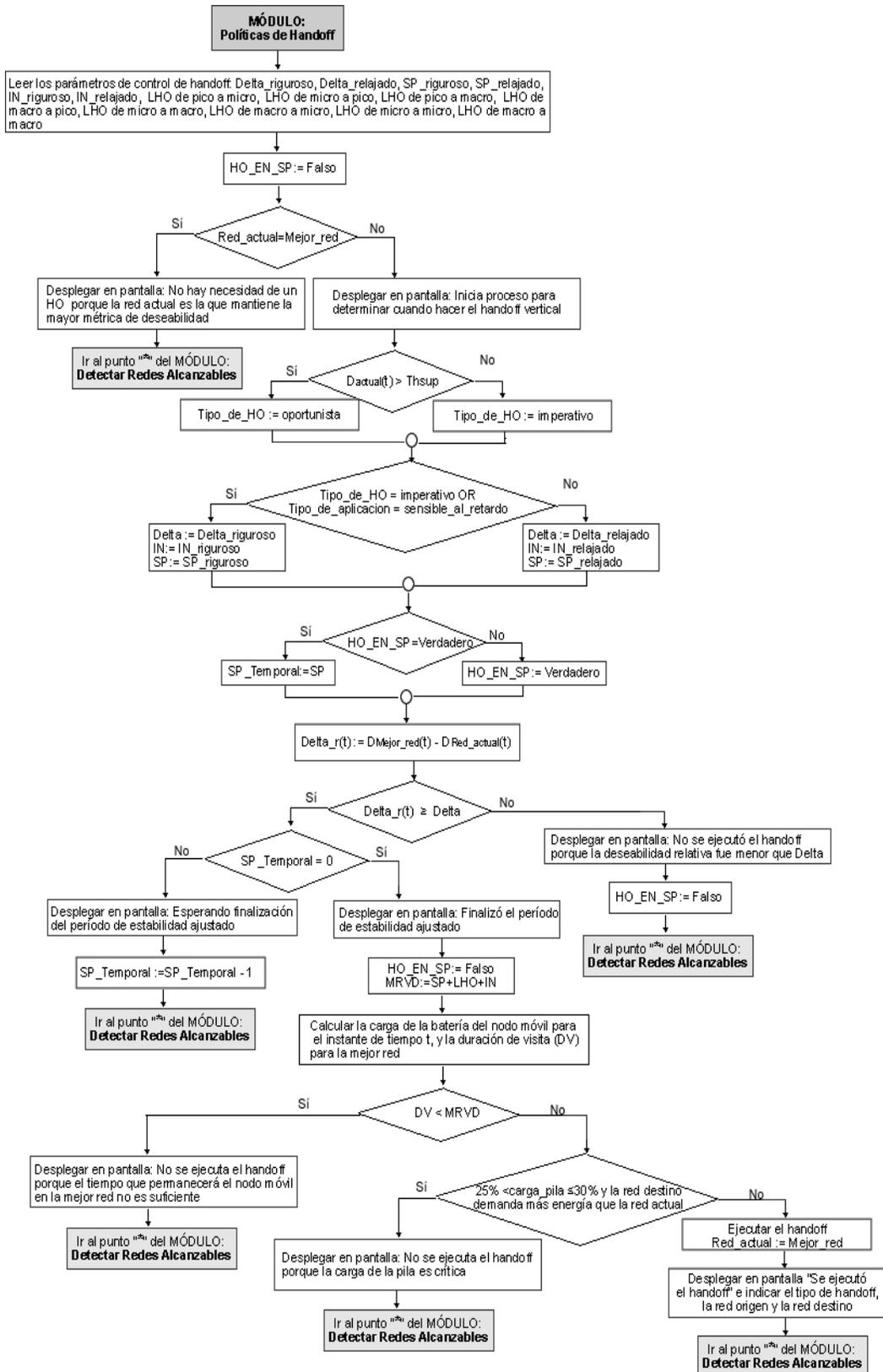


Figura 3-29. Diagrama de flujo del Módulo Políticas de handoff.

Para ver el código de éste módulo, consulte el **Anexo D** en la función “revisarHandoff()”.

3.5 Información guardada en la unidad de almacenamiento temporal

A medida que se ingresan las características de las células, segmentos de recta, carga de la batería del nodo móvil, costo de conexión de cada tecnología inalámbrica, peso de cada criterio de handoff, valor de los parámetros de control y durante la ejecución de la simulación, se almacena de manera temporal la siguiente información:

Para cada célula:

- Un identificador.
- Un nombre.
- El tipo de célula para identificar si es una macrocélula, microcélula o picocélula.
- El tipo de tecnología.
- La potencia de transmisión de su estación base.
- La cantidad de usuarios conectados.
- El radio de cobertura.
- Los pesos asignados a cada criterio de handoff.

Para cada segmento de recta:

- Un identificador.
- Un nombre.
- El tipo de aplicación.
- El tipo de velocidad.
- El valor de la velocidad.
- La longitud del segmento.

Por cada unidad de tiempo:

- Red descubierta por el nodo móvil.
- Valor de cada criterio:
 - Distancia del nodo móvil a la estación base.
 - Potencia de la señal recibida.
 - Razón señal a ruido.
 - Tasa de bits con error.
 - Precio de conexión a la tecnología de acceso.
 - Ancho de banda de la red.
 - Tasa de transferencia real.
 - Latencia o retardo en la propagación.
 - Utilización del ancho de banda.
- Deseabilidad de la red descubierta.
- Nivel de carga en la batería del nodo móvil.
- Velocidad del nodo móvil.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo inicia con un listado del hardware y de las herramientas de software empleados para implementar y probar el simulador VHAND. Posteriormente, se presentan dos escenarios de prueba, describiendo sus características y su forma de construcción. Dichos escenarios se construyen con el objetivo de analizar el algoritmo de decisión de handoff. Finalmente, el capítulo concluye mostrando el análisis de los resultados obtenidos para cada escenario.

4.1 Hardware y software para realizar las pruebas al simulador

Las características del equipo y del software empleado para probar el simulador son:

Características del equipo:

- Procesador: AMD Athlon a 1.20 GHz.
- Capacidad del disco duro: 28 GB.
- Memoria: 512 MB RAM.
- Sistema operativo: Microsoft Windows XP Professional versión 2002.

Software para el desarrollo del simulador:

- Macromedia Flash Professional 8.0.
- ActionScript 2.0, como lenguaje de programación.
- XML, para los archivos externos de configuración inicial.

4.2 Definición de escenarios de prueba

Para realizar las pruebas al simulador y analizar el desempeño del algoritmo ARDE decidimos construir dos escenarios de prueba: uno para probar decisiones correctas y otro para probar decisiones oportunas. ARDE toma una decisión correcta cuando logra conectar el nodo móvil a la mejor red. Por otra parte, toma una decisión oportuna, cuando al ejecutar el handoff verifica el cumplimiento de todas las condiciones y políticas requeridas.

4.2.1 Escenario A: prueba de decisiones correctas

Para este escenario usamos 1 macrocélula, 2 microcélulas y 1 picocélula, las cuales fueron distribuidas en el *área de trabajo* de VHAND tal como se ilustra en la figura 4-1.

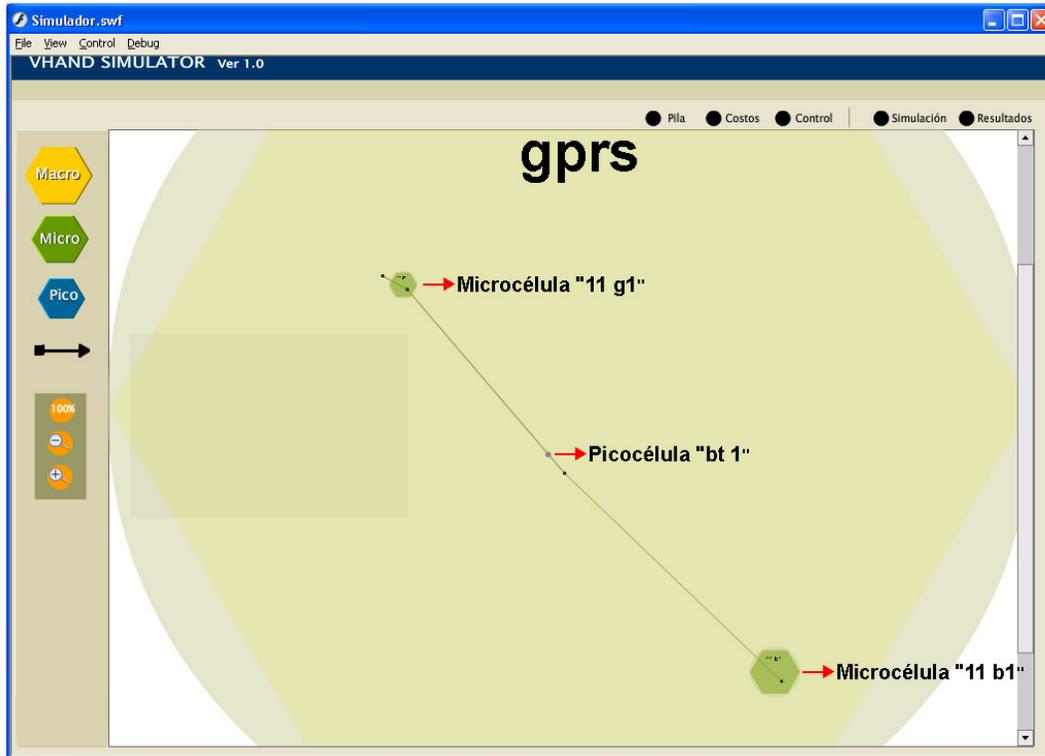


Figura 4-1. Diseño del escenario para la prueba 1.

Las características de cada una de las células empleadas en esta prueba, son descritas en la tabla 4-1.

Tabla 4-1. Datos de las células que forman la topología de red para la prueba 1

Tipo de célula	Nombre	Tecnología	Potencia (mW)	Cantidad de usuarios	Radio de cobertura (mts)	Costo de la tecnología
Macrocélula	gprs	GPRS	1000	30	1500.0	25
Microcélula	11 g1	802.11g	500	5	45.5	15
Microcélula	11 b1	802.11b	1000	1	82.0	12
Picocélula	bt 1	Bluetooth	2.5	1	10.0	5

El peso que se asignó a cada criterio de handoff y para cada célula se muestra en la tabla 4-2.

Tabla 4-2. Peso asignado al criterio de handoff de cada célula, para la prueba 1

Criterio de handoff	Peso asignado a la célula			
	gprs	11 g1	11 b1	bt 1
Distancia del nodo móvil a la estación base	1	1	1	1
Potencia de la señal recibida	2	2	2	2
Razón señal a ruido	6	6	6	6
Tasa de bits con error	5	5	5	5
Precio de conexión a la tecnología de acceso	9	9	9	9
Ancho de banda de la red	8	8	8	8
Tasa de transferencia real	7	7	7	7
Latencia	4	4	4	4
Utilización del ancho de banda	3	3	3	3

La trayectoria definida para el nodo móvil está formada de 3 segmentos de recta, y fue dibujada tal como se muestra en la figura 4-1. En la figura 4-1, el primer segmento de recta es el que se observa más a la izquierda de la trayectoria y el tercer segmento es el que se observa más a la derecha.

Las características de cada segmento de recta se describen en la tabla 4-3. En esta tabla el número del segmento 1 corresponde al segmento que forma el extremo izquierdo de la trayectoria, y el número del segmento 3 corresponde al segmento que forma el extremo derecho.

Tabla 4-3. Datos de los segmentos que forman la trayectoria del nodo móvil para la prueba 1.

Núm. del segmento	Nombre del segmento	Tipo de velocidad	Velocidad	Tipo de aplicación	Distancia
1	Seg_5	Peatonal	2 m/seg	Datos	91.302 m
2	Seg_6	Vehicular	100 Km/hr	Sensible al retardo	0.784 Km
3	Seg_7	Vehicular	20 Km/hr	Sensible al retardo	0.975 Km

El porcentaje de carga inicial de la batería del nodo móvil es del 100%. El valor de los parámetros de handoff usados en esta prueba se describe en la tabla 4-4.

Tabla 4-4. Valor de los parámetros de control usados para la prueba 1.

Parámetro de control	Valor
Δ relajado	0.005
SP relajado	3
IN relajado	1
Δ riguroso	0.003
SP riguroso	1
IN riguroso	1
Thsup	0.008
Thinf	0.002
LHO	0.25

* Excepto en LHO de macrocélulas a microcélulas donde se usó 0.20 segundos

4.2.2 Escenario B: prueba de decisiones oportunas

Para este escenario usamos 2 macrocélulas, 4 microcélulas y 3 picocélulas, las cuales fueron distribuidas en el *área de trabajo* de VHAND tal como se ilustra en la figura 4-2.

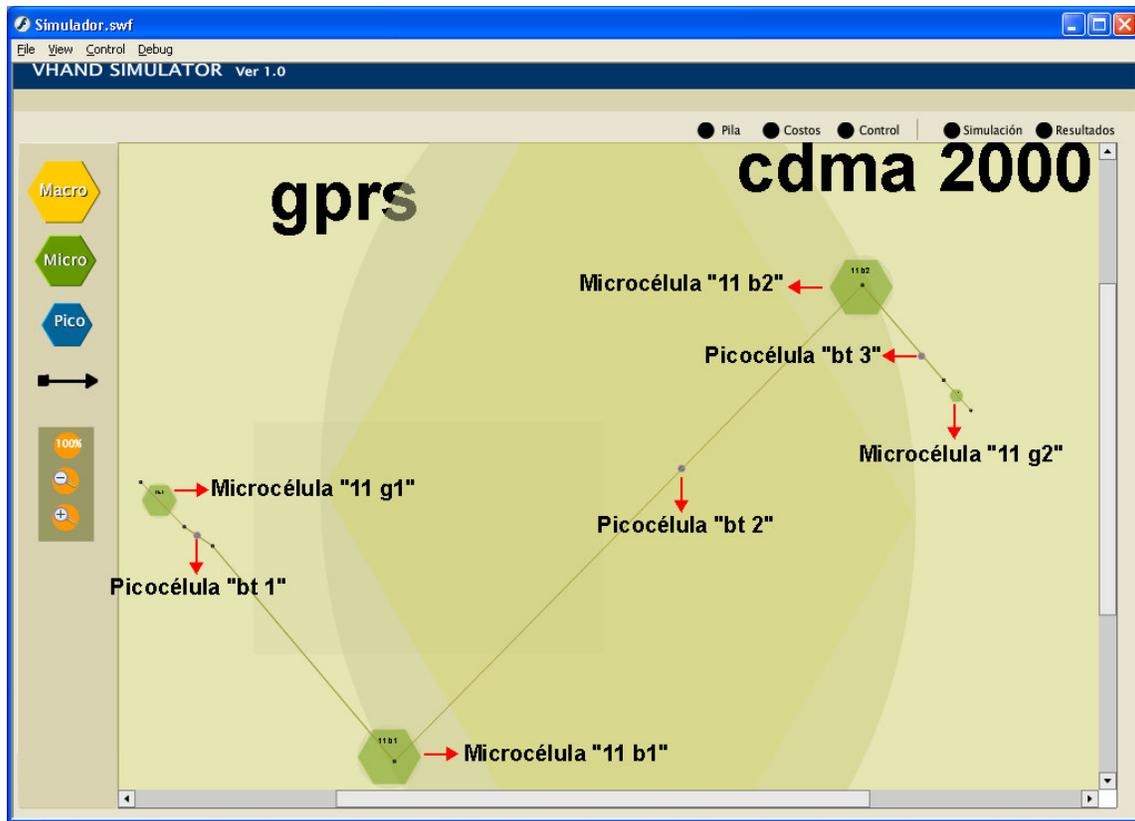


Figura 4-2. Diseño del escenario para la prueba 2.

Las características de cada una de las células empleadas en esta prueba, son descritas en la tabla 4-5.

Tabla 4-5. Datos de las células que forman la topología de red para la prueba 2.

Tipo de célula	Nombre	Tecnología	Potencia (mW)	Cantidad de usuarios	Radio de cobertura (mts)	Costo de la tecnología
macrocélula	gprs	GPRS	1000	30	1500.0	10
macrocélula	cdma 2000	CDMA 2000	1000	10	1500.0	10
microcélula	11 g1	802.11g	500	5	45.5	10
microcélula	11 b1	802.11b	1000	1	82.0	10
microcélula	11 b2	802.11b	1000	10	82.0	10
microcélula	11 g2	802.11g	200	5	18.2	10
picocélula	bt 1	Bluetooth	2.5	1	10.0	10
picocélula	bt 2	Bluetooth	2.5	1	10.0	10
picocélula	bt 3	Bluetooth	2.5	1	10.0	10

Para esta prueba, a todas las células, se les asignó un peso de 5 en cada uno de sus criterios de handoff.

La trayectoria que recorrerá el nodo móvil está formada de 6 segmentos de recta, y fue dibujada tal como se muestra en la figura 4-2 (el orden en el que se dibujaron los segmentos es de izquierda a derecha). Las características de cada segmento de recta se describen en la tabla 4-6.

Tabla 4-6. Datos de los segmentos que forman la trayectoria del nodo móvil para la prueba 2.

Núm. del segmento	Nombre del segmento	Tipo de velocidad	Velocidad	Tipo de aplicación	Distancia
1	Seg_12	Vehicular	70 Km/hr	Sensible al retardo	0.161 Km
2	Seg_13	Peatonal	2 m/seg	Datos	88.070 m
3	Seg_14	Vehicular	90 Km/hr	Sensible al retardo	0.726 Km
4	Seg_15	Vehicular	130 Km/hr	Sensible al retardo	1.720 Km
5	Seg_16	Vehicular	100 Km/hr	Datos	0.323 Km
6	Seg_17	Peatonal	2 m/seg	Sensible al retardo	104.433 m

Para esta prueba, el porcentaje de carga inicial de la batería del nodo móvil es del 80%. Por último, en cuanto a los valores de los parámetros de handoff se empleó 0.25 segundos para las latencias de handoff (LHO) de una célula a otra; el valor de los parámetros de handoff restantes se describe en la tabla 4-7.

Tabla 4-7. Valor de los parámetros de control usados para la prueba 2.

Parámetro de control	Valor
Δ relajado	0.05
SP relajado	2
IN relajado	1
Δ riguroso	0.003
SP riguroso	1
IN riguroso	1
Thsup	1.8
Thinf	0.002

4.3 Construcción de los escenarios de prueba

De manera general, el proceso de construcción de escenarios de prueba está compuesto de 3 módulos comunes:

MÓDULO 1. Diseñar la topología de red.

MÓDULO 2. Definir la trayectoria del nodo móvil.

MÓDULO 3. Cargar los parámetros de inicialización.

Se recomienda leer el capítulo 3, secciones: 3.3.1, 3.3.2 y 3.3.3, para conocer los detalles de la interfaz de usuario involucradas en estas etapas.

A continuación se describen cada uno de los módulos del proceso de construcción de escenarios.

4.3.1 MÓDULO 1. Diseñar la topología de red

Este módulo, incluye los siguientes pasos:

1. Dibujar las células de red.
2. Mover las células a la posición deseada.
3. Ingresar las características de cada célula.
4. Ingresar el peso de los criterios de handoff.

Paso 1. Para dibujar las células de red en el *área de trabajo* de VHAND, se realiza el siguiente procedimiento:

- A. Se hace clic en el botón “Macro”, “Micro” o “Pico” de la *barra de herramientas* de VHAND de acuerdo al tipo de célula que se desea dibujar. VHAND dibuja automáticamente la célula, en su *área de trabajo*.

