

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**DOBLE TITULACIÓN**  
**CONVENIO DE INTERCAMBIO DE ESTUDIANTES**  
**PUCP-UPC de Barcelona**



**EVALUACIÓN DE UN ALGORITMO DE SELECCIÓN DE**  
**RED DE ACCESO RADIO PARA EL SERVICIO DE DATOS**  
**SIN REQUERIMIENTOS DE TIEMPO REAL**

Tesis para optar al Título de  
**INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES**

Presentada por:

**José Luis Vivanco Cárdenas**

Lima, setiembre del 2008

## RESUMEN

Servicios de tercera generación requieren tecnologías móviles que se ajusten a sus requerimientos tales como capacidad, throughput, retardo, jitter, etc. La exigencia es grande por lo cual lograr una administración eficiente de los recursos radio que provee cada tecnología es un punto crucial.

Con el objetivo de mejorar la administración de recursos y por tanto las prestaciones de las redes móviles actuales, se desarrollan algoritmos uno de los cuales es el algoritmo opportunistic, el cual se basa en analizar factores antes de asignar recursos a un usuario y servicio determinado.

El Common Radio Resource Management se refiere a un conjunto de funciones que están establecidas con el fin de asegurar el uso eficiente de los recursos radio disponibles en redes móviles. Las unidades de recursos que son dados por la red en una determinada área y por un cierto tiempo deben ser cuidadosamente administrados ya que deben ser suministrados a los diferentes usuarios de acuerdo a los requerimientos de los servicios que soliciten.

Los algoritmos de RRM deben encontrar un punto de equilibrio entre los diversos compromisos que existen en una red móvil tales como incrementar el throughput a costa de disminuir el área de cobertura o aumentar la capacidad a costa de degradar el QoS del sistema.

Este proyecto se centra en el análisis del denominado algoritmo opportunistic el cual está pensado para servicios que no tengan necesidades estrictas en términos de retardo (e.g. transmisión de correo electrónico con información adjunta, ficheros ftp, etc).

## Acta d'Avaluació de Projecte

**Estudiant:** VIVANCO CARDENAS, JOSE LUIS  
**Dni:** 03524162-X  
**Títol:** Evaluación de un algoritmo de selección de red de acceso radio para servicio de datos sin requerimientos de tiempo real  
**Titulació:** ENGINYERIA DE TELECOMUNICACIÓ  
**Especialitat:** PFC SENSE ESPECIALITAT  
**Crèdits:** 36 **Modalitat:** A - Centre  
**Director:** PEREZ ROMERO, JORGE

## QUALIFICACIÓ\*

EXCEL·LENT (9)

El President:



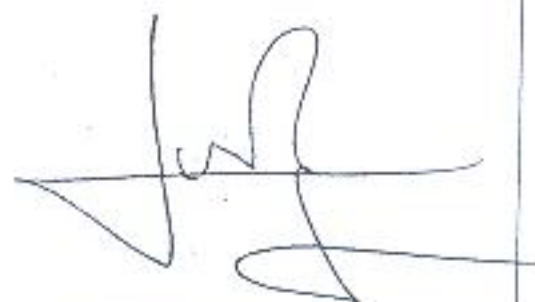
SALLENT ROIG, JOSE ORIOL

El Vocal:



VILLANUEVA GOMEZ, MIGUEL ANGEL

El Secretari:



PEREZ ROMERO, JORGE

Barcelona, 17 de juliol de 2008.