Paso 2. Cuando VHAND dibuja las células, las posiciona en el mismo lugar del *área de trabajo*. Por lo tanto, es necesario moverlas a la posición deseada. Para mover una célula se realiza el siguiente procedimiento:

- A. Se hace clic en la célula que se desea mover.
- B. Sin soltar el botón izquierdo del ratón, se mueve la célula a la posición deseada.
- C. Se libera el botón izquierdo del ratón.

Paso 3. Para ingresar las características de cada célula se realiza el siguiente procedimiento:

- A. Se posiciona el puntero del ratón sobre la célula deseada.
- B. Se hace clic con el botón derecho del ratón para desplegar su menú contextual.
- C. Se hace clic en la opción “Datos de la célula” del menú contextual. Con ello se despliega la ventana “Información Macrocélula”, “Información Microcélula” o “Información Picocélula” según sea el caso.
- D. Se introducen los datos: nombre de la célula, tecnología, potencia de transmisión de la estación base y la cantidad de usuarios conectados a la célula.
- E. Se hace clic en el botón “Aceptar”. Inmediatamente después, VHAND calcula mediante fórmulas el radio de cobertura de la célula y actualiza este valor.
- F. Para terminar, se hace clic en el botón “cerrar”.

Paso 4. Para ingresar el peso a cada criterio de handoff, se realiza el siguiente procedimiento:

- A. Se posiciona el puntero del ratón sobre la célula deseada.
- B. Se hace clic con el botón derecho del ratón para desplegar su menú contextual.
- C. Se hace clic en la opción “Editar pesos” del menú contextual. Con ello se despliega la ventana “Pesos de los criterios de Handoff”.
- D. Se introduce el peso a cada criterio de handoff.
- E. Una vez introducidos todos los pesos, se hace clic en el botón “Aceptar”. Inmediatamente, VHAND calcula el porcentaje correspondiente a cada criterio de handoff.
- F. Para terminar, se hace clic en el botón “cerrar”.

4.3.2 MÓDULO 2. Definir la trayectoria del nodo móvil

La definición de la trayectoria del nodo móvil, incluye los siguientes pasos:

1. Dibujar los segmentos de recta, que forman la trayectoria del nodo móvil.
2. Mover los segmentos de recta a la posición deseada.
3. Ingresar las características de cada segmento.

Paso 1. Para dibujar los segmentos de recta en el *área de trabajo* de VHAND, se realiza el siguiente procedimiento:

- A. De la barra de herramientas de VHAND, se hace clic en el botón que tiene la imagen de una flecha. VHAND dibuja automáticamente en el área de trabajo el segmento de recta.
- B. Se repite el paso anterior, tantas veces como segmentos de recta se deseen dibujar.

Paso 2. Para mover los segmentos de recta a la posición deseada, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se hace clic en el vértice del segmento que se desea mover.
2. Sin soltar el botón izquierdo del ratón, se mueve el vértice a la posición deseada.
3. Se libera el botón izquierdo del ratón.

Paso 3. Para ingresar las características de cada segmento se realiza el siguiente procedimiento:

- A. Se selecciona un vértice de cualquier segmento de recta.
- B. Se hace clic con el botón derecho del ratón, sobre el vértice seleccionado. Con ello se despliega un menú contextual.
- C. Se hace clic en la opción “Datos de la trayectoria” del menú contextual para desplegar la ventana de captura “Información Trayectoria”.
- D. En la opción segmento, se selecciona el nombre del segmento al que se desea ingresar sus características, al hacerlo se despliega la distancia del segmento de recta seleccionado. Posteriormente se realiza lo siguiente:
 - I. Se introducen los datos: tipo de velocidad, velocidad y tipo de aplicación.
 - II. Se hace clic en el botón “Aceptar”.
- E. Se repite el punto anterior *D*, hasta terminar con todos los segmentos de recta.
- F. Para terminar, se hace clic en el botón “cerrar”.

4.3.3 MÓDULO 3. Cargar los parámetros de inicialización.

Esta etapa es opcional para el usuario, ya que por defecto los parámetros de inicialización fueron precargados por VHAND.

La carga de los parámetros de inicialización incluye los siguientes pasos:

- Introducir la carga inicial de la batería del nodo móvil.
- Introducir los costos de conexión asociados a cada tecnología.
- Introducir el valor de los parámetros de handoff.

Nota: El orden en que se lleven a cabo estos pasos es irrelevante.

Paso 1. Para introducir la carga inicial de la batería del nodo móvil, se realiza lo siguiente:

- A. Se hace clic en el botón “Pila” de la *barra de opciones* de VHAND. Con ello se despliega la ventana “Información de la Pila”.
- B. En la opción “Carga Inicial” se introduce el porcentaje de carga disponible en la batería del nodo móvil.
- C. Se hace clic en el botón “Aceptar”.
- D. Para terminar, se hace clic en el botón “cerrar”.

Paso 2. Para introducir los costos de conexión asociados a cada tecnología, se sigue este procedimiento:

- A. Se hace clic en el botón “Costos” de la *barra de opciones* de VHAND, con lo cual se despliega la ventana “Costos de conexión”.
- B. Se introduce el costo para cada una de las tecnologías.
- C. Una vez introducidos todos los costos, se hace clic en el botón “Aceptar”.
- D. Para terminar, se hace clic en el botón “cerrar”.

Paso 3. Para introducir el valor de los parámetros de control de handoff, se sigue este procedimiento:

- A. Se hace clic en el botón “Control” de la barra de opciones de VHAND. Se despliega la ventana “Parámetros de control”.
- B. Se introduce el valor para cada uno de los parámetros de control de handoff.
- C. Una vez introducidos todos los valores, se hace clic en el botón “Aceptar”.
- D. Para terminar, se hace clic en el botón “cerrar”.

4.4 Análisis y resultados de la simulación obtenidos del “Escenario A: prueba de decisiones correctas”

4.4.1 Introducción

De acuerdo al escenario diseñado para esta prueba, se identificaron tres **momentos críticos** que son de interés para el análisis de ARDE. Un **momento crítico** es un periodo de tiempo en que un nodo móvil tiene alcance a dos o más células (véase figura 4-3).

Cuando se presenta un momento crítico, ARDE debe determinar cuál de las células involucradas es **la mejor red**. La mejor red es aquella que tiene un mayor valor de deseabilidad. Se recomienda leer la sección 3.4 del capítulo 3 para conocer más a detalle cómo ARDE calcula los valores de deseabilidad.

Se considera que ARDE ha tomado una decisión correcta cuando éste logra conectar el nodo móvil a la mejor red.

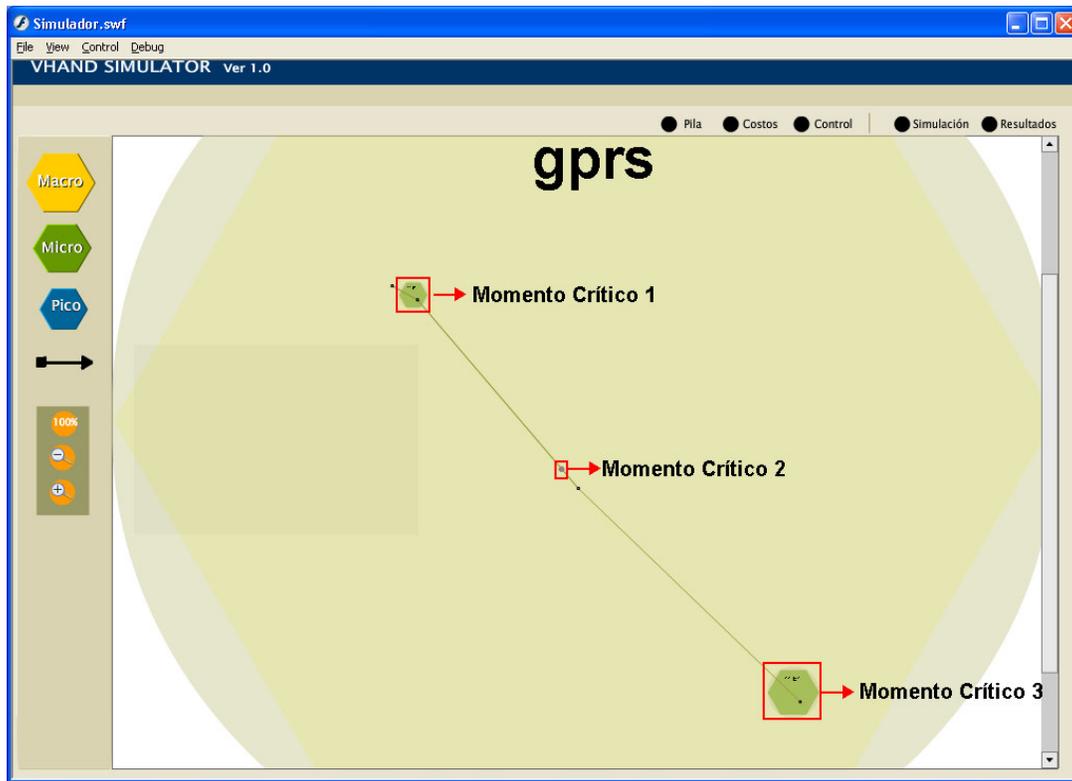


Figura 4-3. Momentos críticos detectados para la prueba 1.

Como se puede observar en la figura anterior, en los 3 momentos críticos está siempre presente la macrocélula **gprs**. Sin embargo, para cada momento crítico se involucra una microcélula (**11 g1**), una picocélula (**bt 1**) y otra microcélula (**11 b1**) respectivamente.

4.4.2 Metodología de análisis

De los resultados obtenidos de la simulación, se extrajeron los valores de deseabilidad que fueron arrojados durante los momentos críticos.

Como en esta prueba únicamente se evalúan las decisiones correctas, sólo se utilizó la deseabilidad, ya que con ella podemos verificar si ARDE tomó decisiones adecuadas.

Una vez que se extrajeron las deseabilidades, éstas fueron capturadas en Excel (agrupadas por momentos críticos), para posteriormente generar gráficas y analizar los resultados, los cuales son presentados en los siguientes párrafos.

4.4.3 Resultados del análisis

▪ Descripción general

El tiempo total de la simulación para este escenario fue de 254 segundos. Durante este tiempo, el nodo móvil tuvo alcance a las siguientes redes:

- A la red **gprs**, durante todo el tiempo de la simulación.
- A la red **11 g1**, desde el tiempo 16 hasta el tiempo 48 (momento crítico 1).
- A la red **bt 1**, en el tiempo 73 (momento crítico 2).
- A la red **11 b1**, desde el tiempo 233 hasta el final de la simulación (momento crítico 3).

El algoritmo calculó durante toda la simulación, la deseabilidad de las redes descubiertas.

La figura 4-4 muestra la deseabilidad de las redes **gprs**, **11 g1** y **bt 1** desde $t=0$ hasta $t=76$.

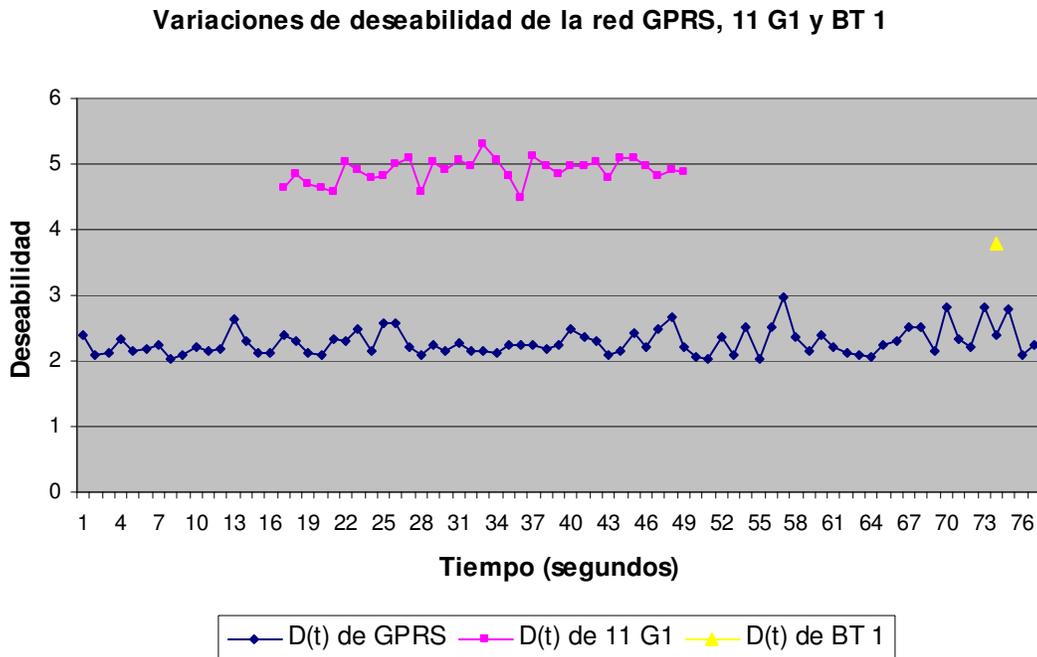


Figura 4-4. Variaciones de deseabilidad de las redes “gprs”, “11 g1” y “bt 1”.

La figura 4-5 muestra la deseabilidad de las redes **gprs** y **11 b1** desde $t=230$ hasta $t=253$.

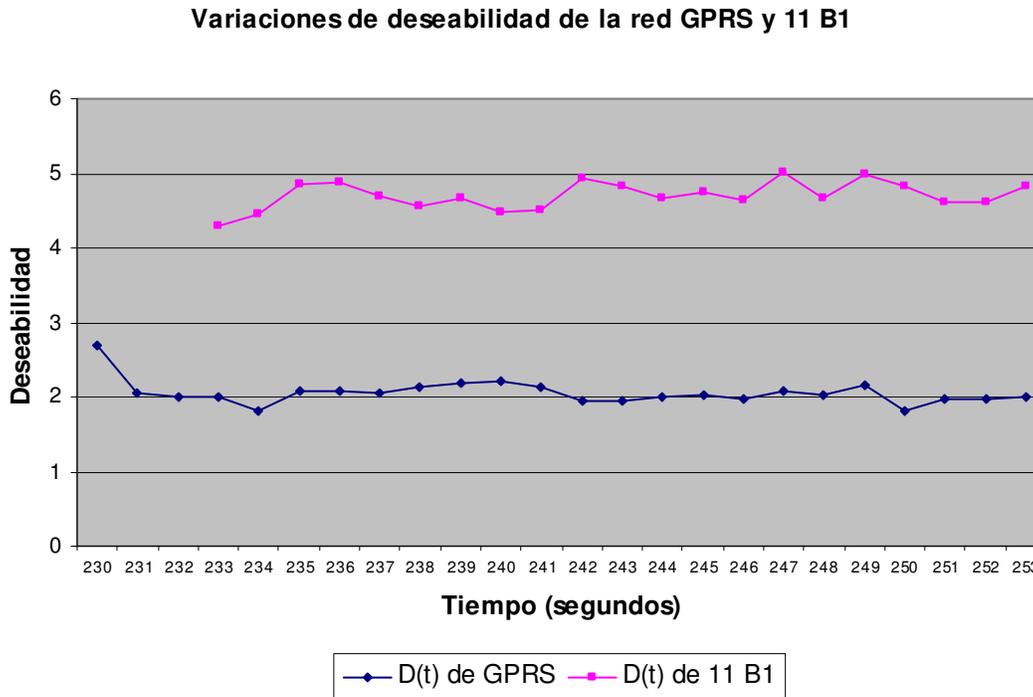


Figura 4-5. Variaciones de deseabilidad de las redes “gprs” y “11 b1”.

▪ **Detalle de cada momento crítico**

Inicio de simulación. Como se observa en la figura 4-4, inicialmente, el dispositivo móvil se conecta a la red **gprs**, por ser ésta la única red a la cual tiene alcance. Desde este momento, **gprs** se convierte en la red actual.

Momento crítico uno. Se presenta cuando el nodo móvil tiene alcance a las redes **gprs** y **11 g1**, lo cual ocurre desde t=16 hasta t=48.

En t=16, la red **11 g1** tiene una deseabilidad de 4.6333, y la red **gprs** tiene una deseabilidad de 2.3958. Entonces, a partir de t=16, **11 g1** se convierte en la mejor red por tener una deseabilidad mayor que la red actual. A partir de ese tiempo, el algoritmo espera un **período de estabilización** para comprobar que la deseabilidad de la nueva red (11 g1) siga siendo mayor que la deseabilidad de la red actual. Para este momento crítico, el período de estabilización fue de 3 segundos.

En t=19, finaliza el período de estabilidad, concluyendo que desde t=16 hasta t=19 la deseabilidad de la red **11 g1** siempre fue mayor a la deseabilidad de la red **gprs** (véase figura 4-4). Por lo tanto, el algoritmo de decisión decide ejecutar en ese instante de tiempo (t=19) el handoff, por lo que el nodo móvil se conecta a la mejor red (11 g1).

En $t=20$, **11 g1** se convierte en la red actual.

Como se puede observar en la figura 4-4, una vez que el móvil se ha conectado a la red **11 g1**, ésta siempre mantiene la mayor deseabilidad en comparación con **gprs**.

En $t=49$, el nodo móvil ya no tiene alcance a la red **11 g1**, por lo que se vuelve a conectar a la red **gprs** ya que es la única red a la que tiene alcance, convirtiéndose de nuevo en la red actual.

Momento crítico dos. Este momento se presenta cuando el nodo móvil tiene alcance a las redes **gprs** y **bt 1**, lo cual ocurre en $t=73$.

En este tiempo la deseabilidad de la red **bt 1** es de 3.7943 y la deseabilidad de la red **gprs** es de 2.3886, lo cual convierte a la red **bt 1** en la mejor red. Sin embargo, como en $t=74$, el nodo móvil ya no tiene alcance a la mejor red, éste permanece conectado a la red **gprs**.

En este momento, el nodo móvil tiene una velocidad de 100 km/hr ya que se encuentra en el segmento "seg_6", por lo que al pasar por la picocélula se espera que en caso de ser detectada por el nodo móvil, no ejecute un handoff hacia esta picocélula, puesto que por la velocidad no permanecería un tiempo significativo en ella.

Momento crítico tres. Se presenta cuando el nodo móvil tiene alcance a las redes **gprs** y **11 b1**, lo cual ocurre en $t=233$ hasta terminar la simulación.

En $t=233$, la red **11 b1** tiene una deseabilidad de 4.2851, y la red **gprs** tiene una deseabilidad de 2.0074. Entonces, a partir de $t=233$, **11 b1** se convierte en la mejor red por tener una deseabilidad mayor que la red actual. A partir de este tiempo, el algoritmo espera un período de estabilización para comprobar que la deseabilidad de la nueva red (11 b1) siga siendo mayor que la deseabilidad de la red actual. Para este momento crítico, el período de estabilización fue de 1 segundo.

En $t=234$, finaliza el período de estabilidad, resultando que desde $t=233$ hasta $t=234$, la deseabilidad de la red **11 b1** *siempre fue mayor* a la deseabilidad de la red **gprs** (véase figura 4-5). Por lo tanto, el algoritmo de decisión decide ejecutar en este instante de tiempo ($t=234$) el handoff, por lo que *el nodo móvil se conecta a la mejor red* (11 b1).

En $t=235$, la red **11 b1** se convierte en la red actual.

Como se puede observar en la figura 4-5, una vez que el móvil se ha conectado a la red **11 b1**, ésta siempre mantiene la mayor deseabilidad en comparación con **gprs**, hasta terminar la simulación.

4.4.4 Conclusión

Las decisiones que tomó ARDE en esta prueba fueron correctas, ya que al ejecutar el handoff siempre lo hizo a la “mejor red” que es la que presentaba el mayor valor de deseabilidad.

4.5 Análisis y resultados de la simulación obtenidos del “Escenario B: prueba de decisiones oportunas”

4.5.1 Introducción

De acuerdo al escenario diseñado para esta prueba, se identificaron 9 **momentos críticos** (véase figura 4-6).

Sin embargo, después de haber analizado los resultados, se determinó que los **momentos críticos más relevantes** fueron el 1, 2, 4 y 5, ya que en ellos se pudo analizar en forma completa a ARDE. Por lo anterior, en esta sección solamente se presenta el análisis de dichos momentos.

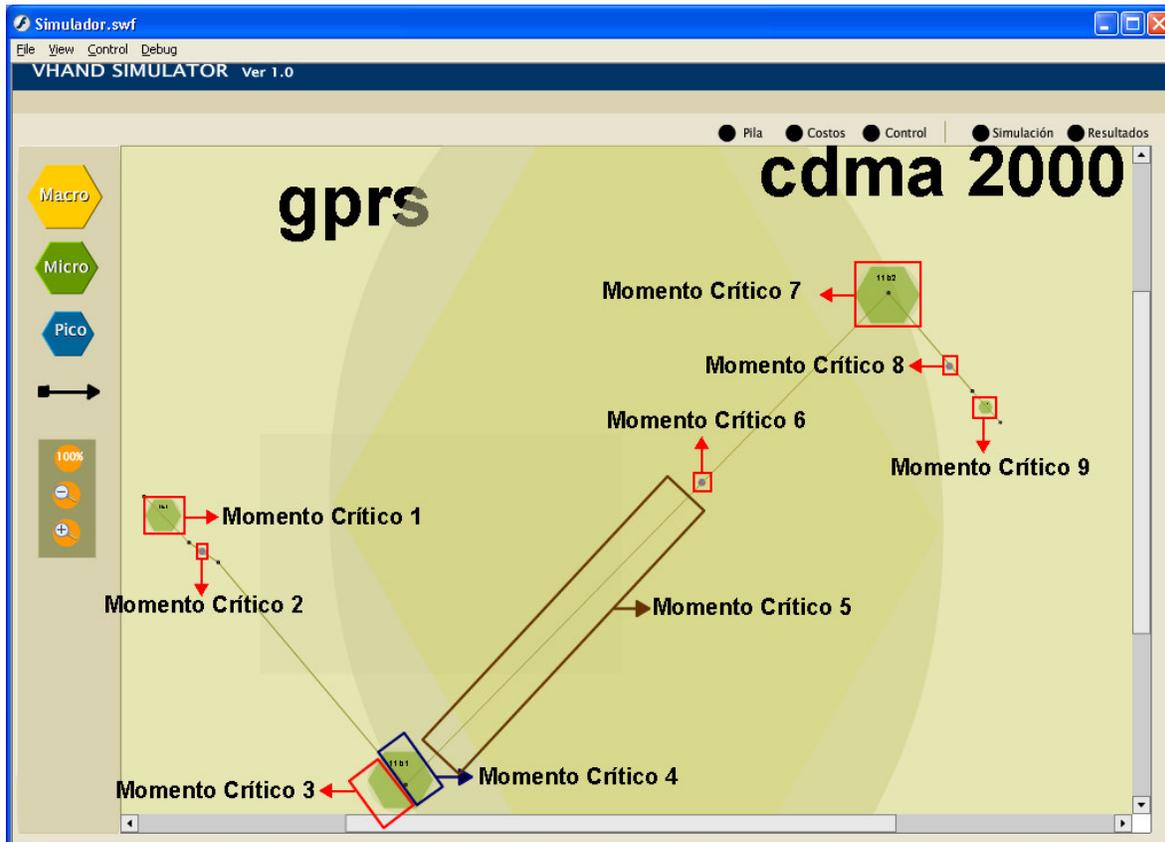


Figura 4-6. Momentos críticos detectados para la prueba 2.

Cuando se presenta un momento crítico, ARDE debe determinar de manera oportuna si ejecuta o no el *handoff*.

4.5.2 Metodología de análisis

Dado que el objetivo de esta prueba es evaluar si ARDE ejecuta un *handoff* oportunamente, el análisis de los resultados se centró en extraer todos aquellos datos involucrados con el proceso denominado **Determinación de Ejecución de Handoff (DEH)**.

El **DEH** se ejecuta cuando la mejor red es diferente a la red actual. Dicho proceso evalúa las siguientes condiciones:

A. Determinar si el handoff es imperativo u oportunista.

Si la *deseabilidad de la red actual* es mayor que Th_{sup} , el *handoff* es oportunista. En caso contrario el *handoff* es imperativo.

B. Determinar el tipo de ajuste a aplicar a los parámetros de control de handoff (Δ , SP e IN).

Si el tipo de *handoff* es imperativo o la aplicación es sensible al retardo, entonces el tipo de ajuste a aplicar a los parámetros de control es **riguroso**. En otro caso el ajuste es **relajado**.

C. Determinar si se requiere esperar un periodo de estabilidad o no.

Si la *deseabilidad relativa* (Δ_R) es mayor o igual que Δ , entonces el algoritmo debe esperar durante un período de estabilidad (SP) antes de revisar las políticas de *handoff*. En caso que Δ_R NO sea mayor o igual que Δ , entonces, no se realiza el *handoff*.

D. Determinar si finalizó el período de estabilidad.

Si finaliza el período de estabilidad (SP_Temporal=0) verificar el siguiente punto (E). En caso contrario no hay razón para ejecutar el *handoff*.

E. Determinar si se cumplen las políticas para ejecutar el handoff.

Verificar las políticas de *handoff* para determinar si se ejecuta o no el *handoff*. Estas políticas fueron descritas al final del capítulo dos de esta tesis.

La información arrojada por el **DEH** fue analizada tal como se muestra en los siguientes párrafos.

4.5.3 Resultados del análisis

▪ Descripción general

El tiempo total de la simulación para este escenario fue de 196 segundos. Durante este tiempo, el nodo móvil tuvo alcance a las siguientes redes:

- A la red **gprs**, desde el tiempo 0 hasta el tiempo 132.
- A la red **11 g1**, desde el tiempo 2 hasta el tiempo 5.
- A la red **bt 1**, desde el tiempo 24 hasta el tiempo 33.
- A la red **11 b1**, desde el tiempo 78 hasta el tiempo 84.
- A la red **cdma 2000**, desde el tiempo 81 hasta el fin de la simulación.
- A la red **11 b2** desde el tiempo 128 hasta el tiempo 133.
- A la red **11 g2** desde el tiempo 160 hasta el tiempo 177.

Las redes **bt 2** y **bt 3** no fueron alcanzables por el nodo móvil.

▪ Detalle de los momentos críticos relevantes

Inicio de simulación. Como se observa en la figura 4-6, inicialmente, el dispositivo móvil se conecta a la red **gprs**, por ser ésta la única red a la cual tiene alcance. Desde ese momento, **gprs** se convierte en la red actual.

Momento crítico uno. Se presenta cuando el nodo móvil tiene alcance a las redes **gprs** y **11 g1**, lo cual ocurre desde $t=2$ hasta $t=5$. El nodo móvil se encuentra en el primer segmento de recta **seg_12**. Como en $t=2$ hay una mejor red diferente a la red actual, ARDE inicia el proceso **DEH**.

La tabla 4-8 contiene la información requerida por el **DEH**, correspondiente al periodo de estabilidad (SP) que tiene que esperar el algoritmo para tomar una decisión oportuna. En este caso, SP equivale a un segundo por que así lo determinó ARDE previamente.

Tabla 4-8. Valores requeridos para decidir si se ejecuta el handoff en $t=3$.

	Tiempo	
	2	3
Red actual	gprs	gprs
Mejor red	11 g1	11 g1
D_{actual(t)}	2.1947	2.5087
D_{mejor(t)}	3.9936	4.4771
Thsup	1.8	1.8
Aplicación	Sensible al retardo	Sensible al retardo
Δ	0.003	0.003
SP	1	0
Δ_R	1.7989	1.9684
DV		4.13
MRVD		1.75
Carga de la batería		79%

Con base a los datos especificados en la tabla 4-8, el **DEH** llegó a las conclusiones descritas en la tabla 4-9.

Tabla 4-9. Conclusiones del DEH: handoff de gprs a 11 g1.

Tiempo	Condición a evaluar	Conclusión	Motivo
T=2	A. Determinar si el handoff es imperativo u oportunista.	El tipo de handoff es oportunista .	Dactual(t) es mayor o igual que thsup . (2.1947 > 1.8)
	B. Determinar el tipo de ajuste a aplicar a los parámetros de control de handoff (Δ , SP e IN).	El tipo de ajuste es riguroso . De acuerdo a la tabla 4-7, SP vale 1, Δ vale 0.003 e IN vale 1 cuando el ajuste es riguroso.	Debido a que la aplicación es sensible al retardo.
	C. Determinar si se requiere esperar un periodo de estabilidad o no.	Sí se requiere esperar periodo de estabilidad.	$\Delta_R > \Delta$ (1.7989 > 0.003).
	D. Determinar si finalizó el periodo de estabilidad.	No se ha terminado. Se decrementa en uno el valor de SP	SP vale 1
	E. Determinar si se cumplen las políticas para ejecutar el handoff	No aplica	SP no ha finalizado el periodo de estabilidad.
T=3	A. Determinar si el handoff es imperativo u oportunista.	El tipo de handoff es oportunista .	Dactual(t) es mayor o igual que thsup . (2.5087 > 1.8)
	B. Determinar el tipo de ajuste a aplicar a los parámetros de control de handoff (Δ , SP e IN).	El tipo de ajuste es riguroso . De acuerdo a la tabla 4-7, SP vale 1, Δ vale 0.003 e IN vale 1 cuando el ajuste es riguroso.	Debido a que la aplicación es sensible al retardo.
	C. Determinar si se requiere esperar un periodo de estabilidad o no.	Sí se requiere esperar periodo de estabilidad.	$\Delta_R > \Delta$ (1.9684 > 0.003).
	D. Determinar si finalizó el periodo de estabilidad.	Finalizó el periodo de estabilidad.	SP es igual 0.
	E. Determinar si se cumplen las políticas para ejecutar el handoff	No se cumple la política 1. No se cumple la política 2. Aplicar política 3. Se ejecuta el handoff de la red gprs a la red 11 g1.	Porque la DV > MRVD (4.13 > 1.75) Porque la carga de la batería no está entre el 25% y 30% Porque no se cumplieron las políticas 1 y 2.

Momento crítico dos. Se presenta cuando el nodo móvil tiene alcance a las redes **gprs** y **bt 1**, lo cual ocurre desde t=24 hasta t=33. El nodo móvil se encuentra en el segundo segmento de recta **seg_13**. Como en t=24 hay una mejor red diferente a la red actual, ARDE inicia el proceso **DEH**.

La tabla 4-10 contiene la información requerida por el **DEH**. Esta información corresponde únicamente al tiempo SP que se tiene que esperar para tomar esta decisión, en este caso son 2 segundos, a partir de que se detecta una mejor red diferente a la actual.

Tabla 4-10. Valores requeridos para decidir si se ejecuta el handoff en t=26.

	Tiempo		
	24	25	26
Red actual	gprs	gprs	gprs
Mejor red	bt 1	bt 1	bt 1
D_{actual(t)}	2.3318	2.0388	2.2297
D_{mejor(t)}	3.1534	3.0479	3.2472
Thsup	1.8	1.8	1.8
Aplicación	Datos	Datos	Datos
Δ	0.05	0.05	0.05
SP	2	1	0
Δ_R	0.8216	1.0090	1.0175
DV			22.01
MRVD			3.25
Carga de la batería			76%

Con base en los datos especificados en la tabla 4-8, el **DEH** llegó a las conclusiones descritas en la tabla 4-11.

Tabla 4-11. Conclusiones del DEH: handoff de gprs a bt 1.

Tiempo	Condición a evaluar	Conclusión	Motivo
T=24	A. Determinar si el handoff es imperativo u oportunista.	El tipo de handoff es oportunista .	Dactual(t) es mayor o igual que thsup . (2.3318 > 1.8)
	B. Determinar el tipo de ajuste a aplicar a los parámetros de control de handoff (Δ, SP e IN).	El tipo de ajuste es relajado . De acuerdo a la tabla 4-7, SP vale 2, Δ vale 0.05 e IN vale 1 cuando el ajuste es relajado.	Debido a que la aplicación es de datos.
	C. Determinar si se requiere esperar un periodo de estabilidad o no.	Sí se requiere esperar periodo de estabilidad.	Δ _R > Δ (0.8216 > 0.05).
	D. Determinar si finalizó el periodo de estabilidad.	No se ha terminado. Se decrementa en uno el valor de SP	SP vale 2
	E. Determinar si se cumplen las políticas para ejecutar el handoff	No aplica	SP no ha finalizado el periodo de estabilidad.
T=25	A. Determinar si el handoff es imperativo u oportunista.	El tipo de handoff es oportunista .	Dactual(t) es mayor o igual que thsup . (2.0388 > 1.8)
	B. Determinar el tipo de ajuste a aplicar a los parámetros de control de handoff (Δ, SP e IN).	El tipo de ajuste es relajado . De acuerdo a la tabla 4-7, SP vale 2, Δ vale 0.05 e IN vale 1 cuando el ajuste es relajado.	Debido a que la aplicación es de datos.
	C. Determinar si se requiere esperar un periodo de estabilidad o no.	Sí se requiere esperar periodo de estabilidad.	Δ _R > Δ (1.0090 > 0.05).
	D. Determinar si finalizó el periodo de estabilidad.	No se ha terminado. Se decrementa en uno el valor de SP	SP vale 1
	E. Determinar si se cumplen las políticas para	No aplica	SP no ha finalizado el periodo de estabilidad.

ejecutar el handoff		
T=26	A. Determinar si el handoff es imperativo u oportunista.	El tipo de handoff es oportunista . Dactual(t) es mayor o igual que thsup . (2.2297 > 1.8)
	B. Determinar el tipo de ajuste a aplicar a los parámetros de control de handoff (Δ , SP e IN).	El tipo de ajuste es relajado . Debido a que la aplicación es de datos. De acuerdo a la tabla 4-7, SP vale 2, Δ vale 0.05 e IN vale 1 cuando el ajuste es relajado.
	C. Determinar si se requiere esperar un periodo de estabilidad o no.	Sí se requiere esperar período de estabilidad. $\Delta_R > \Delta$ (1.0175 > 0.05).
	D. Determinar si finalizó el período de estabilidad.	Finalizó el período de estabilidad. SP es igual 0.
	E. Determinar si se cumplen las políticas para ejecutar el handoff	No se cumple la política 1. Porque la DV > MRVD (22.01 > 3.25)
		No se cumple la política 2. Porque la carga de la batería no está entre el 25% y 30%
		Aplicar política 3. Se ejecuta el handoff de la red gprs a la red bt 1. Porque no se cumplieron las políticas 1 y 2.

Momento crítico cuatro. Se presenta cuando el nodo móvil tiene alcance a las redes **gprs**, **11 b1** y **cdma 2000**, lo cual ocurre desde t=81 hasta t=84. El nodo móvil se encuentra en el tercer segmento de recta **seg_14**, pero en t=82 se cambia al segmento **seg_15**.

Al iniciar este momento crítico, la red actual 11 b1, se mantiene como la mejor red y continúa así hasta t=84. Por lo tanto, como la mejor red es igual a la red actual, no se requiere iniciar un proceso de handoff.

Momento crítico cinco. Se presenta cuando el nodo móvil tiene alcance a las redes **gprs** y **cdma 2000**, lo cual ocurre desde t=85 hasta t=127. El nodo móvil se encuentra en el cuarto segmento de recta **seg_15**.

Como en el momento crítico anterior, 11 b1 era la red actual, pero deja de dar cobertura al nodo móvil en t=85, entonces, el algoritmo conecta el nodo a la mejor red entre las dos redes alcanzables. Como cdma 2000 tiene una deseabilidad mayor (2.4382) que gprs (1.9890), el nodo se conecta a **cdma 2000**.

En t=91, la deseabilidad de la red actual **cdma 2000** es menor respecto a la red **gprs** por lo que se inicia la preparación de un handoff. Sin embargo, como en la siguiente unidad de tiempo, la deseabilidad de la red actual se incrementa, ya no es necesario ejecutar el handoff debido a que la red actual sigue conservando la mayor deseabilidad.

4.5.4 Conclusión

Las decisiones que tomó ARDE son oportunas debido a que cuando se ejecuta el handoff, se ha verificado el cumplimiento de todas las condiciones y políticas descritas en esta sección.

Por otra parte, se verificó que el handoff se ejecute hasta que haya finalizado el período de estabilidad. Durante dicho periodo se comprobó que la deseabilidad de la mejor red fuera mayor que la deseabilidad de la red actual, lo anterior, con la finalidad de evitar disparos de handoff a redes inestables.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

5.1.1 Introducción

Actualmente, la comunidad científica internacional está desarrollando una serie de algoritmos de decisión de handoff vertical, sin embargo, no existen herramientas adecuadas para evaluarlos. Algunas de ellas están limitadas a redes homogéneas y otras al uso de dos redes de distintas tecnologías. Aunado a esto, algunos son costosos y difíciles de usar ya que ofrecen interfaces poco amigables al usuario y requieren que éste aprenda un lenguaje de programación para llevar a cabo una simulación.

Después de realizar un análisis de las herramientas más usadas (NS-2, GloMoSim y OPNET) para evaluar algoritmos de decisión de handoff, decidimos desarrollar el simulador VHAND por lo siguiente:

- GloMoSim trabaja con redes homogéneas y es una herramienta poco amigable.
- NS-2 solamente hace uso de dos tecnologías de red diferentes, además de que es una herramienta poco amigable.
- OPNET cuenta con una interfaz amigable. Sin embargo, a pesar de que ahora tiene disponible una versión gratuita para fines de investigación, al inicio del desarrollo de esta tesis, se decidió no trabajar con este simulador por ser un software comercial costoso.

Por lo anterior, en esta tesis se presenta el diseño e implementación del simulador VHAND que permite evaluar algoritmos de decisión de handoff vertical. Dicho simulador, soluciona las deficiencias detectadas en la sección 3.1 de esta tesis.

Para probar el simulador se estudió, implementó y analizó el algoritmo de decisiones ARDE propuesto en [Gonz06].

Las principales características de VHAND son descritas en la siguiente sección.

5.1.2 Características de VHAND

- **Facilidad de uso.** Uno de los principales inconvenientes de los simuladores actuales es su escasa usabilidad, por lo que el diseño de VHAND fue hecho teniendo en mente ofrecer una herramienta amigable.

Para ello se creó una interfaz gráfica compuesta de elementos con los que está familiarizado el usuario (ventanas, botones, eventos del ratón, etc.). Dicha interfaz permite dibujar fácilmente el escenario de pruebas, mediante el uso del ratón (mouse) y sus eventos como: clic al botón derecho, “*drag and drop*”, doble clic, etc.