En cas de concedir Matricula d'Honor, cal la unanimitat dels 3 membres del tribunal, que ha de fer constar els mèrits pels quals atorga aquesta qualificació

(\* Especifiqueu la nota numèrica, amb resolució de 0.5; i la nota descriptiva, d'acord amb les següents correspondències: 10, Matricula d'honor; 9 o 9.5, Excel·lent; de 7 a 8.5 Notable; de 5 a 6.5 Aprovat.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

Departamento de Teoría de Señal y Comunicaciones

PROYECTO FINAL DE CARRERA

**Evaluación de un Algoritmo de Selección  
de Red de Acceso Radio para el Servicio  
de Datos sin requerimientos de tiempo real**

Autor: **José Luis Vivanco Cárdenas**

Director: **Jordi Pérez Romero**

Universidad Politécnica de Cataluña

Barcelona, España

Julio, 2008

# Índice general

Índice general . . . . .	I
Índice de figuras . . . . .	v
Índice de cuadros . . . . .	ix
<b>1. Introducción . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción a las comunicaciones móviles . . . . .	1
1.2. Evolución de las comunicaciones móviles . . . . .	2
1.2.1. Comunicaciones móviles de primera generación . . . . .	2
1.2.2. Comunicaciones móviles de segunda generación . . . . .	3
1.2.3. Comunicaciones móviles de tercera generación . . . . .	4
1.2.4. Redes Beyond 3G . . . . .	9
1.3. Necesidad de hacer una gestión eficiente con los Recursos Radio . . . . .	12
1.3.1. RRM en redes B3G . . . . .	13
1.4. Objetivos del proyecto . . . . .	15
1.4.1. Estructura del proyecto . . . . .	16
<b>2. Opportunistic Common Radio Resource Management . . . . .</b>	<b>17</b>
2.1. Introducción . . . . .	17
2.2. Escenario de aplicación del algoritmo opportunistic . . . . .	20
2.3. Formulación del algoritmo opportunistic . . . . .	22

2.4.	Diagrama del proceso de decisión del Algoritmo . . . . .	23
2.4.1.	Condición 1 . . . . .	26
2.4.2.	Condición 2 . . . . .	27
2.4.3.	Condición 3 . . . . .	27
<b>3.</b>	<b>Descripción del entorno de simulación . . . . .</b>	<b>28</b>
3.1.	Introducción . . . . .	28
3.2.	Simulador a nivel de sistema . . . . .	30
3.2.1.	Procedimientos considerados en el simulador . . . . .	30
3.2.2.	Nodos agregados al entorno de simulación . . . . .	31
3.2.3.	Interacción entre los procesos del simulador . . . . .	32
3.3.	Estadísticas ofrecidas por el simulador . . . . .	33
3.3.1.	Estadísticas Escalares . . . . .	34
3.3.2.	Estadísticas Vectoriales . . . . .	35
3.4.	Interacción entre los simuladores a nivel de enlace y sistema . . . . .	35
3.5.	Definición de parámetros importantes utilizados en el proceso de simulación	38
3.5.1.	Parámetros de la estación base . . . . .	38
3.5.2.	Parámetros del equipo de usuario - UTRAN R99 . . . . .	39
3.5.3.	Parámetros correspondientes a la administración de recursos radio- eléctricos . . . . .	39
3.5.4.	Modelos de movilidad . . . . .	40
<b>4.</b>	<b>Optimización de los parámetros del algoritmo Opportunistic . . . . .</b>	<b>42</b>
4.1.	Metodología de Optimización . . . . .	42
4.2.	Composición del Escenario . . . . .	43
4.3.	Consideraciones del Algoritmo . . . . .	44
4.3.1.	Para la RAB HSDPA . . . . .	44
4.3.2.	Para la RAB HSUPA . . . . .	45