Por otra parte, el proceso de creación de escenarios de pruebas fue dividido en etapas (tipo asistente) y de manera lógica al usuario, a fin de que sea fácil de usar.

Crear una herramienta con la funcionalidad antes mencionada no fue trivial, ya que requirió de amplios conocimientos en Matemáticas, Física, Trigonometría para resolver los retos como: la simulación de la velocidad y seguimiento del nodo móvil a lo largo de la trayectoria, el cálculo de las distancias entre la estación base y la posición del nodo móvil, la longitud de cada segmento de la trayectoria, el escalado de figuras, entre muchos otros).

- **Ofrece un diseño modular que facilita su mantenimiento y extensibilidad con nuevos algoritmos.** Para el diseño del simulador, la herramienta fue dividida en módulos con el objetivo de independizar algunas acciones de su operación. Por lo tanto, la arquitectura del mismo ofrece la flexibilidad necesaria para que en versiones futuras se pueda implementar y probar otros algoritmos de handoff.

- **Es una herramienta portable que no se limita a un manejador de BD en específico.** Gracias al uso de XML los datos predeterminados de la simulación son cargados a partir de un archivo de texto plano, el cual es legible desde cualquier plataforma y no requiere el uso de un manejador de BD.

- **Es una herramienta independiente de la plataforma.** La aplicación es un archivo SWF, el cual es compatible con cualquier navegador Web existente en el mundo, lo que lo hace multiplataforma. La aplicación no depende del sistema operativo, si no más bien que el navegador Web soporte flash player.

- **Es una aplicación Web con pocos requerimientos de Hardware y Software.** Esta característica hace que el simulador sea accesible desde cualquier punto geográfico donde se tenga acceso a Internet. Además, solamente requiere de un navegador Web y el *plug in* de flash para poder verlo. No requiere de un enlace de alta velocidad, puede usarse una conexión dial up ya que el tamaño de la aplicación no rebasa los 200Kb.

El hecho de que sea una aplicación Web facilita el acceso al simulador por parte de la comunidad académica y científica mundial, ya que puede ser usado en cualquier lugar y en cualquier momento.

5.1.3 Implementación y análisis de ARDE

En esta tesis se estudió y explicó el algoritmo de toma de decisiones correctas y oportunas en el proceso de handoff vertical (ARDE). Durante el proceso de asimilación se identificaron una serie de variables a las que fue necesario encontrar su fórmula matemática a fin de implementarla dentro del simulador. Dichas fórmulas fueron: Disminución de la carga de la batería del nodo móvil, potencia de la señal, etc., las cuales son descritas a detalle en el Anexo C.

Una vez que se identificaron las fórmulas antes mencionadas se procedió a la implementación del algoritmo.

Para analizar ARDE, se crearon 2 escenarios de pruebas (véase capítulo 4), en donde se concluyó que éste ejecuta decisiones correctas y oportunas.

5.1.4 Contribución

Entre las contribuciones de esta tesis podemos mencionar las siguientes:

- El simulador nos permite analizar con más detalle el comportamiento de la movilidad de los clientes en redes heterogéneas (UMTS, CDMA, GSM), que en un laboratorio común son difíciles de probar. Usualmente las pruebas de laboratorio, se limitan al uso de Bluetooth para el caso de las picocélulas y al estándar 802.11 b/g para el caso de las microcélulas.
- El simulador colaborará en actividades de modelado y simulación de redes heterogéneas de la comunidad científica internacional.

5.2 Trabajo futuro

Como en cualquier proyecto de software, siempre existen mejoras continuas, y VHAND no es la excepción. Algunas de las funcionalidades que se desearía que tuviera la próxima versión de VHAND son descritas a continuación:

- Implementar en el simulador la cuarta etapa (evaluación) del proceso de handoff. Esta etapa consiste en evaluar qué tan precisas y puntuales fueron las decisiones de handoff para determinar si se tomó una decisión correcta o incorrecta.

- Crear mediante XML, archivos que permitan guardar los escenarios de prueba del simulador. Estos escenarios incluyen la definición del escenario de red, la trayectoria del nodo móvil y los resultados de la simulación.
- Ofrecer la salida de los resultados de la simulación en un formato XML, a fin de que el simulador sea interoperable con otros sistemas.
- Generar gráficas (automatizadas con Excel) con las deseabilidades obtenidas de cada red.

REFERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Bank99] Banks Jerry. Artículo: *Introduction to simulation*. Proceedings of the 1999 winter simulation conference, pp. 7-13.
- [Bern02] Bernd Bruegge; Allen H. Dutoit. *Ingeniería de software orientado a objetos*. Pearson educación, México 2002.
- [Carb05] Carballar José A. *Wi-Fi. Cómo construir una red inalámbrica*. Alfaomega Ra-Ma, 2005.
- [Cisc05] Cisco Systems. Artículo: *Capacity, coverage, and deployment considerations for IEEE 802.11g*. Copyright@1992-2005 Cisco Systems.
- [Coli05] Colin Moock. *ActionScript 2.0*. Anaya Multimedia, 2005.
- [Dere04] Derek Franklin; Jobe Makar. *Macromedia Flash MX 2004. ActionScript*. Macromedia Press, 2004.
- [Dorn01] Dornan Andy. *The essential Guide to Wireless Communications Applications*. Prentice Hall PTR, 2001.
- [Erik03] Erik T. Ray. *Learning XML*. O'Reilly. Segunda edición, 2003.
- [Gilb01] Gilbert Held. *Data Over Wireless Networks Bluetooth, WAP, and Wireless LANs*. McGraw-Hill, 2001.
- [Gonz05] González Horta Francisco Alejandro. *Algoritmo sensible al contexto para la toma de decisiones correctas y oportunas en el proceso de handoff vertical*. Propuesta de tesis doctoral: ITESM Campus Morelos, México, Noviembre, 2005.
- [Gonz06] González Horta, Francisco Alejandro. *Algoritmo sensible al contexto para la toma de decisiones correctas y oportunas en el proceso de handoff vertical*. Propuesta de tesis doctoral: ITESM Campus Morelos, México, Mayo, 2006.
- [Guez05] Guezuraga Cantero Yon. Artículo: *Infraestructuras comunes de telecomunicación: nuevos servicios y tecnologías emergentes*. Universidad Politécnica de Catalunya, 20 de enero de 2005.

- [Jorg01] Jorg Eberspacher; Hans-Jorg Vogel; Christian Bettstetter. *GSM: Switching, Services and Protocols*. John Wiley & Sons, Ltd. Second Edition, 2001.
- [Pala98] Palais, Joseph C. *Fiber optic communications*. Prentice Hall, Fourth Edition, 1998.
- [Pegd95] Pegden, C. Dennis; Robert E. Shanon; Randall P. Sadowski. *Introduction to simulation using SIMAN*. McGraw-Hill International Editions, 1995.
- [Pere05] Pérez Díaz Jesús Arturo. *Notas de clase de la asignatura Tópicos Avanzados de Redes I*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Cuernavaca, semestre enero-mayo 2005.
- [Ramj03] Ramjee Prasad; Luis Muñoz. *WLANs and WPANs towards 4G wireless*. Artech House, 2003.
- [Rold05] Roldán Martínez David. *Comunicaciones inalámbricas. Un enfoque aplicado*. Alfaomega Ra-Ma, 2005.
- [Sale04] Saleh A. Artículo: *A location-aided decision algorithm for handoff across heterogeneous wireless overlay network*. Virginia Polytechnic Institute, July 2004.
- [Stal05] Stallings William. *Wireless Communications & Networks*. Pearson Education, Inc. Segunda edición, 2005.
- [Stem98] Mark Stemm; Randy H. Katz. Artículo: *Vertical handoff in wireless overlay networks*. *Mobile Networks and Applications* 3 (1998) pp 335-350.
- [Stev03] Steven Holzner; Devan Shepherd. *Sams teach yourself XML in 21 days*. Sams publishing. Tercera edición, 2003.
- [Yibi01] Yi-Bing Lin; Imrich Chlamtac. *Wireless and Mobile Network Architectures*. John Wiley & Sons, Inc. 2001.
- [Zhan05] Zhang W.; Jahenert J.; Dolzer K. Artículo: *Design and evaluation of a handover decision strategy for 4th generation mobile networks*. 2005.
- [Zhu04] Zhu F. and McNair J. Artículo: *Optimization for vertical handoff decision algorithms*. WCNC 2004, IEEE Comm. Society, 2004.

REFERENCIAS EN LA WEB

- [Blue06] Bluetooth SIG. *Bluetooth basics*. Bluetooth 2006 SIG. Consultado el 30 de mayo de 2006 en <http://www.bluetooth.com/Bluetooth/Learn/Basics/>
- [Glom06] GlomoSim. Consultado el 30 de mayo de 2006 en <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/>
- [Huid06] Huidobro José Manuel. Wimax ¿el sustituto de Wi-Fi?. Consultado el 9 de marzo de 2006 en <http://www.monografias.com/trabajos16/wimax/wimax.shtml/>
- [Lail06] Laila Daniel; Markku Kojo. *Adapting TCP for vertical handoff in wireless networks*. Consultado el 9 de mayo de 2006 en <http://www.cs.helsinki.fi/u/kraatika/Courses/NodesSem05-6/Laila-060317.pdf#search=%22Adapting%20TCP%20for%20vertical%20handoff%20in%20wireless%20networks.%20%22>
- [Nati05] National Institute of Standards and Technology. Seamless and Secure Mobility. Consultado el 9 de mayo de 2006 en <http://w3.antd.nist.gov/seamlessandsecure.shtml>
- [Netw06] The Network Simulator - ns-2. Consultado el 30 de mayo de 2006 en http://nslam.isi.edu/nslam/index.php/User_Information
- [Opne06] OPNET: Making Networks and Applications Perform. Consultado el 30 de enero de 2006 en <http://www.opnet.com/>
- [Pars06] UCLA Parsec Programming Language. Consultado el 30 de mayo de 2006 en <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/parsec/>
- [Ramo06] Ramos Pascual Francisco. Resumen de características del estándar 802.16. Consultado el 30 de octubre de 2006 en http://www.radioptica.com/Radio/caracteristicas_estandar_wimax.asp
- [Rich06] Richard Rouil and Nada Golmie. IEEE 802.21 Media Independent Handover. Consultado el 9 de mayo de 2006 en http://www.ieee802.org/21/doctree/2006-03_meeting_docs/21-06-0524-00-0000-802_16_Parameter_Effects_on_Handover_Performance.ppt#256,1,Diapositiva_1

- [Tcl06] Tcl Developer Site. Consultado el 30 de mayo de 2006 en <http://www.tcl.tk/>
- [Wima06] *Mobile WiMAX-Part 1: A Technical Overview and Performance Evaluation*. WiMAX Forum, 2006. Consultado en agosto de 2006 en [http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile WiMAX Part1 Overview and Performance.pdf](http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf)
- [Yañe04] Yañez-Mingot, Pablo Serrano. *Breve resumen de herramientas de simulación*. Universidad Carlos de Madrid. 26 de octubre de 2004. Consultado el 10 de marzo de 2006 en <http://www.it.uc3m.es/pablo/simuladores/>

ABREVIATURAS

2G	Second Generation
3G	Third Generation
4G	Fourth Generation
ARDE	Algorithm of Relative Desirability
BER	Bit Error Rate
BS	Base Station
CDMA	Code Division Multiple Access
DCS	Digital Cellular System
EV-DO	Evolution Data Only
GloMoSim	Global Mobile Information Systems Simulation Library
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IrDA	Infrared Data Association
ISM	Industrial Scientific Medical
MS	Mobile Station
NS-2	Network Simulator versión 2
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPNET	Optimized Network Engineering Tools
PARSEC	Parallel Simulation Environment for Complex Systems
PCS	Personal Communications Services
PDA	Personal Digital Assistants
RFID	Radio Frequency Identification
RSS	Received Signal Strength
SNR	Signal to Noise Ratio
TCL	Tool Command Language
TCP	Transmission Control Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VHO	Vertical Handover
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
XML	Extensible Markup Language

ANEXO A. Cálculo del radio de cobertura para las picocélulas, microcélulas y macrocélulas

Para esta primera versión del simulador, se usó una relación lineal para calcular el radio de cobertura (al cual denominaremos “ C ”) de una célula, a partir de la potencia de transmisión de su estación base. A continuación se muestra el procedimiento para la obtención de las fórmulas, según el tipo de célula.

- **Cálculo de la cobertura para las picocélulas.**

Para el simulador estamos considerando la tecnología Bluetooth con radio de clase dos, cuya cobertura máxima es de 10 metros y su máxima potencia de transmisión es de 2.5 mW. Con esta información, la cobertura se obtendrá con la fórmula general (1) considerando una regla de tres.

$$C = \frac{(10\text{mts})(x \text{ mW})}{2.5\text{mW}} \quad (1)$$

La variable “ x ” en la fórmula (1) representa una potencia de 0.25 mW a 2.5 mW. Simplificando la fórmula (1) obtenemos la fórmula (2) que usaremos en el simulador para las picocélulas.

$$C = 4x \text{ mts} \quad (2)$$

En la fórmula (2) la variable “ x ” está expresada sin unidad de medida y la cobertura C queda representada en metros.

- **Cálculo de la cobertura para las microcélulas.**

Para las microcélulas, se requerirán de tres fórmulas para la obtención de la cobertura, según si se desea simular el estándar 802.11a, 802.11b o 802.11g.

Para el estándar 802.11b, éste tiene un alcance máximo de 82 metros a una velocidad de transmisión de 2 Mbps. Considerando que la máxima potencia de transmisión del punto de acceso de las microcélulas es de 1000 mW, la cobertura la obtendremos con la fórmula general (3) empleando una regla de tres simple.

$$C = \frac{(82\text{mts})(x \text{ mW})}{1000\text{mW}} \quad (3)$$

Al simplificar la fórmula general (3), obtenemos la fórmula (4) que usaremos en el simulador para el estándar 802.11b.

$$C = 0.082x \text{ mts} \quad (4)$$

Si consideramos que el estándar a usar es 802.11g, el cual tiene un alcance máximo de 91 metros a una velocidad de transmisión de 6 Mbps y que la máxima potencia de transmisión de las microcélulas es de 1000 mW, entonces usando una regla de tres simple obtendremos la cobertura con la fórmula general (5).

$$C = \frac{(91mts)(x \text{ mW})}{1000mW} \quad (5)$$

Al simplificar la fórmula general (5) obtenemos la fórmula (6) que usaremos en el simulador.

$$C = 0.091x \text{ mts} \quad (6)$$

Por otra parte, si el estándar a usar es 802.11a el cual tiene un alcance máximo de 50 metros a una velocidad de transmisión de 6 Mbps y que el punto de acceso transmite a una potencia máxima de 1000 mW, la cobertura la obtendremos con la fórmula general (7) aplicando una regla de tres simple con los valores dados.

$$C = \frac{(50mts)(x \text{ mW})}{1000mW} \quad (7)$$

Al simplificar la fórmula (7) obtenemos la fórmula (8) que usaremos en el simulador para calcular la cobertura de una microcélula 802.11a.

$$C = 0.05x \text{ mts} \quad (8)$$

Independientemente del estándar para la tecnología 802.11, los valores de la potencia de transmisión del punto de acceso de las microcélulas estarán en el rango de 100 mW a 1000 mW. Al usar las fórmulas simplificadas (4), (6) u (8), el valor de “x”, que se refiere a la potencia de transmisión del punto de acceso, se expresa sin unidad de medida y la cobertura C queda representada en metros.

▪ **Cálculo de la cobertura para las macrocélulas.**

La cobertura máxima de las macrocélulas que consideraremos en la simulación es de 6000 metros y la máxima potencia de transmisión de su estación base es de 4000 mW. Empleando una regla de tres simple con estos valores, obtendremos la fórmula general (9) para calcular la cobertura de las macrocélulas.

$$C = \frac{(6000mts)(x \text{ mW})}{4000mW} \quad (9)$$

La variable “x” en (9) se refiere a la potencia de transmisión de la estación base de la macrocélula y su valor estará en el rango de 1000 mW a 4000 mW. Al simplificar (9) obtenemos la fórmula (10) que usaremos en el simulador para obtener el radio de cobertura de una macrocélula.

$$C = 1.5x \text{ mts} \quad (10)$$

Al usar la fórmula (10), los valores de la variable “x” se expresan sin unidad de medida y la cobertura C queda representada en metros.

ANEXO B. Descripción de los casos de uso del simulador VHAND

▪ Casos de uso para el MÓDULO 1: Diseñar Topología.

<i>Nombre del caso de uso</i>	<i>Diseñar topología.</i>
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado por el usuario para dibujar las macrocélulas, microcélulas y picocélulas que usará en el simulador. También se emplea para ingresar las propiedades de cada una de las células dibujadas.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	Ninguna.
<i>Flujo básico</i>	<p>1. Si el <i>Usuario</i> desea dibujar células en el simulador, se ejecuta el caso de uso <i>Dibujar célula</i>. Una vez dibujadas las células, el <i>Usuario</i> puede moverlas de lugar, o bien, eliminarlas del <i>área de trabajo</i> del simulador. Para esto, emplea los casos de uso <i>Mover célula</i> y <i>Eliminar célula</i>.</p> <p>2. Si el <i>Usuario</i> desea ingresar las propiedades de las células dibujadas en el simulador, se ejecuta el caso de uso <i>Ingresar datos de la célula</i>. Opcionalmente, el usuario puede modificar la información ingresada mediante el caso de uso <i>Modificar datos de la célula</i>.</p>

<i>Nombre del caso de uso</i>	<i>Dibujar célula.</i>
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para que el usuario dibuje las macrocélulas, microcélulas y picocélulas que definen el escenario de la simulación.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	Ninguna.
<i>Flujo básico</i>	<p>1. El <i>Usuario</i> selecciona de la barra de herramientas del simulador, el botón para dibujar una macrocélula, microcélula o picocélula. Este botón está identificado con la figura de un hexágono etiquetado con la palabra "<i>Macro</i>", "<i>Micro</i>" o "<i>Pico</i>", y hace clic en ella.</p> <p>2. El sistema asigna al <i>tipo de célula</i> el valor de: 0, si se dibujó una macrocélula; 1, si se dibujó una microcélula y 2, si se dibujó una picocélula.</p> <p>3. El sistema asigna un nombre a la célula dibujada, el cual opcionalmente, puede ser modificado posteriormente por el usuario. El nombre que asigna el sistema, por defecto tiene la siguiente sintaxis: "<i>cel_</i>" + "<i>número de objeto dibujado</i>".</p> <p>4. El sistema dibuja la célula correspondiente en el simulador, y le asigna un identificador que la representará de manera única.</p> <p>5. El sistema almacena temporalmente para cada célula dibujada: su identificador, nombre y tipo.</p>

<i>Nombre del caso de uso</i>	Mover célula.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para que el <i>Usuario</i> mueva las células dibujadas y las posicione en el lugar que él prefiera, dentro del <i>área de trabajo</i> del simulador.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	El <i>Usuario</i> ya debe haber dibujado células en el <i>área de trabajo</i> del simulador.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El <i>Usuario</i> selecciona del <i>área de trabajo</i> la célula que desea mover. 2. El <i>Usuario</i> hace clic en la célula con el botón izquierdo del ratón, y manteniéndolo presionado, mueve la célula a su nueva posición. 3. El <i>Usuario</i> suelta el botón izquierdo del ratón.

<i>Nombre del caso de uso</i>	Eliminar célula.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para eliminar alguna célula dibujada en el simulador.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	El <i>Usuario</i> ya debe haber dibujado células en el <i>área de trabajo</i> del simulador.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El <i>Usuario</i> hace clic con el botón derecho del ratón sobre la célula que desea eliminar. 2. El sistema despliega un menú contextual. 3. El <i>Usuario</i> hace clic con el botón izquierdo del ratón en la opción "Eliminar célula" del menú contextual. 4. El sistema elimina la célula del <i>área de trabajo</i> del simulador.

<i>Nombre del caso de uso</i>	Ingresar datos de la célula.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado por el <i>Usuario</i> para capturar las propiedades de una célula.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	El <i>Usuario</i> ya debe haber dibujado células en el <i>área de trabajo</i> del simulador.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El <i>Usuario</i> selecciona del <i>área de trabajo</i> del simulador una célula. 2. El <i>Usuario</i> hace clic con el botón derecho del ratón, y se despliega un menú contextual, el cual contiene entre otras opciones: "Datos de la célula" y "Editar pesos". 3. Si el <i>Usuario</i> desea ingresar los datos generales de una célula, entonces selecciona la opción "Datos de la célula". Por otra parte, si desea ingresar el peso de cada criterio de handoff, entonces selecciona la opción "Editar pesos". 4. El <i>Usuario</i> hace clic con el botón izquierdo del ratón en la opción

	<p>correspondiente a sus necesidades.</p> <p>5. Si la opción elegida es “Datos de la célula”, entonces el sistema presenta una ventana para capturar la información general de la célula seleccionada. La información general se refiere a: nombre de la célula, tecnología, potencia de transmisión de la estación base y la cantidad de usuarios conectados a la célula.</p> <p>En cuanto a la tecnología de la célula, se considera lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para las macrocélulas, el <i>Usuario</i> elige una de las siguientes tecnologías: GSM, GPRS, UMTS, CDMA 2000 ó WiMAX. Por defecto, la tecnología seleccionada es GSM. - Para las microcélulas, el <i>Usuario</i> elige entre las tecnologías: 802.11a, 802.11b ó 802.11g. Por defecto, la tecnología seleccionada es 802.11b. - Para las picocélulas, únicamente se considera la tecnología Bluetooth con radio de clase dos. <p>En cuanto a la potencia de transmisión de la estación base, los valores que se usarán en el simulador son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para las macrocélulas, se considera el rango de 1000mW a 4000mW. La potencia por defecto es de 1000mW. - Para las microcélulas, se considera el rango de 100mW a 1000mW. La potencia por defecto es de 1000mW. - Para las picocélulas, se considera el rango de 0.25mW a 2.5mW. La potencia por defecto es de 2.5mW. <p>En cuanto a la cantidad de usuarios conectados, los valores que se usarán en el simulador son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para las macrocélulas, consideramos de 1 hasta 50 usuarios. - Para las microcélulas, consideramos de 1 hasta 15 usuarios. - Para las picocélulas, consideramos de 1 hasta 7 usuarios. - Por defecto, la cantidad de usuarios conectados a la célula es de 1. <p>6. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Aceptar” de la ventana desplegada en el paso anterior.</p> <p>7. El sistema calcula el radio de cobertura de la célula, que depende de la potencia de transmisión de la estación base. El radio de cobertura “C” se obtiene con las siguientes fórmulas:</p> <p>Para una macrocélula, $C=1.5x$ metros. Para una microcélula 802.11b $C=0.082x$ metros. Para una microcélula 802.11g $C=0.091x$ metros. Para una microcélula 802.11a $C=0.05x$ metros. Para una picocélula $C=4x$ metros. donde la variable “x” representa la potencia de transmisión de la estación base proporcionada por el <i>Usuario</i>.</p> <p>8. El sistema almacena temporalmente para la célula seleccionada: nombre de la célula, tecnología, potencia de transmisión de la estación base, cantidad de usuarios conectados y radio de</p>
--	--

	<p>cobertura de la célula.</p> <p>9. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Cerrar” de la ventana desplegada en el paso 5, ocasionando que el sistema oculte la ventana de captura de los datos generales de la célula.</p> <p>10. Si la opción elegida es “Editar pesos”, entonces el sistema presenta la ventana “Pesos de los criterios de Handoff” para capturar el peso de cada criterio de handoff.</p> <p>11. El <i>Usuario</i> ingresa el peso a cada criterio de handoff, el cual es un valor entre 0 y 9. El valor de 9, se utiliza para representar al criterio que tiene la mayor preferencia o prioridad sobre los otros. Por defecto, inicialmente cada criterio tendrá asignado un peso de 5 unidades.</p> <p>12. El sistema calcula la suma de los pesos de todos los criterios de handoff, y le asigna al resultado obtenido un valor del 100%.</p> <p>13. El sistema asigna un porcentaje a cada uno de los criterios de handoff, mediante la operación: $[(\text{peso_de_cada_criterio})(100\%)]/\text{Suma_de_pesos}$</p> <p>14. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Aceptar” de la ventana “Pesos de los criterios de Handoff”, y el sistema almacena temporalmente el porcentaje correspondiente al peso de cada criterio de handoff.</p> <p>15. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Cerrar” de la ventana “Pesos de los criterios de Handoff” para que el sistema oculte la ventana.</p>
--	--

Nombre del caso de uso	Modificar información célula.
Descripción	Este caso de uso es utilizado para modificar la información de alguna de las células dibujadas en el <i>área de trabajo</i> del simulador.
Actor Participante	<i>Usuario.</i>
Pre-Condición	El <i>Usuario</i> ya debe haber ingresado la información de cada célula.
Flujo básico	<p>1. El <i>Usuario</i> Selecciona del <i>área de trabajo</i> del simulador una célula.</p> <p>2. El <i>Usuario</i> hace clic con el botón derecho del ratón y se despliega un menú contextual, el cual contiene entre otras opciones: “Datos de la célula” y “Editar pesos”.</p> <p>3. Si el <i>Usuario</i> desea modificar la información general de la célula, entonces selecciona la opción “Datos de la célula”. Por el contrario, si desea modificar el peso asignado a cada criterio de handoff, entonces selecciona la opción “Editar pesos”.</p> <p>4. El <i>Usuario</i> hace clic con el botón izquierdo del ratón en la opción correspondiente a sus necesidades.</p> <p>5. Si el <i>Usuario</i> elige “Datos de la célula”, entonces el sistema lee de la unidad de almacenamiento, la información general de la célula seleccionada: su identificador, tipo de célula, nombre de la célula, tecnología, potencia de transmisión de la estación base,</p>

	<p>número de usuarios conectados a la célula y su radio de cobertura.</p> <p>6. El sistema despliega en una ventana lo siguiente: nombre de la célula, tecnología, potencia de transmisión de la estación base, número de usuarios conectados y el radio de cobertura de la célula.</p> <p>7. El <i>Usuario</i> modifica la información proporcionada en la ventana del paso anterior. El único dato que no puede modificar el <i>Usuario</i> es el radio de cobertura.</p> <p>8. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “<i>Aceptar</i>” de la ventana desplegada en el paso 6.</p> <p>9. El sistema calcula el nuevo radio de cobertura “C” de la célula, y guarda en la unidad de almacenamiento lo siguiente: nombre de la célula, tecnología, potencia de transmisión de la estación base, cantidad de usuarios conectados a la célula y su radio de cobertura.</p> <p>10. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “<i>Cerrar</i>” de la ventana desplegada en el paso 6 para ocultarla.</p> <p>11. Si el <i>Usuario</i> elige “<i>Editar pesos</i>”, entonces el sistema lee de la unidad de almacenamiento temporal, el peso de cada criterio de handoff asignado a la célula seleccionada.</p> <p>12. El sistema despliega la ventana “<i>Pesos de los criterios de Handoff</i>” que incluye una lista de los criterios de handoff con su peso correspondiente.</p> <p>13. El <i>Usuario</i> modifica el peso a los criterios de handoff y al concluir la modificación, hace clic en el botón “<i>Aceptar</i>” de la ventana “<i>Pesos de los criterios de Handoff</i>”.</p> <p>14. El sistema calcula el porcentaje para cada uno de los pesos dados, y lo guarda en la unidad de almacenamiento temporal para la célula seleccionada.</p> <p>15. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “<i>Cerrar</i>” de la ventana “<i>Pesos de los criterios de Handoff</i>” para ocultarla.</p>
--	--

▪ **Casos de uso para el MÓDULO 2: Definir Trayectoria.**

<i>Nombre del caso de uso</i>	<i>Definir trayectoria.</i>
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es usado para dibujar en el <i>área de trabajo</i> del simulador a través de segmentos de recta la trayectoria que seguirá el nodo móvil al ejecutar la simulación. Se emplea para definir las características de cada uno de los segmentos de recta.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Flujo básico</i>	1. Si el <i>Usuario</i> desea dibujar una trayectoria en el <i>área de trabajo</i> del simulador, se ejecuta el caso de uso <i>Dibujar segmento</i> . Una vez dibujados los segmentos, el <i>Usuario</i> puede moverlos, o bien, eliminar toda la trayectoria dibujada. Para esto, emplea los casos

	<p>de uso <i>Mover segmento</i> y <i>Eliminar trayectoria</i>.</p> <p>2. Si el <i>Usuario</i> desea ingresar la información a cada segmento de recta dibujado, se ejecuta el caso de uso <i>Ingresar datos del segmento</i>. Opcionalmente, el <i>Usuario</i> puede modificar la información ingresada mediante el caso de uso <i>Modificar datos del segmento</i>.</p>
--	---

Nombre del caso de uso	<i>Dibujar segmento.</i>
Descripción	Este caso de uso es utilizado para dibujar por medio de segmentos de recta la trayectoria que seguirá el nodo móvil durante la ejecución de la simulación.
Actor Participante	<i>Usuario.</i>
Flujo básico	<p>1. El <i>Usuario</i> selecciona de la barra de herramientas el botón correspondiente para dibujar un segmento de recta.</p> <p>2. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón, y el sistema dibuja en el <i>área de trabajo</i> del simulador el primer segmento de recta.</p> <p>3. El <i>Usuario</i> realiza los pasos 1 y 2, tantas veces como segmentos de recta desee dibujar en el <i>área de trabajo</i>. El punto inicial del segundo segmento es el punto final del primero; el punto inicial del tercer segmento es el punto final del segundo y así sucesivamente.</p> <p>4. Para cada segmento dibujado, el sistema asigna y almacena un identificador. Asimismo, a cada segmento el sistema le asigna un nombre, el cual por defecto tiene la siguiente sintaxis: "seg_" + "número de objeto dibujado".</p>

Nombre del caso de uso	<i>Mover segmento.</i>
Descripción	Este caso de uso es utilizado para que el <i>Usuario</i> mueva los segmentos dibujados y los posicione en el lugar que él prefiera, dentro del <i>área de trabajo</i> del simulador.
Actor Participante	<i>Usuario.</i>
Pre-Condición	El <i>Usuario</i> ya debe haber dibujado segmentos en el <i>área de trabajo</i> del simulador.
Flujo básico	<p>1. El <i>Usuario</i> selecciona del <i>área de trabajo</i> el vértice del segmento que desea mover.</p> <p>2. El <i>Usuario</i> hace clic en el vértice con el botón izquierdo del ratón, y manteniéndolo presionado, mueve dicho vértice a su nueva posición.</p> <p>3. El <i>Usuario</i> suelta el botón izquierdo del ratón.</p>

Nombre del caso de uso	<i>Eliminar trayectoria.</i>
Descripción	Este caso de uso es utilizado para eliminar toda la trayectoria del nodo móvil, dibujada por el usuario.
Actor Participante	<i>Usuario.</i>

<i>Pre-Condición</i>	El <i>Usuario</i> ya debe tener dibujado la trayectoria del nodo móvil en el <i>área de trabajo</i> del simulador.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El <i>Usuario</i> hace clic con el botón derecho del ratón en cualquier vértice de un segmento de recta. 2. El sistema despliega un menú contextual con la opción “Eliminar trayectoria” y el <i>Usuario</i> hace clic en esta opción. 3. El sistema elimina todos los segmentos de recta del <i>área de trabajo</i> del simulador.

<i>Nombre del caso de uso</i>	Ingresar datos del segmento.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para proporcionar la información de cada segmento de recta que forma la trayectoria del nodo móvil.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	El <i>Usuario</i> ya debe tener dibujado la trayectoria del nodo móvil en el <i>área de trabajo</i> del simulador.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El <i>Usuario</i> selecciona del <i>área de trabajo</i> del simulador un vértice de cualquier segmento de recta y hace clic en él, con el botón derecho del ratón. 2. El sistema presenta un menú contextual y el <i>Usuario</i> hace clic en la opción “Datos de la trayectoria”. 3. El sistema lee del Documento de Inicialización de Valores del segmento, los valores por defecto de los segmentos de recta. Estos valores son presentados en la ventana “Información Trayectoria”. 4. La ventana “Información Trayectoria” contiene la opción <i>Segmento</i>, la cual presenta una lista con el nombre de los segmentos de recta dibujados. 5. El <i>Usuario</i> selecciona el nombre del segmento al que desea ingresar la información. 6. El <i>Usuario</i> introduce para el segmento seleccionado lo siguiente: tipo de velocidad, velocidad del nodo móvil y aplicación que ejecutará el nodo. <ul style="list-style-type: none"> - En cuanto al tipo de velocidad, ésta puede ser peatonal o vehicular, expresados en m/seg y en km/hr respectivamente. Por defecto, el tipo de velocidad seleccionado es peatonal. - En cuanto a la velocidad, se considera el siguiente rango: hasta 2 m/seg para una velocidad peatonal y hasta 200 km/hr para una velocidad vehicular. Por defecto, la velocidad es de 2 m/seg. - En cuanto a la aplicación, ésta puede ser: datos o sensible al retardo. Por sensible al retardo, nos referimos a una aplicación multimedia, voz, etc. Por defecto la aplicación seleccionada es datos. 7. El sistema despliega en la opción <i>Distancia</i>, la longitud del segmento seleccionado.

	<p>8. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Aceptar” de la ventana “Información Trayectoria” para almacenar los datos ingresados.</p> <p>9. Se repite el paso 5 al 8 para cada segmento de recta.</p> <p>10. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Cerrar” de la ventana “Información trayectoria” para ocultarla.</p>
--	--

<i>Nombre del caso de uso</i>	Modificar datos del segmento.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para modificar la información de alguno de los segmentos de recta que forman la trayectoria del nodo móvil, dibujados en el <i>área de trabajo</i> .
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	El <i>Usuario</i> ya debe tener capturado la información de cada segmento.
<i>Flujo básico</i>	<p>1. El <i>Usuario</i> selecciona del <i>área de trabajo</i> del simulador un vértice de algún segmento de recta y hace clic en el botón derecho del ratón.</p> <p>2. El sistema despliega un menú contextual, del cual el <i>Usuario</i> hace clic en la opción “Datos de la trayectoria”.</p> <p>3. El sistema lee de la unidad de almacenamiento la información del primer segmento de recta: su identificador, la aplicación que le corresponde, el tipo de velocidad, velocidad del nodo móvil y longitud del segmento.</p> <p>4. El sistema despliega en la ventana “Información Trayectoria” la información del primer segmento de recta: aplicación que ejecuta el nodo móvil en el segmento, tipo de velocidad, velocidad del nodo móvil y longitud del segmento.</p> <p>5. En la opción “Segmento”, el usuario selecciona el segmento al cual le desea modificar su información.</p> <p>6. El sistema lee de la unidad de almacenamiento la información del segmento seleccionado y el <i>Usuario</i> modifica la información de dicho segmento.</p> <p>7. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Aceptar” de la ventana “Información Trayectoria” para ingresar la nueva información del segmento: aplicación que ejecuta el nodo móvil, tipo de velocidad y la velocidad del nodo móvil.</p> <p>8. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Cerrar” de la ventana “Información Trayectoria” para ocultarla.</p>

▪ **Casos de uso para el MÓDULO 3: Cargar Parámetros de Inicialización.**

<i>Nombre del caso de uso</i>	Cargar parámetros de inicialización.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado cuando el usuario desea definir: el

	porcentaje de carga inicial de la batería del nodo móvil; los precios de conexión de las tecnologías inalámbricas y el valor de los parámetros de control de handoff.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	Ninguna.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si el <i>Usuario</i> desea capturar el valor de la carga inicial de la batería del nodo móvil, se ejecuta el caso de uso <i>Asignar carga inicial a la batería.</i> 2. Si el <i>Usuario</i> desea capturar los costos de conexión para cada tecnología inalámbrica, se ejecuta el caso de uso <i>Definir precios de conexión.</i> 3. Si el <i>Usuario</i> desea capturar el valor de los parámetros de control de handoff, se ejecuta el caso de uso <i>Asignar valor a los parámetros de control.</i>

<i>Nombre del caso de uso</i>	<i>Asignar carga inicial a la batería.</i>
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para capturar el valor de la carga inicial de la batería del nodo móvil para ejecutar la simulación.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	Ninguna.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El <i>Usuario</i> selecciona de la barra de opciones del simulador, el botón "Pila" y hace clic en él. 2. El sistema despliega la ventana "Información de la Pila" y despliega por defecto un valor de 100% en la opción "Carga inicial". 3. El <i>Usuario</i> ingresa el valor de la carga inicial de la batería del nodo móvil en la opción "Carga inicial", el cual es un valor comprendido del 0 al 100%. 5. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón "Aceptar" de la ventana "Información de la Pila" para ingresar la carga. 6. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón "cerrar" y el sistema oculta la ventana "Información de la Pila".

<i>Nombre del caso de uso</i>	<i>Definir precios de conexión.</i>
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para que el usuario proporcione los costos de conexión de cada tecnología inalámbrica.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	Ninguna.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El <i>Usuario</i> selecciona de la barra de opciones del simulador, el botón "Costos" y hace clic en él. 2. El sistema lee el archivo de configuración inicial, que contiene los costos por defecto asociados a las tecnologías inalámbricas. Por defecto, cada tecnología tiene asociado un costo de 10 unidades.