4.3.3.	Para los usuarios operando en Opportunistic Mode . . . . .	45
4.3.4.	Para los usuarios conectados a UTRAN R99 . . . . .	45
4.4.	Evaluación de los parámetros del algoritmo . . . . .	47
4.4.1.	Parámetro opportunistic - Delta . . . . .	47
4.4.2.	Parámetro opportunistic - Alfa . . . . .	54
4.4.3.	Parámetro opportunistic - Beta . . . . .	58
4.4.4.	Variante del algoritmo considerando eliminar un parámetro opportunistic . . . . .	61
4.5.	Estudio de las posibles interrelaciones entre los parámetros opportunistic . . . . .	64
4.5.1.	Simulación 1: Beta fijo, delta y alfa variando. . . . .	64
4.5.2.	Simulación 2: Delta fijo, alfa y beta variando. . . . .	66
4.5.3.	Simulación 3: Alfa fijo, delta y beta variando. . . . .	68
4.5.4.	Indicador único opportunistic . . . . .	70
4.6.	Comparativa del algoritmo utilizado contra el caso No opportunistic . . . . .	72
4.7.	Conclusiones . . . . .	76
<b>5.</b>	<b>Evaluación del algoritmo en otros escenarios . . . . .</b>	<b>78</b>
5.1.	Escenario Lineal - Carretera . . . . .	78
5.2.	Escenario analizado según variaciones en el esquema de movilidad de tipo Random Walk . . . . .	81
5.3.	Conclusiones . . . . .	84
<b>6.</b>	<b>Variante del algoritmo opportunistic teniendo en cuenta el tiempo máximo de entrega de un fichero . . . . .</b>	<b>85</b>
6.1.	Formulación del algoritmo . . . . .	86
6.2.	Evaluación del algoritmo . . . . .	88
6.2.1.	Transmisión en el enlace ascendente . . . . .	88
6.2.2.	Transmisión en el enlace descendente . . . . .	94

7. Conclusiones . . . . .	97
8. Líneas futuras . . . . .	100





# Índice de figuras

1.1. Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles. . . . .	2
1.2. Asignación de frecuencias para los sistemas de tercera generación. . . . .	7
1.3. Asignación de frecuencias del nuevo IMT2000 . . . . .	8
1.4. Red móvil Heterogénea . . . . .	11
2.1. Clasificación de servicios móviles según los requerimientos de ancho de banda y latencia. . . . .	20
2.2. Concepto del Algoritmo Opportunistic . . . . .	21
2.3. Definiciones Geográficas del algoritmo Opportunistic. . . . .	23
2.4. Proceso de decisión del Algoritmo Opportunistic . . . . .	25
3.1. Modelo de Red. . . . .	33
3.2. Interacción entre los simuladores a nivel de enlace y sistema. . . . .	36
3.3. Estructura de las tablas del simulador a nivel de enlace. . . . .	37
3.4. Modelo de movilidad tipo Random Walk . . . . .	41
4.1. Evolución del retardo medio según el crecimiento del parámetro delta threshold. . . . .	48
4.2. Impacto de la variación de delta en el número de usuarios en el estado Keep Waiting Opportunity. . . . .	49
4.3. Evolución del throughput conversacional según el crecimiento de delta threshold. . . . .	50
4.4. Comportamiento del retardo medio según delta threshold y el tamaño de fichero(L). . . . .	51

4.5. Comportamiento del UTRAN throughput conversacional según delta threshold y el tamaño de fichero(L). . . . .	52
4.6. Load Factor en UL según la variación de Delta Threshold . . . . .	52
4.7. BLER según la variación de delta threshold. . . . .	53
4.8. Impacto de la variación de delta en el número de Usuarios en el estado Keep Waiting Opportunity. . . . .	54
4.9. Retardo medio según la variación de alfa. . . . .	55
4.10. CDF del retardo según la variación de alfa. . . . .	56
4.11. UTRAN throughput conversacional según la variación de alfa. . . . .	57
4.12. CDF del facto de carga en UL según la variación de alfa. . . . .	57
4.13. Impacto de la variación de beta en el número de usuarios en el estado Keep Waiting Opportunity. . . . .	58
4.14. Impacto del retardo medio según la variación de beta. . . . .	59
4.15. Impacto de la variación de beta en el throughput conversacional logrado por los usuarios conectados a UTRAN R99. . . . .	60
4.16. Impacto en el retardo medio al eliminar beta threshold. . . . .	62
4.17. Impacto en el UTRAN throughput conversational al eliminar beta threshold. . . . .	63
4.18. Retardo medio de acuerdo a la variación de los parámetros delta y alfa considerando beta fijo. . . . .	65
4.19. Throughput de acuerdo a la variación de los parámetros delta y alfa considerando beta fijo. . . . .	65
4.20. Retardo medio de acuerdo a la variación de los parámetros alfa y beta considerando delta fijo. . . . .	66
4.21. Throughput de acuerdo a la variación de los parámetros alfa y beta considerando delta fijo. . . . .	67
4.22. Retardo medio de acuerdo a la variación de los parámetros delta y beta considerando alfa fijo. . . . .	68
4.23. Throughput de acuerdo a la variación de los parámetros delta y beta considerando alfa fijo. . . . .	69