	<p>3. El sistema despliega la ventana “Costos de conexión” la cual se emplea para ingresar los costos de conexión de cada tecnología inalámbrica usada en el simulador.</p> <p>4. Una vez que el <i>Usuario</i> ingresa los costos de conexión de cada tecnología inalámbrica, hace clic en el botón “Aceptar” de la ventana “Costos de conexión” para que el sistema ingrese los costos proporcionados.</p> <p>5. El sistema oculta la ventana “Costos de Conexión” cuando el <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Cerrar” de la ventana.</p>
--	---

<i>Nombre del caso de uso</i>	Asignar valor a los parámetros de control.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para capturar el valor de los parámetros de control de handoff que se usarán para probar el algoritmo de decisiones.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	Ninguna.
<i>Flujo básico</i>	<p>1. El <i>Usuario</i> selecciona de la <i>barra de opciones</i> del simulador, el botón “Control” y hace clic en él.</p> <p>2. El sistema lee el archivo de configuración inicial, que contiene los valores por defecto de los parámetros de control de handoff.</p> <p>3. El sistema despliega la ventana “Parámetros de control” la cual contiene la lista de los parámetros de control que se usan en el simulador.</p> <p>4. El Usuario introduce los valores para los parámetros de control:</p> <ul style="list-style-type: none"> - (Δ) Umbral de histéresis de deseabilidad relajado y riguroso. - (SP) Período de estabilidad relajado y riguroso. - (IN) Período de inestabilidad relajado y riguroso. - (Thsup) Umbral de deseabilidad superior. - (Thinf) Umbral de deseabilidad inferior. - (LHO) Latencia del handoff, la cual puede ser de: <ul style="list-style-type: none"> * Picocélula a Microcélula * Microcélula a Picocélula * Picocélula a Macrocélula * Macrocélula a Picocélula * Microcélula a Macrocélula * Macrocélula a Microcélula * Microcélula a Microcélula * Macrocélula a Macrocélula <p>5. Una vez que el <i>Usuario</i> ingresa el valor de éstos parámetros, hace clic en el botón “Aceptar” de la ventana correspondiente y el sistema ingresa los valores proporcionados.</p> <p>6. El usuario hace clic en el botón “Cerrar” y el sistema oculta la ventana “Parámetros de control”.</p>

▪ **Caso de uso para el MÓDULO 4: Ejecutar Simulación.**

<i>Nombre del caso de uso</i>	Ejecutar simulación.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para iniciar la ejecución de la simulación en el que se observará el recorrido del nodo móvil a través de una trayectoria previamente definida.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	El <i>Usuario</i> ya debe tener definida la trayectoria que seguirá el nodo móvil con la cual se va a simular el algoritmo de handoff vertical.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Simulación” de la barra de opciones del simulador. 2. El sistema verifica la carga de la batería del nodo móvil. 3. Mientras la carga de la batería sea superior al 25%, el sistema invoca en cada unidad de tiempo: a la fase 5 para detectar las redes alcanzables y al algoritmo de decisión de handoff ARDE.

▪ **Caso de uso para el MÓDULO 5: Ver Resultados.**

<i>Nombre del caso de uso</i>	Ver resultados.
<i>Descripción</i>	Este caso de uso es utilizado para presentar la información siguiente: métrica de deseabilidad de las redes descubiertas, peso y valor del criterio de handoff de cada red descubierta, red origen y red destino en caso de ejecutar un handoff, tipo de handoff y duración del mismo.
<i>Actor Participante</i>	<i>Usuario.</i>
<i>Pre-Condición</i>	El <i>Usuario</i> debe ejecutar la simulación.
<i>Flujo básico</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Al término de la simulación, el <i>Usuario</i> hace clic en el botón “Resultados” de la barra de opciones del simulador. 2. Se despliega una ventana con la siguiente información: Para cada instante de tiempo y para cada una de las redes descubiertas se muestra: <ul style="list-style-type: none"> Nombre de la red descubierta. Valor de cada criterio de handoff. Peso de cada criterio de handoff. Métrica de deseabilidad de la red descubierta. <p>Al final de la lista de redes descubiertas se despliega el nombre de la mejor red, la cual es la red que obtuvo la mayor métrica de deseabilidad en el instante de tiempo t.</p> <p>Si se realiza un handoff se despliega: <ul style="list-style-type: none"> Tipo de handoff (oportuno o imperativo). Red a la que estaba conectado el nodo móvil antes del HO. Red a la que se conectará el nodo móvil al hacer el HO. </p> <p>Si no se lleva a cabo la ejecución del handoff se despliega la razón por la cual no se ejecutó.</p>

ANEXO C. Cálculo de los criterios de handoff usados en el simulador VHAND

Criterios de Handoff: a continuación se lista cada uno de los criterios de handoff que se usan en el simulador y se describe la forma en que se calcula su valor.

Criterio 1: Distancia del nodo móvil a la estación base

La distancia del nodo móvil a la estación base será obtenida en cada instante de tiempo a medida que el usuario móvil se desplaza a través de la trayectoria trazada. Esta posición se calculará obteniendo la distancia (en metros) que hay entre el nodo móvil hasta la estación base de la célula. El valor de este criterio cambia en cada instante de tiempo. Si asignamos a la posición del nodo móvil el punto (x_1, y_1) y que la estación base de la célula se encuentra en el punto (x_2, y_2) , la posición del nodo móvil la obtendremos con la fórmula (1). Para efectos del simulador, consideraremos que la estación base de cada célula se encuentra situada al centro de la misma.

$$d = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \quad (1)$$

Criterio 2: Potencia de la señal recibida (RSS)

La potencia de la señal recibida (RSS) por el nodo móvil, se puede obtener con la relación (2) [Pala98]:

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = 10^{\frac{-\gamma(\text{distancia})}{10}} \quad (2)$$

donde:

- P_{out} representa la potencia (expresada en mW) de la señal recibida.
- P_{in} representa la potencia (expresada en mW) de transmisión de la estación base.
- *distancia* representa la distancia (expresada en Km) que hay desde la posición del nodo móvil hasta donde se localiza la estación base.
- γ representa el cambio de potencia (expresado en dB/Km).

La fórmula 2 no considera la frecuencia, únicamente se menciona que una pérdida en la transmisión corresponde a un valor negativo de γ [Pala98].

Para calcular el valor de RSS en el simulador, usaremos la fórmula (3):

$$RSS = \text{potencia del punto de acceso} * 10^{\frac{-\gamma(\text{distancia})}{10}} \quad (3)$$

El valor de este criterio es obtenido para cada unidad de tiempo. Por último, como el valor de RSS queda expresado en dBm, se convierte este valor a mW usando la fórmula (4):

$$RSS_{mW} = 10^{\frac{RSS_{dBm}}{10}} \quad (4)$$

Obtención de γ :

En cuanto al valor de γ , es un factor que representa el cambio de potencia y sus valores posibles se encuentran en el rango de 0.1 a 1 dB/Km. Teniendo en cuenta este rango de valores, consideramos usar en el simulador el valor central de este rango de valores, es decir, el valor de γ es de 0.5 dB/Km.

Obtención de la potencia del punto de acceso o de la estación base:

Este valor es proporcionado por el usuario al ingresar la información a cada una de las células representadas en el escenario de simulación. La potencia de transmisión de la estación base puede ser:

- Para las macrocélulas, de 1000 mW a 4000 mW.
- Para las microcélulas, de 100 mW a 1000 mW.
- Para las picocélulas, de 0.25 mW a 2.5 mW.

Como la potencia proporcionada por el usuario está expresada en miliWatts, y para efectos del código en el simulador necesitamos que esté expresada en dBm, hacemos la conversión usando la fórmula (5), la cual usa un miliWatt (mW) como referencia, es decir, 0 dBm equivalen a 1 mW.

$$Potencia_{dBm} = 10 \text{Log} \frac{Potencia_{mW}}{1mW} \quad (5)$$

Obtención de la distancia:

El valor de la distancia se tiene que obtener para cada unidad de tiempo. La distancia que se debe calcular es la que existe desde la posición del nodo móvil hasta donde se encuentra la estación base.

Para efectos del simulador consideramos que la estación base se encuentra localizada en el centro de cada una de las células, designando a esta posición como (x_1, y_1) , el cual es un punto fijo para cada una de las células. En cuanto a la posición del nodo móvil, es un valor variable que depende de cada unidad de tiempo, y que designaremos como (x_2, y_2) .

Por lo tanto, para calcular la distancia “ d ” que hay del nodo móvil hasta la estación base usamos la fórmula (6):

$$d = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \quad (6)$$

Como las coordenadas de los puntos, están expresados en metros, al obtener la distancia será necesario hacer la conversión correspondiente a kilómetros, para sustituirlo en la fórmula (3).

Ejemplo de la obtención de RSS: consideremos que el usuario dibuja una microcélula e ingresa como características: tecnología 802.11b y potencia de transmisión del punto de acceso de 1000mW. El punto de acceso (AP) se encuentra en la posición (60,62) y mediante cálculos se obtiene que el nodo móvil se encuentra en el punto (20, 80). El valor de RSS se obtiene como:

$$\Gamma = 0.5 \text{ dB/Km.}$$

$$d = \sqrt{(80-62)^2 + (20-60)^2} = \sqrt{324+1600} = \sqrt{1924} = 43.86 \text{ m} = 0.04386 \text{ Km.}$$

$$\text{Potencia del AP} = 1000 \text{ mW} = 10\text{Log}(1000\text{mW}/1\text{mW}) = 10\text{Log}(1000) = 30 \text{ dBm.}$$

$$\text{RSS} = 30 \text{ dBm} * 10^{\frac{-(0.5 \frac{\text{dB}}{\text{Km}})(0.04386 \text{ Km})}{10}} = 29.8489 \text{ dBm}$$

Finalmente, convertimos los 29.8489 dBm a mW.

$$RSS_{mW} = 10^{\frac{29.8489 \text{ dBm}}{10}} = 10^{2.98489 \text{ dBm}} = 965.8062244. \text{ Entonces, el valor de RSS es igual a } 965.8062244 \text{ mW.}$$

Criterio 3: Razón señal a ruido

La razón señal a ruido representada como SNR o S/N es la razón de la potencia de una señal entre la potencia del ruido presente en un punto particular en la transmisión. Por conveniencia, esta razón es medida en decibeles (dB) y en la teoría se obtiene con la fórmula (7):

$$SNR_{dB} = 10\text{Log}_{10} \frac{S}{N} \quad (7)$$

donde:

- S representa la potencia de la señal recibida
- N representa la potencia del ruido.

La fórmula (7) expresa la cantidad, en decibeles, que la señal excede el nivel del ruido. Un SNR alto significa una señal de alta calidad. El valor de SNR que usaremos en el simulador estará comprendido entre 0 y 50 dB [Stal05].

Obtención del valor de S:

Se calcula el valor de S usando la fórmula (3), la cual proporciona la distancia de acuerdo a la posición en la que se encuentre el nodo móvil. El valor de S es igual

al valor de RSS obtenido como criterio 2. El valor de RSS expresado en mW se asigna a la variable S, es decir, $S = \text{RSS}_{\text{mW}}$.

Obtención del valor de N:

Para calcular el valor de N en el simulador, realizamos el siguiente procedimiento:

Paso 1: Se calcula el valor de RSS para la célula usando la fórmula (3) pero tomando como distancia la cobertura máxima de la célula. La cobertura máxima de la célula se puede obtener del campo “cobertura” que se encuentra en la tabla “celula” de la unidad de almacenamiento, expresándola en Km. Al valor de RSS obtenido lo denominamos RSS_{min} (expresado en dBm).

$$\text{RSS}_{\text{min}} = \text{potencia del punto de acceso} * 10^{\frac{-\gamma(\text{Cobertura}_{\text{máxima}})}{10}}$$

Paso 2: Calculamos el ruido máximo para la célula, asignando a esta variable el mínimo valor que puede tener el RSS en la célula, es decir,

$$\text{N0}_{\text{max}} = \text{RSS}_{\text{min}}$$

Paso 3: Al valor de N0_{max} le restamos 3 dB y el nuevo valor se le asigna a la variable N0, es decir,

$$\text{N0} = \text{N0}_{\text{max}} - 3\text{dB}$$

La variable N0 es el nivel de ruido promedio, por lo tanto, de acuerdo a la fórmula del decibel tenemos que $10\text{Log} \frac{2\text{N0}}{\text{No}} = 10\text{Log} 2 = 10(0.30) = 3\text{dB}$. Estos 3dB es el valor que usamos en el paso 3 y 4.

Paso 4: Calculamos ahora el ruido mínimo para la célula, asignando a esta variable el valor de N0 menos 3 dB, es decir,

$$\text{N0}_{\text{min}} = \text{N0} - 3\text{dB}$$

Paso 5: El valor de N0_{max} y N0_{min} serán los valores extremos del ruido cada vez que el nodo móvil se encuentre en esta célula. Para obtener el valor del ruido N, se generará un número aleatorio entre el valor mínimo y máximo del ruido.

$$\text{N0}_{\text{min}} \leq \text{N} \leq \text{N0}_{\text{max}}$$

Una vez obtenido el valor de N en dBm, se convierte éste valor en mW, usando la relación (8).

$$N_{\text{mW}} = 10^{\frac{N_{\text{dBm}}}{10}} \quad (8)$$

Finalmente, con el valor obtenido de S y de N (ambos expresados en mW), ya se puede obtener el SNR que requerimos para el simulador.

Respecto a los enlaces inalámbricos bidireccionales los consideraremos balanceados, es decir, supondremos para efectos del simulador, que el SNR del punto de acceso al nodo móvil es igual al SNR del nodo móvil al punto de acceso, aun cuando en la realidad este comportamiento no es cierto.

Ejemplo de la obtención de SNR: consideremos que el usuario dibuja una microcélula e ingresa como características: tecnología 802.11b y potencia de transmisión del punto de acceso de 1000mW. El punto de acceso (AP) se encuentra en la posición (60,62) y mediante cálculos se obtiene que el nodo móvil se encuentra en el punto (20, 80). El valor de SNR se obtiene como:

- Paso 1: Obtención del valor de S

$$\Gamma = 0.5 \text{ dB/Km.}$$

$$d = \sqrt{(80 - 62)^2 + (20 - 60)^2} = \sqrt{324 + 1600} = \sqrt{1924} = 43.86 \text{ m} = 0.04386 \text{ Km.}$$

$$\text{Potencia del AP} = 1000 \text{ mW} = 10\text{Log}(1000\text{mW}/1\text{mW}) = 10\text{Log}(1000) = 30 \text{ dBm.}$$

$$S = 30 \text{ dBm} * 10^{\frac{-(0.5 \frac{\text{dB}}{\text{Km}})(0.04386 \text{ Km})}{10}} = 29.8489 \text{ dBm.}$$

Ahora convertimos los 29.8489 dBm a mW.

$$S_{mW} = 10^{\frac{29.8489 \text{ dBm}}{10}} = 10^{2.98489 \text{ dBm}} = 965.8062244.$$

Entonces, el valor de S es igual a 965.8062244mW. Como se mencionó con anterioridad, el valor de S es igual al valor de RSS (en mW) obtenido como criterio 5.

- Paso 2: Obtención del valor de N.

Obtenemos el valor de RSS pero considerando como distancia la cobertura C máxima de una célula 802.11b cuando el AP transmite a 1000mW.

$$C = 0.082(1000) = 82 \text{ mts} = 0.082 \text{ km}$$

(Este valor está registrado en la célula)

$$\Gamma = 0.5 \text{ dB/Km.}$$

$$d = 0.082 \text{ Km.}$$

$$\text{Potencia del AP} = 1000 \text{ mW} = 10\text{Log}(1000\text{mW}/1\text{mW}) = 10\text{Log}(1000) = 30 \text{ dBm.}$$

$$\text{RSS} = 30 \text{ dBm} * 10^{\frac{-(0.5 \frac{\text{dB}}{\text{km}})(0.082 \text{ km})}{10}} = 29.71811471 \text{ dBm}$$

$$\text{RSS}_{\min} = 29.71811471 \text{ dBm.}$$

$$N0_{\max} = \text{RSS}_{\min}$$

$$N0_{\max} = 29.71811471 \text{ dBm.}$$

$$N0 = N0_{\max} - 3\text{dB}$$

$$N0 = 29.71811471 \text{ dBm} - 3\text{dB}$$

$$N0 = 26.71811471 \text{ dBm.}$$

$$N_{0_{\min}} = N_0 - 3\text{dB}$$

$$N_{0_{\min}} = 26.71811471 \text{ dBm} - 3\text{dB}$$

$$N_{0_{\min}} = 23.71811471 \text{ dBm.}$$

$$N_{0_{\min}} \leq N \leq N_{0_{\max}}$$

$$23.71811471 \text{ dBm} \leq N \leq 29.71811471 \text{ dBm}$$

Supongamos que el número aleatorio generado es: $N = 24 \text{ dBm}$

Convirtiendo los dBm a mW obtenemos que:

$$N_{mW} = 10^{\frac{24\text{dBm}}{10}} = 10^{2.4\text{dBm}} = 251.1886432. \text{ Entonces, el valor de } N \text{ es igual a } 251.1886432\text{mW.}$$

- Paso 3: Obtención del valor de SNR.

Este valor se calcula usando el valor de S y N obtenidos anteriormente (expresados en mW).

$$SNR_{dB} = 10 \text{Log}_{10} \frac{S}{N}$$

$$SNR_{dB} = 10 \text{Log}_{10} \frac{965.8062244}{251.1886432} = 10 \text{Log}_{10} 3.844943832$$

$$SNR = 5.84889 \text{ dB}$$

Criterio 4: Tasa de bits con error (BER)

El BER se define como la probabilidad de que un bit es recibido con error, es decir, es una fracción de una secuencia de bits de mensajes que se reciben con error en promedio por cada millón de bits transmitidos. La unidad de medida del BER es en bits. Por ejemplo, un valor de 10^{-7} significa que un bit en 10^7 bits transmitidos sería un error.

De acuerdo a [Stal05], se debe tener en cuenta que el valor de SNR afecta a la tasa de bits con error, de tal manera que un incremento en SNR ocasiona un decremento en el BER. Por lo tanto, el valor del BER que usaremos en la simulación dependerá del SNR obtenido y será generado de manera aleatoria. El BER estará comprendido entre 10^{-6} a 10^{-12} bits, tal como se describe en la tabla C-1.

Tabla C-1. Criterios a considerar para el valor del BER.

SNR	BER
0 dB ≤ SNR ≤ 8 dB	$10^{-6} \leq \text{BER} \leq 10^{-7}$
8 dB < SNR ≤ 10 dB	$10^{-7} < \text{BER} \leq 10^{-8}$
10 dB < SNR ≤ 25 dB	$10^{-8} < \text{BER} \leq 10^{-10}$
> 25 dB	$10^{-10} < \text{BER} \leq 10^{-12}$

Otro factor que sabemos que afecta el BER son las interferencias y en la realidad esto afectaría a las redes Wi-Fi y Bluetooth por usar la misma banda de frecuencia. Sin embargo, en esta versión del simulador no consideraremos esta situación debido a que no se cuenta en este momento con experimentos para hallar un modelo para el BER donde haya una combinación de señales de Bluetooth y Wi-Fi.

Criterio 5: Precios de conexión

Este criterio se refiere al costo que el usuario tiene que pagar por conectarse a una tecnología inalámbrica. Para efectos del simulador, los precios son definidos fuera de línea y son proporcionados por el usuario en el módulo “definir preferencias” al ingresar los precios de conexión de cada una de las tecnologías inalámbricas. Como se mencionó en el capítulo tres, las tecnologías inalámbricas que se usan en el simulador son: Bluetooth, 802.11a, 802.11b, 802.11g, GSM, GPRS, WIMAX, CDMA 2000 y UMTS.

Una vez que el usuario ingresa el precio de conexión, éste permanecerá fijo durante toda la simulación para cada una de las tecnologías inalámbricas.

Criterio 6: Ancho de banda (BW)

El *ancho de banda* (BW) se define como la cantidad de información que puede fluir a través de una conexión de red en un período de tiempo dado. En los sistemas digitales, la unidad básica del ancho de banda son los bits por segundo (bps).

Cada una de las tecnologías de acceso que consideramos para el simulador tiene su propio ancho de banda. El ancho de banda de cada tecnología, que usaremos en el simulador estará representado en Kbps y se describe en la tabla C-2 [Stal05][Cisc05][Rold05].

El valor de este criterio permanecerá fijo durante toda la simulación, para cada una de las tecnologías inalámbricas.

Tabla C-2. Ancho de banda de las tecnologías de acceso inalámbrico.

Tecnología	Ancho de banda	Ancho de banda (Kbps)
Bluetooth	721 Kbps	721 Kbps
802.11 a	54 Mbps	55,296 Kbps
802.11 b	11 Mbps	11,264 Kbps
802.11 g	54 Mbps	55,296 Kbps
GSM	9.6 Kbps	9.6 Kbps
GPRS	171 Kbps	171 Kbps
WIMAX	15 Mbps	15,360 Kbps
CDMA 2000	2 Mbps	2,048 Kbps
UMTS	2 Mbps	2,048 Kbps

Criterio 7: Tasa de transferencia real

La tasa de transferencia real, a la que denominaremos TTR se calculará periódicamente debido a que depende del número de usuarios que se encuentren conectados a la red en un momento dado. Para esto usaremos la fórmula (9).

$$Tasa_de_transferencia_real = \frac{Ancho_de_banda_total}{Cantidad_de_usuarios} \quad (9)$$

En relación a la cantidad de usuarios, se tomará en cuenta el valor proporcionado por el usuario del sistema al ingresar la cantidad de usuarios conectados a cada una de las células dibujadas en el simulador.

En relación a la tecnología Bluetooth, para obtener la TTR, dividiremos los 721 Kbps entre el número de usuarios conectados a la picocélula.

En relación a la tecnología 802.11, para el estándar 802.11a el valor que consideraremos como Ancho_de_banda_total dependerá de la distancia a la que se encuentre el nodo móvil del punto de acceso. La misma situación se considerará para el estándar 802.11g y 802.11b. Estas distancias se muestran en la tabla C-3, C-4 y C-5 [Cisc05].

Tabla C-3. Ancho de banda total de un punto de acceso 802.11a.

Distancia (metros)	Ancho de banda total (Kbps)
0 < d ≤ 13	55,296 Kbps
13 < d ≤ 15	49,152 Kbps
15 < d ≤ 19	36,864 Kbps
19 < d ≤ 26	24,576 Kbps
26 < d ≤ 33	18,432 Kbps
33 < d ≤ 39	12,288 Kbps
39 < d ≤ 45	9,216 Kbps
45 < d ≤ 50	6,144 Kbps

Tabla C-4. Ancho de banda total de un punto de acceso 802.11g.

Distancia (metros)	Ancho de banda total (Kbps)
0 < d ≤ 27	55,296 Kbps
27 < d ≤ 29	49,152 Kbps
29 < d ≤ 30	36,864 Kbps
30 < d ≤ 42	24,576 Kbps
42 < d ≤ 54	18,432 Kbps
54 < d ≤ 64	12,288 Kbps
64 < d ≤ 76	9,216 Kbps
76 < d ≤ 91	6,144 Kbps

Tabla C-5. Ancho de banda total de un punto de acceso 802.11b.

Distancia (metros)	Ancho de banda total (Kbps)
$0 < d \leq 48$	11,264 Kbps
$48 < d \leq 67$	5,632 Kbps
$67 < d \leq 82$	2,048 Kbps

En relación a la tecnología GSM, para obtener el Ancho_de_banda_total, consideraremos la distancia a la que se encuentra el nodo móvil de la estación base. Este valor se describe en la tabla C-6.

Tabla C-6. Ancho de banda total de la tecnología GSM.

Distancia (metros)	Ancho de banda total (Kbps)
$0 < d \leq 200$	9.6 Kbps
$200 < d \leq 1000$	4.8 Kbps
$1000 < d \leq 6000$	2.4 Kbps

En relación a la tecnología GPRS consideraremos para el ancho de banda total, los valores descritos en la tabla C-7 según la distancia a la que se encuentre el nodo móvil de la estación base y la velocidad del nodo móvil.

Tabla C-7. Ancho de banda total de la tecnología GPRS.

Distancia (metros)	Rango de velocidades		
	Estacionario $0 < v \leq 1$ m/seg	Baja movilidad 1 m/seg $< v \leq 30$ km/hr	Alta movilidad 30 km/hr $< v \leq 200$ km/hr
$0 < d \leq 200$	171 Kbps	50 Kbps	9.6 Kbps
$200 < d \leq 1000$	50 kbps	9.6 Kbps	4.8 Kbps
$1000 < d \leq 6000$	9.6 kbps	4.8 Kbps	2.4 Kbps

En relación a la tecnología WIMAX consideraremos para el ancho de banda total, los valores descritos en las tablas C-8 según la distancia a la que se encuentre el nodo móvil de la estación base [Guez05].

Tabla C-8. Ancho de banda total de la tecnología WIMAX.

Distancia (metros)	Ancho de banda total	Ancho de banda total (Kbps)
$0 < d \leq 200$	15 Mbps	15,360 Kbps
$200 < d \leq 1000$	12 Mbps	12,288 Kbps
$1000 < d \leq 6000$	2 Mbps	2,048 Kbps

En cuanto a la tecnología CDMA 2000 y UMTS consideraremos además de la distancia a la que se encuentra el nodo móvil, la velocidad a la que se desplaza el mismo. Los valores del ancho de banda total que usaremos en el simulador (expresados en Kbps) se describen en la tabla C-9 [Ramj03].

Tabla C-9. Ancho de banda total de la tecnología CDMA 2000 y UMTS.

Distancia (metros)	Rango de velocidades		
	Estacionario $0 < v \leq 1$ m/seg	Baja movilidad $1 \text{ m/seg} < v \leq 30$ km/hr	Alta movilidad $30 \text{ km/hr} < v \leq 200$ km/hr
$0 < d \leq 200$	2,048 Kbps	384 Kbps	144 Kbps
$200 < d \leq 1000$	384 kbps	144 Kbps	64 Kbps
$1000 < d \leq 6000$	144 kbps	64 Kbps	9.6 Kbps

Criterio 8: Latencia o retardo

La latencia, a veces también llamada *retardo en la propagación*, es el tiempo que un paquete emplea para viajar desde la estación origen hasta su destino. La latencia se mide en segundos o fracciones de segundo.

Para efectos del simulador, consideraremos que la latencia está afectada únicamente por el tipo de aplicación que ejecuta el nodo móvil. Si la aplicación es de datos, consideraremos que el retardo en la propagación será mayor de 0 ms hasta inclusive 1000 ms. Si la aplicación es multimedia, se considerará que el retardo en la propagación será mayor de 0 ms hasta inclusive 500 ms. Estos valores serán obtenidos de manera aleatoria pero encontrándose dentro de los rangos mencionados con anterioridad según el tipo de aplicación.

Criterio 9: Utilización del ancho de banda

La *utilización del ancho de banda* representa el porcentaje de tráfico que está manejando la red en un momento dado. Su valor está comprendido entre el 0 y el 100 %. Una utilización del ancho de banda del 0% significa que el ancho de banda está libre en su totalidad y el 100% significa que se está ocupando todo el ancho de banda.

La utilización del ancho de banda dependerá del tipo de aplicación. Esta utilización está relacionada con el retardo en la propagación. El valor de la utilización del ancho de banda varía en función del número de usuarios conectados a la red, el tipo y cantidad de aplicaciones que esté ejecutando el usuario. En nuestro caso, se considerará que por cada segmento de recta en el que se desplace el usuario éste solo ejecutará una aplicación, la cual puede ser de datos o sensible al retardo.

Para efectos del simulador, como el usuario sólo ejecutará una aplicación, consideraremos que el número de usuarios conectados aporta un 50% de tráfico y el 50% restante depende del tipo de aplicación.

Entonces, para obtener la utilización del ancho de banda usamos la fórmula (10):

$$U = \left(\frac{\text{Número_de_usuarios_conectados}}{\text{Número_máximo_de_usuarios}} * 0.5 \right) + (\text{Tipo_de_aplicación} * 0.5) \quad (10)$$

Donde la variable *Tipo_de_aplicación* es igual a uno cuando la aplicación es sensible al retardo y 0.5 cuando la aplicación sea de datos. El *Número_de_usuarios_conectados* lo proporciona el usuario cuando ingresa las características de cada célula y el *Número_máximo_de_usuarios* es un valor fijo que depende del tipo de célula (7 para las picocélulas, 15 para las microcélulas y 50 para las macrocélulas).

Políticas de Handoff: a continuación se lista cada una de las políticas de handoff que se usan en el simulador y se describe la forma en que se calculará su valor.

Política 1: Esta política establece lo siguiente: “***Si el tiempo estimado de visita (VD) a la nueva célula es menor o igual que el tiempo de visita mínimo requerido, entonces el handoff es innecesario***”.

Para determinar si se cumple o no esta política, es necesario obtener la Duración de Visita Mínima Requerida (MRVD) y la Duración de Visita (VD).

Obtención de MRVD.

Para obtener MRVD, únicamente se emplea la fórmula (11):

$$\text{MRVD} = \text{SP} + \text{LHO} + \text{IN} \quad (11)$$

El valor de SP, LHO e IN es proporcionado por el usuario, cuando define el valor de los parámetros de control.

Obtención del tiempo estimado de visita.

El tiempo estimado de visita es un valor **estimado** del tiempo que permanecerá el nodo móvil en la red destino.

El cálculo de este tiempo se realiza a partir del momento en que el nodo móvil descubre que tiene alcance a la célula. Una vez calculado, permanecerá fijo durante toda la simulación.

Para obtener la duración de visita, primeramente se determinarán los segmentos comprendidos en la célula.

Por ejemplo, en la figura C-1, la trayectoria que recorre el nodo móvil en la célula A, está formada por los segmentos M1, M2, M3 y M4. Por lo tanto, para obtener el tiempo en que se recorre cada segmento, se divide la distancia del mismo entre la

velocidad a la que se desplaza el móvil en ese segmento. Posteriormente, para obtener el tiempo en que se recorre *la trayectoria* se suman los tiempos obtenidos en cada segmento.

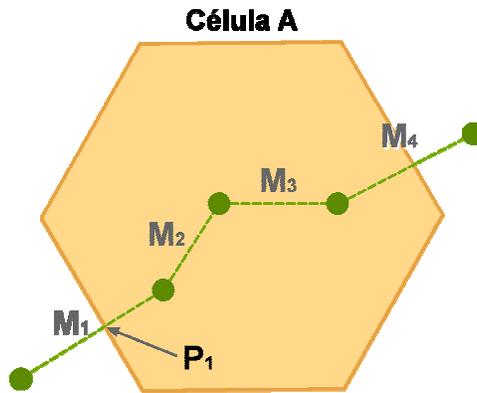


Figura C-1. Duración de visita del nodo móvil a través de una célula.

Sin embargo, en el caso del primer segmento M_1 , se observa en la figura C-1, que el nodo móvil tiene alcance a la célula a partir del punto P_1 , por lo que se requiere calcular la distancia desde P_1 hasta el vértice final del primer segmento, y posteriormente, se divide esta distancia entre la velocidad del segmento, y asignemos a esta distancia y velocidad, D_1 y V_1 , respectivamente.

En cuanto a los segmentos M_2 y M_3 , como se observa en la figura C-1, están comprendidos *dentro* de la célula, por lo que el tiempo en que se recorre cada uno, es la distancia del segmento entre la velocidad asignada al mismo. Sean D_2 y D_3 las distancias de cada segmento, y V_2 y V_3 las velocidades del mismo.

En relación al segmento M_4 , se observa que su vértice inicial está dentro de la célula, pero el vértice final está fuera de la misma. Cuando se presenta esta situación se obtiene un promedio del tiempo del segmento ya que en realidad el nodo no permanece en la célula a lo largo de todo el segmento. Sea D_4 la distancia del segmento y V_4 la velocidad del mismo.

Por lo tanto, el tiempo estimado de visita para la célula A, está dado por:

$$VD = \frac{D_1}{V_1} + \frac{D_2}{V_2} + \frac{D_3}{V_3} + \frac{D_4}{2V_4}$$

En conclusión, se tendrá en cuenta lo siguiente para obtener los tiempos de los segmentos de cada célula:

- Para el primer segmento, se obtendrá la distancia desde el momento en que el nodo móvil tiene cobertura a la célula hasta el final del segmento.

Posteriormente se divide esta distancia entre la velocidad en que se desplaza el móvil en este segmento.

- Para los segmentos que se encuentran dentro de la célula, se divide la distancia del segmento entre la velocidad en que se desplaza el móvil en ese segmento.
- Para el último segmento, se obtiene una estimación del tiempo, dividiendo el tiempo obtenido en este segmento entre dos.

El tiempo estimado de visita, es la suma de estos tiempos.

Política 2: Esta política establece lo siguiente: **“Si la carga de la batería del nodo móvil es crítica (entre el 25% y 30%) y la red destino demanda más energía que la red actual, entonces evitar hacer el handoff”.**

Para el cálculo de esta política, se requiere determinar el nivel de carga en la batería del nodo móvil.

El nivel de carga en la batería del nodo móvil (L) está comprendido en el rango del 0 al 100%. Este valor es proporcionado por el usuario en el módulo “Definir preferencias” y disminuirá conforme transcurra la simulación y se haga uso del nodo móvil. Para efectos de la simulación se tendrá en cuenta el criterio descrito en la tabla C-10.

Tabla C-10. Criterios a considerar para la carga de la batería del nodo móvil.

Nivel de carga (L)	Calidad de carga
$L \leq 25 \%$	Insuficiente
$25 \% < L \leq 30 \%$	Crítico
$30 \% < L \leq 50 \%$	Regular
$L > 50 \%$	Excelente

En esta versión del simulador, se consideró que el único factor que disminuye la carga es el tiempo. Para simular la disminución del porcentaje de carga de la batería del nodo móvil se determinó que éste disminuye linealmente con pendientes que dependen del tipo de célula al que se conecta el nodo móvil. Por lo anterior, la razón de consumo de una macrocélula es mayor que el de una microcélula, y el de una microcélula es a su vez mayor que el de una picocélula.

Para efectos del simulador, consideramos que el ángulo de inclinación α de la recta que representa una macrocélula, microcélula y picocélula es de 175, 165 y 150 grados respectivamente medidos a partir del eje positivo de las abscisas, tal como se observa en la figura C-2. En dicha figura se observa que la duración de la pila se termina en el tiempo t_5 cuando el nodo móvil se conecta a una macrocélula, en el tiempo t_{12} cuando se conecta a una microcélula y en el tiempo t_{20} si se conectó a una picocélula.

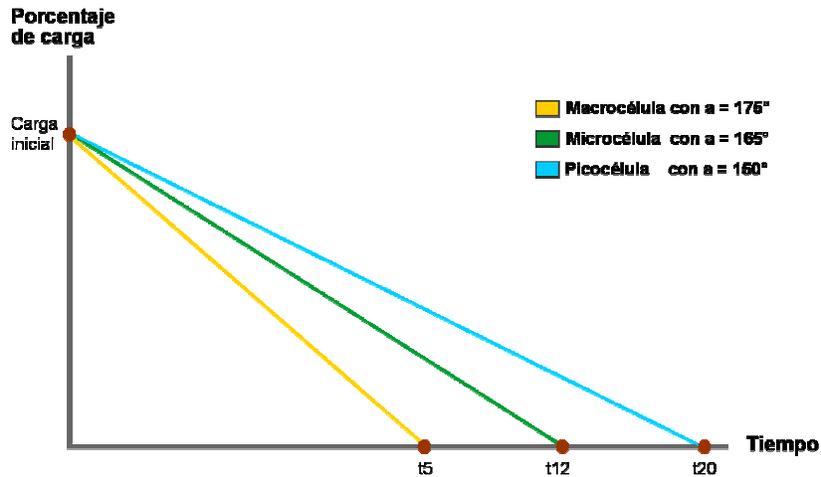


Figura C-2. Ángulo de inclinación para las macrocélulas, microcélulas y picocélulas.

Al inicio de la simulación la carga de la batería del nodo móvil es el valor proporcionado por el usuario al definir las preferencias, y a partir de este valor, necesitamos obtener por cada unidad de tiempo el nuevo valor de carga de la batería del nodo móvil. Para calcular el nuevo valor de la carga de la batería haremos uso de la ecuación de la recta dada por la relación (12):

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (12)$$

Las variables de la ecuación (12) significan:

- y representa el valor de la carga actual de la batería del nodo móvil (%).
- y_1 representa el valor de la carga de la batería del nodo móvil en la unidad de tiempo anterior (%).
- x representa el tiempo actual (segundos).
- x_1 representa el tiempo anterior (segundos).
- m representa la pendiente de la recta (sin unidad de medida).

Por lo tanto, como nos interesa obtener el valor de la carga actual de la batería del nodo móvil, despejando la variable “ y ” de la ecuación de la recta (12) y haciendo uso de nuestras variables, obtenemos la ecuación (13):

$$carga_{actual} = m(tiempo_{actual} - tiempo_{anterior}) + carga_{anterior} \quad (13)$$

La pendiente de la recta se refiere al ángulo de inclinación de la misma y se puede obtener con la relación (14) dada por:

$$m = \tan g \quad \alpha \quad (14)$$

Es decir, la pendiente de la recta que representa una macrocélula, microcélula o picocélula, se obtendrá calculando la tangente de 175, 165 ó 150 grados, respectivamente.

ANEXO D. Código del algoritmo de decisión ARDE

En este anexo se incluye el código de los módulos “Criterios de Handoff” y “Políticas de Handoff”, descritos en la arquitectura del simulador VHAND (véase figura 3-1).

Los módulos anteriores, son usados para determinar la mejor red y el momento oportuno para ejecutar el handoff, respectivamente.