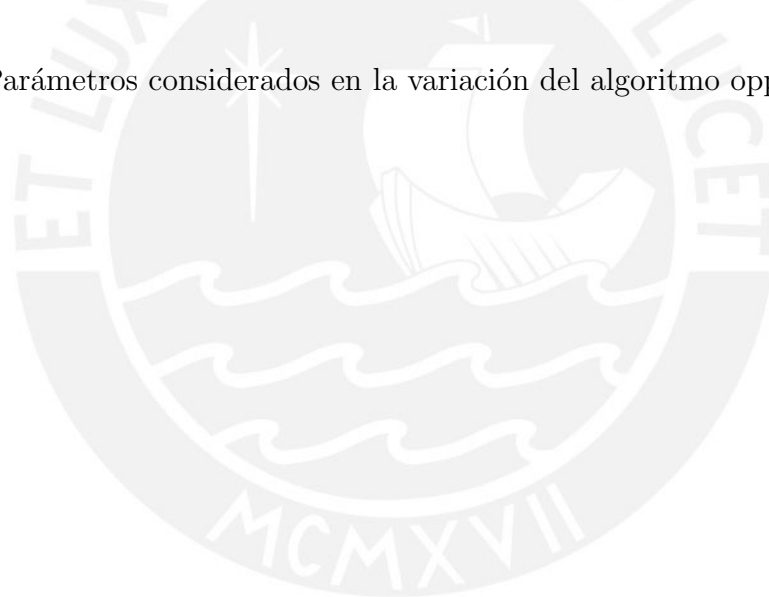
4.24. Resumen de prestaciones para delta threshold - Retardo medio, Throughput.	70
4.25. Resumen de prestaciones para alfa threshold - Retardo medio, Throughput.	71
4.26. Resumen de prestaciones para beta threshold - Retardo medio, Throughput	71
4.27. Retardo medio de los usuarios opportunistic. . . . .	73
4.28. CDF del retardo de transmisión para los usuarios opportunistic. . . . .	73
4.29. BLER de los usuarios conversacionales. . . . .	74
4.30. CDF del factor de carga en el enlace ascendente para una de las celdas vecinas a la celda con HSPA. . . . .	74
4.31. Throughput total en el escenario percibido por usuarios conversacionales. .	75
5.1. Definición geográfica lineal para la aplicación del algoritmo opportunistic. .	79
5.2. Retardo medio para usuarios opportunistic considerando un escenario de aplicación rectilíneo. . . . .	80
5.3. Throughput para usuarios conversacionales considerando un escenario de aplicación rectilíneo. . . . .	80
5.4. Modelo de movilidad tipo random walk. . . . .	81
5.5. Retardo medio para usuarios opportunistic considerando variaciones de probabilidad de cambio dirección y magnitud del ángulo. . . . .	83
5.6. Impacto en el throughput conversacional según variaciones de probabilidad de cambio dirección y magnitud del ángulo. . . . .	84
6.1. Eventos en la aplicación del algoritmo opportunistic que considera tiempo máximo de transmisión. . . . .	87
6.2. Proceso de decisión del algoritmo opportunistic considerando el tiempo máximo de entrega de un fichero. . . . .	87
6.3. Movilidad de un usuario opportunistic aplicando el tiempo máximo de entrega de un fichero. . . . .	89
6.4. Evolución de la longitud del buffer. . . . .	91
6.5. Resultados del Algoritmo Opportunistic - Retardo medio . . . . .	92

6.6. CDF del retardo para los usuarios opportunistic considerando el tiempo máximo de entrega de un fichero. . . . .	93
6.7. Resultados de la variante del algoritmo opportunistic - Throughput total para los usuarios del tipo conversacionales. . . . .	94
6.8. Resultados de la variante del algoritmo opportunistic - Retardo medio para el enlace descendente. . . . .	95
6.9. Resultados de la variante del algoritmo opportunistic - Throughput total para los usuarios del tipo conversacionales en el enlace descendente. . . . .	96



# Índice de cuadros

4.1. Parámetros - UTRAN R99 . . . . .	44
4.2. Parámetros de administración de recursos radioeléctricos. . . . .	45
4.3. Parámetros CRRM . . . . .	46
6.1. Parámetros considerados en la variación del algoritmo opportunistic. . . . .	88



# 1

## Introducción

### 1.1. Introducción a las comunicaciones móviles

La telefonía móvil constituye uno de los ámbitos de desarrollo tecnológico que más impacto tiene en la vida social y económica en la actualidad, la velocidad de implantación de estos sistemas describe un cambio muy brusco en la sociedad ya que hasta el momento ninguna tecnología había logrado captar tantos millones de usuarios en tan poco tiempo.

La sociedad de la información en la cual vivimos está sustentada en dos pilares claramente definidos como el Internet y las comunicaciones móviles que además muestran tendencias de crecimiento tanto en el número de usuarios como en los servicios que se van añadiendo.

El volumen de negocio que promueven los sistemas de telecomunicaciones y en especial las comunicaciones móviles provocaron que todos los gobiernos de los estados más desarrollados del mundo destinen esfuerzos con el fin de regular las condiciones en las que compañías operadoras pueden desplegar nuevas redes y como van a gestionar los enormes ingresos que perciban en materia de impuestos, proyectos de estandarización nacen con la finalidad de unificar todos los sistemas a nivel global. La ITU(International Telecommunication Union) es el organismo intergubernamental que se encarga de los procesos de estandarización tanto en el tema técnico como en la gestión del espectro radioeléctrico. En Europa se fundó también otro organismo llamado ETSI(European Telecommunication Standards Institute) que viene a ser análogo al ITU, la ETSI realiza el trabajo de estandarización dentro del marco únicamente europeo, pero define en

sus bases que, en la medida de lo posible se colabore con la ITU en temas de estándares técnicos globales.[3][8][11]

## 1.2. Evolución de las comunicaciones móviles

La evolución tecnológica ha permitido mejorar las prestaciones ofrecidas por los servicios desde el punto de vista del cliente y del operador, en el primer caso se consideran mejores velocidades de transmisión y características de calidad, a su vez el mejor uso y gestión de los recursos radioeléctricos suponen una gran ventaja para el operador.[8]

Los sistemas de comunicaciones móviles de acuerdo al proceso de evolución al que fueron sometidos transcurrieron por diferentes fases las cuales se especifican a continuación.

La figura 1.1 muestra un esquema de los sistemas más significativos que se han desarrollado en cada generación de móviles.

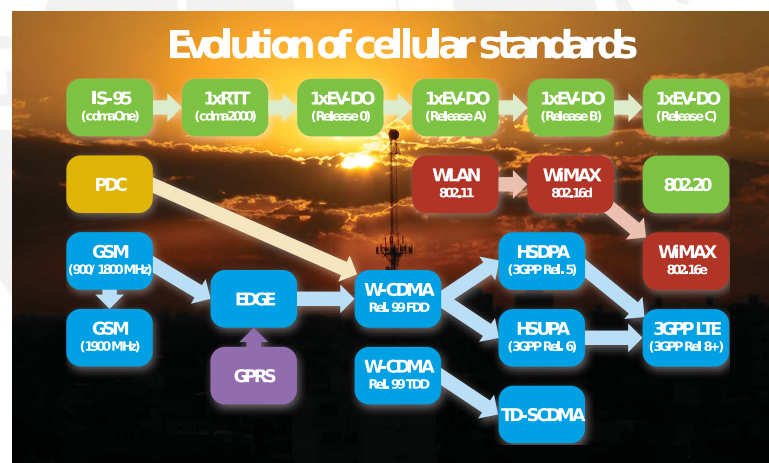


Figura 1.1: Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles.