▪ Código del módulo “Criterios de handoff”

```
function getMejorRed() :Void {
    this.resultado += "\n Obteniendo la mejor red";

    var mejorRed:MovieClip;
    var deseabilidad:Number;
    var deseabilidadActual:Number = -100000;

    for (var i:Number = 0; i<this.mtrCelulasAlcance.length; i++) {
        deseabilidad = this.calcularDeseabilidad(this.mtrCelulasAlcance[i]);

        if (!(this.celulaActual==undefined) and (this.mtrCelulasAlcance[i]==this.celulaActual)) {
            this.deseabilidadCelulaActual=deseabilidad;
        }

        if (deseabilidad > _root.mc_panelControl.c_thinf ) {
            if (deseabilidad>deseabilidadActual) { // Se obtiene una mejor red
                deseabilidadActual=deseabilidad;
                mejorRed = this.mtrCelulasAlcance[i] // asigna la mejor red
            }
        }
    } // Termina el ciclo for

    this.resultado += "\n La mejor red es "+mejorRed.nombre;
    this.mejorRed = mejorRed;
    this.deseabilidadMejorRed = deseabilidadActual;
}
```

```
function calcularDeseabilidad(celula:MovieClip):Number {
    var deseabilidad:Number = 0;
    this.resultado += "\n --->  calcularDeseabilidad("+celula.nombre+)";
    for (var i:Number = 0; i<9; i++) { //Estos son 10 criterios
        deseabilidad = deseabilidad + this.calcularMetrica(i, celula);
    }
    this.resultado += "\n La deseabilidad en la celula (" +celula.nombre+) es:" + deseabilidad;
    return deseabilidad;
}
```

```
function calcularMetrica(criterio:Number, celula:MovieClip):Number {
    var metrica:Number = 0;
    this.resultado += "\n          --->  calcularMetrica("+criterio+)";
    switch (criterio) {

        case 0 : // calcula la metrica segun el criterio UBICACION
            var criterio:Number = this.distanciaA(celula); // Ubicación
            metrica=Math.log(1/criterio); // Obtiene el logaritmo natural
            metrica=celula.c_ubicacion*metrica; // Multiplica (peso) * (metrica)
            // muestra informacion de valores
            this.resultado += "\n          Criterio DISTANCIA";
            this.resultado += "\n          :: valor de distancia:"+criterio;
            this.resultado += "\n          :: peso del criterio:"+celula.c_ubicacion;
```

```

        this.resultado += "\n          :: su métrica es: "+metrica;
        break;

    case 1 : // calcula la metrica segun el criterio SEÑAL RECIBIDA
        var criterio:Number = this.getRSS(celula);
        metrica=Math.log(criterio); // Obtiene el logaritmo natural
        metrica=celula.c_potencia*metrica; // Multiplica (peso) * (metrica)
        // muestra informacion de valores
        this.resultado += "\n          Criterio POTENCIA";
        this.resultado += "\n          :: valor de señal recibida:"+criterio;
        this.resultado += "\n          :: peso del criterio:"+celula.c_potencia;
        this.resultado += "\n          :: su métrica es: "+metrica;
        break;

    case 2 : // calcula la metrica segun el criterio RAZON DE SEÑAL AL RUIDO
        var criterio:Number = this.getSNR(celula); // Razon de la señal a ruido
        metrica=Math.log(criterio); // Obtiene el logaritmo natural
        metrica=celula.c_ruido*metrica; // Multiplica (peso) * (metrica)
        // muestra informacion de valores
        this.resultado += "\n          Criterio RUIDO";
        this.resultado += "\n          :: valor de razón de la señal a ruido:"+criterio;
        this.resultado += "\n          :: peso del criterio:"+celula.c_ruido;
        this.resultado += "\n          :: su métrica es: "+metrica;
        break;

    case 3 : // calcula la metrica segun el criterio TASA DE BITS CON ERROR(BER)
        var criterio:Number = this.getBER(celula);
        metrica=Math.log(1/criterio); // Obtiene el logaritmo natural
        metrica=celula.c_error*metrica; // Multiplica (peso) * (metrica)
        // muestra informacion de valores
        this.resultado += "\n          Criterio BER";
        this.resultado += "\n          :: valor tasa de bits con error:"+criterio;
        this.resultado += "\n          :: peso del criterio:"+celula.c_error;
        this.resultado += "\n          :: su métrica es: "+metrica;
        break;

    case 4 : // calcula la metrica segun el criterio PRECIO DE CONECCION
        var criterio:Number = this.getCTO(celula); // Costo de conexion
        metrica=Math.log(1/criterio); // Obtiene el logaritmo natural
        metrica=celula.c_costo*metrica; // Multiplica (peso) * (metrica)
        // muestra informacion de valores
        this.resultado += "\n          Criterio PRECIO DE CONECCION";
        this.resultado += "\n          :: valor precio de conexion:"+criterio;
        this.resultado += "\n          :: peso del criterio:"+celula.c_costo;
        this.resultado += "\n          :: su métrica es: "+metrica;
        break;

    case 5 : // calcula la metrica segun el criterio ANCHO DE BANDA
        var criterio:Number = this.getBW(celula); // Ancho de banda
        metrica=Math.log(criterio); // Obtiene el logaritmo natural
        metrica=celula.c_banda*metrica; // Multiplica (peso) * (metrica)
        // muestra informacion de valores
        this.resultado += "\n          Criterio ANCHO DE BANDA";
        this.resultado += "\n          :: valor ancho de banda:"+criterio;
        this.resultado += "\n          :: peso del criterio:"+celula.c_banda;
        this.resultado += "\n          :: su métrica es: "+metrica;
        break;

    case 6 : // calcula la metrica segun el criterio TRANSFERENCIA
        var criterio:Number = this.getTTR(celula); // Transferecia
        metrica=Math.log(criterio); // Obtiene el logaritmo natural
        metrica=celula.c_transferencia*metrica; // Multiplica (peso) * (metrica)
        // muestra informacion de valores
        this.resultado += "\n          Criterio TASA DE TRANSFERENCIA REAL";
        this.resultado += "\n          :: valor ancho de banda:"+criterio;
        this.resultado += "\n          :: peso del criterio:"+celula.c_transferencia;
        this.resultado += "\n          :: su métrica es: "+metrica;
        break;

    case 7 : // calcula la metrica segun el criterio RETARDO o LATENCIA
        var criterio:Number = this.getRetardo();

```

```

        metrica=Math.log(1/criterio);          // Obtiene el logaritmo natural
        metrica=celula.c_propagacion*metrica;// Multiplica (peso) * (metrica)
        // muestra informacion de valores
        this.resultado += "\n Criterio LATENCIA o PROPAGACION";
        this.resultado += "\n      :: valor del retardo en la propagación:"+criterio;
        this.resultado += "\n      :: peso del criterio:"+celula.c_propagacion;
        this.resultado += "\n      :: su métrica es: "+metrica;
        break;

    case 8 : // calcula la metrica segun el criterio UTILIZACION
    var criterio:Number = this.getUTIL(celula); // Utilizacion
    metrica=Math.log(1/criterio); // Obtiene el logaritmo natural
    metrica=celula.c_utilizacion*metrica; // Multiplica (peso) * (metrica)
    // muestra informacion de valores
    this.resultado += "\n Criterio UTILIZACION";
    this.resultado += "\n      :: valor utilización ancho de banda:"+criterio;
    this.resultado += "\n      :: peso del criterio:"+celula.c_utilizacion;
    this.resultado += "\n      :: su métrica es: "+metrica;
    break;
} // Fin del case
return metrica; // retorna el valor de la metrica
}

function distanciaA(mc:MovieClip):Number {
    var opuesto:Number = mc.cuerpo._y + mc._y - this._y;
    var adyacente:Number = mc.cuerpo._x + mc._x - this._x;
    var distancia:Number = Math.sqrt(Math.pow(adyacente,2) + Math.pow(opuesto,2));
    return distancia;
}

function getRSS(mc:MovieClip):Number {
    // calculamos los parametros
    var r:Number = 0.5; // r = 0.5 dB/Km

    //potencia expresada en dBm; segun la conversion de miliWatts a dBm:
    var pIN:Number = 10 * Math.log(mc.potencia) / Math.log(10);
    var distancia:Number = this.distanciaA(mc) / 1000 ; // distancia expresada en KM

    // Calcula la potencia de la señal recibida
    var rss:Number = pIN*Math.pow(10,(-1*r*distancia/10)); //Potencia de la señal recibida

    rss = Math.pow (10,(rss/10)); // convertimos la potencia de la señal a mW

    return rss;
}

function getN(mc:MovieClip):Number {
    // 1.- Obtener la RSS minimo, es el RSS calculado como distancia a la cobertura de la celula
    var r:Number = 0.5; // r = 0.5 dB/Km
    var pIN:Number = 10 * Math.log(mc.potencia) / Math.log(10);
    var distancia:Number = mc.cobertura / 1000 ; // distancia expresada en KM
    var rssMIN:Number = pIN*Math.pow(10,(-1*r*distancia/10)); //Potencia de la señal

    // 2.- obtener el ruido máximo (noMAX)
    var noMAX:Number = rssMIN;

    // 3.- obtener el ruido (no) restando a noMAX 3 decibeles
    var no:Number = noMAX - 3;

    // 4.- obtener el noMIN , restando a noMAX 3 decibeles
    var noMIN:Number = no - 3;

    // 5.- obtener ruido (n), valor aleatorio entre noMIN y noMAX
    var n:Number = Math.random() * (noMAX - noMIN) + noMIN;

```

```
// 6.- convertir el ruido a mW
var N:Number = Math.pow (10,n/10);

return N;
}

function getSNR(mc:MovieClip):Number {
// calculamos los parametros
var S:Number = this.getRSS(mc); // obtiene la potencia de la señal recibida
var N:Number = this.getN(mc); // obtiene el ruido
var SNR:Number = 10 * Math.log(S/N) / Math.log(10); // genera la razon de señal a ruido
//return SNR;
this.SNR=SNR;

return SNR;
}

function getBER(mc:MovieClip):Number {
// calculamos los parametros
var BER:Number;
var aleatorio:Number = Math.random();
var max:Number;
var min:Number;

if (this.SNR >25) {
    max = Math.pow (10,-10);
    min = Math.pow (10,-12);
} else if(this.SNR >10) {
    max = Math.pow (10,-8);
    min = Math.pow (10,-10);
} else if(this.SNR >8) {
    max = Math.pow (10,-7);
    min = Math.pow (10,-8);
} else if(this.SNR >=0) {
    max = Math.pow (10,-6);
    min = Math.pow (10,-7);
} else {
    max = Math.pow (10,-6);
    min = Math.pow (10,-6);
}
BER = Math.random() * ( max - min) + min;

return BER;
}

function getBW(mc:MovieClip):Number {
// calculamos los parametros
var BW:Number;
var anchoBanda:Number=0;
var tecnologia:String=mc.tecnologia;

switch (tecnologia) {
case "Bluetooth" :
    anchoBanda=721;
    break;
case "802.11a" :
    anchoBanda=55296;
    break;
case "802.11b" :
    anchoBanda=11264;
    break;
case "802.11g" :
    anchoBanda=55296;
    break;
case "GSM" :

```

```
        anchoBanda=9.6;
        break;
    case "GPRS" :
        anchoBanda=171;
        break;
    case "UMTS" :
        anchoBanda=2048;
        break;
    case "CDMA 2000" :
        anchoBanda=2048;
        break;
        break;
    case "WIMAX" :
        anchoBanda=15360;
        break;
} // Fin del switch

BW = anchoBanda;
return BW;
}

function getTTR(mc:MovieClip):Number {
    // calculamos los parametros
    var TTR:Number;
    var anchoBanda:Number=0;
    var tecnologia:String=mc.tecnologia;
    var dist:Number = this.distanciaA(mc);

    switch (tecnologia) {
        case "Bluetooth" :
            anchoBanda=721;
            break;
        case "802.11a" :
            if (dist>50) {
                anchoBanda=0;
            } if (dist>45) {
                anchoBanda=6144;
            } else if (dist>39){
                anchoBanda=9216;
            } else if (dist>33){
                anchoBanda=12288;
            } else if (dist>26){
                anchoBanda=18432;
            } else if (dist>19){
                anchoBanda=24576;
            } else if (dist>15){
                anchoBanda=36864;
            } else if (dist>13){
                anchoBanda=49152;
            } else {
                anchoBanda=55296;
            }
            break;
        case "802.11b" :
            if (dist>82){
                anchoBanda=0;
            } if (dist>67){
                anchoBanda=2048;
            } else if (dist>48){
                anchoBanda=5632;
            } else {
                anchoBanda=11264;
            }
            break;
        case "802.11g" :
            if (dist>91) {
                anchoBanda=0;
            } else if (dist>76) {
                anchoBanda=6144;
            }
    }
}
```

```
} else if (dist>64){
    anchoBanda=9216;
} else if (dist>54){
    anchoBanda=12288;
} else if (dist>42){
    anchoBanda=18432;
} else if (dist>30){
    anchoBanda=24576;
} else if (dist>29){
    anchoBanda=36864;
} else if (dist>27){
    anchoBanda=49152;
} else {
    anchoBanda=55296;
}
break;
case "GSM" :
    if (dist>6000){
        anchoBanda=0;
    } else if (dist>1000){
        anchoBanda=2.4;
    } else if (dist>200){
        anchoBanda=4.8;
    } else {
        anchoBanda=9.6;
    }
    break;
case "GPRS" :
    if (dist>6000){
        anchoBanda=0;
    } else if (dist>1000){ // 30 km/h : 8.333333    200 km/h : 55.55556
        if(this.velocidadMovil <= 1) anchoBanda=9.6 ;
        else if (this.velocidadMovil <= 8.333333) anchoBanda=4.8 ;
        else if (this.velocidadMovil <= 55.55556) anchoBanda=2.4 ;
        else anchoBanda=0;
    } else if (dist>200){
        if(this.velocidadMovil <= 1) anchoBanda=50;
        else if (this.velocidadMovil <= 8.333333) anchoBanda=9.6 ;
        else if (this.velocidadMovil <= 55.55556) anchoBanda=4.8 ;
        else anchoBanda=0;
    } else { // revisar velocidad
        if(this.velocidadMovil <= 1) anchoBanda=171;
        else if (this.velocidadMovil <= 8.333333) anchoBanda=50;
        else if (this.velocidadMovil <= 55.55556) anchoBanda=9.6;
        else anchoBanda=0;
    }
    break;
case "UMTS" :
case "CDMA 2000" :
    if (dist>6000){
        anchoBanda=0;
    } else if (dist>1000){
        if(this.velocidadMovil <= 1) anchoBanda=144;
        else if (this.velocidadMovil <= 8.333333) anchoBanda=64;
        else if (this.velocidadMovil <= 55.55556) anchoBanda=9.6;
        else anchoBanda=0;
    } else if (dist>200){
        if(this.velocidadMovil <= 1) anchoBanda=384;
        else if (this.velocidadMovil <= 8.333333) anchoBanda=144;
        else if (this.velocidadMovil <= 55.55556) anchoBanda=64;
        else anchoBanda=0;
    } else {
        if(this.velocidadMovil <= 1) anchoBanda=2048;
        else if (this.velocidadMovil <= 8.333333) anchoBanda=384;
        else if (this.velocidadMovil <= 55.55556) anchoBanda=144;
        else anchoBanda=0;
    }
    break;
case "WIMAX" :
    if (dist>6000){
        anchoBanda=0;
```

```
        } else if (dist>1000){
            anchoBanda=2048;
        } else if (dist>200){
            anchoBanda=12288;
        } else {
            anchoBanda=15360;
        }
        break;
    }

    if (mc.usuarios==0)
        TTR = anchoBanda;
    else
        TTR = anchoBanda / mc.usuarios;
    return TTR;
}

function getRetardo():Number {
    // calculamos los parametros
    var retardo:Number;
    var max:Number;
    var min:Number;
    var aplicacion:String=this.segmento.aplicacion;

    switch (aplicacion) {
        case "datos" :
            max = 1; // su equivalente 1000 milisegundos
            min = 0;
            break;
        case "sensible al retardo" :
            max = 0.5; // su equivalente 500 milisegundos
            min = 0;
            break;
        default :
            max = 1; // no hay retardo
            min = 1; // pero garantizamos que el criterio tenga valor 0
    }
    retardo = Math.random() * ( max - min) + min;
    return retardo;
}

function getUTIL(mc:MovieClip):Number {
    // calculamos los parametros
    var UTIL:Number;
    var tAplicacion:Number;

    if (this.segmento.aplicacion == "datos") {
        tAplicacion = 0.5;
    } else { // aplicacion es sensible al retardo
        tAplicacion = 1;
    }
    UTIL = mc.usuarios / mc.usuariosMax * 0.5 + tAplicacion * 0.5;
    return UTIL;
}

function getCTO(mc:MovieClip):Number {
    var CTO:Number=0;
    var tecnologia:String=mc.tecnologia;
    var mc:MovieClip=_root.mc_panelCosto;
    switch (tecnologia) {
        case "Bluetooth" :
            CTO=Number(mc._bluetooth.text)
            break;
        case "802.11a" :
            CTO=Number(mc._80211a.text)
    }
}
```

```

        break;
    case "802.11b" :
        CTO=Number(mc._80211b.text)
        break;
    case "802.11g" :
        CTO=Number(mc._80211g.text)
        break;
    case "GSM" :
        CTO=Number(mc._gsm.text)
        break;
    case "GPRS" :
        CTO=Number(mc._gprs.text)
        break;
    case "UMTS" :
        CTO=Number(mc._umts.text)
        break;
    case "CDMA 2000" :
        CTO=Number(mc._cdma.text)
        break;
    case "WIMAX" :
        CTO=Number(mc._wimax.text)
        break;
    }
    return CTO;
}

```

▪ Código del módulo “Políticas de handoff”

```

function revisarHandOff():Void {
    //this.resultado += "\n revisarHandOff(), la celula actual es: " + this.celulaActual.nombre;
    //this.resultado += "Inicia proceso para decidir si se ejecuta el handoff";

    if (this.celulaActual == undefined) {
        this.resultado += "\n No habia señal, por lo tanto el nodo se conecta a la mejor red:
"+this.mejorRed.nombre;
        this.celulaActual = this.mejorRed;
        this.deseabilidadCelulaActual = this.deseabilidadMejorRed;
        this.resultado += "\n La red actual es: "+this.celulaActual.nombre;
    } else {
        if (this.celulaActual == this.mejorRed) { // es la misma red
            // LINEA AGREGADA HOY 06 DE DICIEMBRE
            this.ajustado = false;
            this.resultado += "\n No se realiza el handoff porque la red actual mantiene la
mayor métrica de deseabilidad";
        } else {
            //this.resultado += "\n Inicia la preparación para el handoff";
            var Tipo_de_handoff:String;

            if (this.deseabilidadCelulaActual > _root.mc_panelControl.c_thsup) {
                Tipo_de_handoff = "oportunista";
                this.resultado += "\n Preparándose para un handoff: "+Tipo_de_handoff;
                this.resultado += "\n El valor de Thsup es igual a:
"+_root.mc_panelControl.c_thsup;
                this.resultado += "\n En este segmento el tipo de aplicación es:
"+this.tipoAplicacion;
            } else {
                Tipo_de_handoff = "imperativo";
                this.resultado += "\n Preparándose para un handoff: "+Tipo_de_handoff;
                this.resultado += "\n El valor de Thsup es igual a:
"+_root.mc_panelControl.c_thsup;
                this.resultado += "\n En este segmento el tipo de aplicación es:
"+this.tipoAplicacion;
            }

            if ((Tipo_de_handoff == "imperativo") || (this.tipoAplicacion
=="sensible al retardo")){
                this._Delta = 0.003; //Delta_imp del código;
                this._IN = 0.5; // _u = IN_imp del código;
            }
        }
    }
}

```


Anexo D

```

//var tVisita:Number =
this.tiempoVisita(this.mejorRed); INICIALMENTE
//var tVisita:Number =
this.tiempoVisitaEsperado(this.mejorRed); SOLO PARA LA MEJOR RED
var tVisita:Number =
this.mejorRed.tiempoEstimadoVisita; // PREVIAMENTE CALCULADO EN getCelulasAlcance
var dVisita:Number =
this.duracionVisita(this._SP,this._IN);
AGREGADA HOY 06 DE DICIEMBRE this.resultado += ("\n SP es: "+this._SP); // LINEA
AGREGADA HOY 06 DE DICIEMBRE this.resultado += ("\n IN es: "+this._IN); // LINEA
this.resultado += ("\n El tiempo estimado de visita en
la mejor red es: "+tVisita); // LINEA AGREGADA HOY 06 DE DICIEMBRE
AGREGADA HOY 06 DE DICIEMBRE this.resultado += ("\n MRVD es: "+ dVisita); // LINEA
if (tVisita < dVisita) {
    this.resultado += "\n No se ejecuta el handoff
porque el tiempo que permanecerá el nodo móvil en la mejor red no es suficiente";
    this.cargaHandOff(); // Valores para
revisarHandoff
    return;
} else {
    this.resultado += "\n Se acaba de ejecutar el
handoff con las siguientes características:";
    this.resultado += "\n tipo:
"+Tipo_de_handoff;
    this.resultado += "\n origen:
"+this.celulaActual.nombre;
    this.resultado += "\n destino:
"+this.mejorRed.nombre;
    //this.resultado += "\n tiempo:
"+dVisita;
    this.celulaActual = this.mejorRed;
this.deseabilidadCelulaActual =
this.deseabilidadMejorRed;
    this.cargaHandOff(); // Valores para
revisarHandoff
}
} else {
    this._SPTemporal--;
    this.resultado += "\n Esperando finalización del
período de estabilización ajustado";
}
}
}
}
```