### 1.2.1. Comunicaciones móviles de primera generación

Las comunicaciones móviles de primera generación se caracterizaron por ser sistemas analógicos, los servicios que se ofrecían en aquel entonces eran muy limitados, tales como la radio mensajería y transmisión de datos a muy baja velocidad, el servicio más difundido fue el básico de voz que a su vez era el principal objetivo de estos sistemas.

Los sistemas de primera generación básicamente fueron:

- **Sistemas de telefonía pública:** Fueron los sistemas que estaban diseñados para permitir a un usuario recibir o generar llamadas de voz hacia cualquier otro usuario ya sea de telefonía fija o móvil. Estos sistemas consideran la división de la región de cobertura en celdas permitiendo el reuso frecuencial. Los sistemas de este tipo que destacaron fueron: AMPS(American Mobile Phone System) en Estados Unidos, NMT(Nordic Mobile Telephone) por Ericsson, TACS(Total Access Communications System) en Europa. Estos sistemas funcionaban en un ámbito nacional y no permitían interconectividad entre redes o *roaming*.
- **Sistemas de telefonía privada:** Daban servicios de voz a grupos cerrados de usuarios que no requieren acceso a la red pública.
- **Sistemas de telefonía sin hilos:** Estos sistemas se basaban en la conexión entre un transmisor/receptor radio a la telefonía fija, básicamente se lograba sustituir el canal físico (cable) por el medio inalámbrico.
- **Sistemas de radio mensajería:** Permitían enviar mensajes alfanuméricos de forma unidireccional hacia terminales móviles.

### 1.2.2. Comunicaciones móviles de segunda generación

El mundo digital provocó una revolución en los sistemas móviles y sistemas digitales como GSM(Global System for Mobile Communication), PDC (Personal Digital Cellular), cdmaOne(IS-95) y US-TDMA(IS-136) se establecieron como la segunda generación celular.

La principal característica de los sistemas de segunda generación fue su diseño, pensado estrictamente para permitir comunicaciones de voz con unos pocos servicios de valor añadido de los cuales el más exitoso fue la mensajería instantánea(SMS - Short Message Service), de acuerdo al paso del tiempo nuevos servicios se fueron añadiendo y el acceso a internet se convirtió en un servicio que motivó cambios.

Esta generación supuso una gran mejora con respecto a su antecesora ya que hizo uso de ventajas proporcionadas por la tecnología digital, como la capacidad para incrementar la calidad de recepción debido a técnicas de ecualización y codificación, el uso de la



criptografía para ofrecer una mayor privacidad, la mayor capacidad para la transmisión de datos con diferentes tasas binarias, mayor capacidad para el operador, etc.

Otro punto importante a tener en cuenta es que estos sistemas permiten emplear nuevas técnicas de acceso múltiple, como TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo) o CDMA (Acceso múltiple por división de código) que mejoran la eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico.

Existieron entonces varios elementos que provocaron la necesidad de plantear la creación de una nueva generación de los sistemas de comunicaciones móviles:

- La penetración en el mercado de los sistemas de segunda generación.
- El crecimiento en el uso de internet.
- El aumento de la movilidad de las personas y negocios.

### 1.2.3. Comunicaciones móviles de tercera generación

Actualmente los sistemas de comunicaciones móviles que están en funcionamiento a gran escala son los sistemas llamados de segunda generación, de los que destacan GSM y cdmaOne (IS-95), estos sistemas han permitido abordar de una buena forma las necesidades de los usuarios para las comunicaciones de voz.[11]

Muchos usuarios están usando con más frecuencia servicios conocidos como de valor añadido, que se ofrecen por estos mismos sistemas (2G), tales como SMS, acceso a redes de datos, navegación por internet, esto provocó el incremento en la demanda de dichos servicios que a su vez generaron nuevas necesidades las cuales suscitan el planteamiento de la creación de una nueva generación de sistemas de comunicaciones móviles.

#### Elementos que provocaron la nueva generación celular

- El crecimiento muy acelerado en la penetración de los sistemas de segunda generación en el mercado, sólo con decir que en muchos países el número de abonados móviles ya superaron al número de abonados de líneas fijas. El considerar el uso de la tecnología móvil como unipersonal explica dicha tendencia de penetración. La saturación de los sistemas de segunda generación es un hecho por lo que es necesario un nuevo sistema móvil que tenga características de escalabilidad.

- El crecimiento en el uso de Internet, el acceso a la red se ha vuelto también en los últimos años otro servicio de gran demanda. Internet produjo la inserción de muchos servicios y negocios que a su vez han generado la llamada ‘Nueva economía’.

La necesidad de hacer de internet un servicio portable, es decir lograr una combinación de los beneficios de las comunicaciones móviles con el acceso a internet ha surgido de una forma natural.

Los sistemas de segunda generación al estar diseñados para transmitir voz vieron la necesidad de soportar el nuevo servicio de internet, pero su característica de conmutación por circuitos hizo que el uso de esta generación sea muy poco eficiente, de hecho GSM pierde el 50 % de su capacidad cuando se realizan transmisiones que no requieran características full duplex. Internet requiere un sistema que utilice un esquema de conmutación por paquetes que mejore la eficiencia en el uso del sistema de comunicación y que a su vez abarate costos.

- La creciente demanda de servicios multimedia, tales como transmisión de video, audio, videoconferencia, juegos interactivos, acceso a redes, etc. Servicios que obligan el desarrollo de un nuevo sistema que maneje con cuidado la administración de recursos radio, ya que se exigirán parámetros de servicio tales como el retardo, la velocidad de transmisión, jitter, etc.
- La búsqueda de un sistema global que permita una movilidad universal con operación entre distintas redes de diversos operadores pertenecientes a diferentes países.

Los sistemas de tercera generación fueron diseñados pensando en comunicaciones multimedia, por lo tanto las comunicaciones que anteriormente se basaban sólo en voz se vieron enriquecidas por una amplia gama de servicios tales como imágenes y videos de alta calidad. [3]

Grandes velocidades de transmisión son logradas combinándolas también con características flexibles de tercera generación. Debemos tener en cuenta que a su vez los sistemas de segunda generación siguen evolucionando lo cual provoca nuevas oportunidades no sólo para los manufactures sino también para los operadores y proveedores de contenido y aplicaciones que usen estas redes.

## Evolución de la interfaz aire - Requisitos de la tercera generación

Se presentan los requerimientos inicialmente exigidos para esta nueva generación móvil[3]:

- Velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps.
- Velocidades de transmisión variables en función de las necesidades de las aplicaciones y los usuarios.
- Multiplexación de diferentes servicios con tasas y calidades diferentes en una misma conexión.
- Capacidad de definición de restricciones de retardo máximo en la transmisión de la información en función de las necesidades de cada aplicación.
- Tasas de error en la transmisión digital variables según las necesidades de cada aplicación.
- Compatibilidad con los sistemas de segunda generación para poder coexistir con ellos.
- Capacidad de gestión eficiente de tráfico asimétrico entre los enlaces ascendente y descendente.
- Alta eficiencia espectral.
- Coexistencia de los modos de operación FDD y TDD.

Las diferentes tasas de transmisión que se brindan en sistemas de tercera generación de acuerdo a las aplicaciones y usuarios provocan la incorporación de algoritmos de administración de recursos los que se encargan de garantizar la calidad del servicio y maximizar la eficiencia global del sistema.

### Asignación de espectro

El trabajo de estandarización del nuevo sistema de comunicaciones móviles se inició en el año 1992 cuando se dio la WARC (World Administrative Radio Conference) de la

ITU, en la que se definieron las frecuencias en las que operarían los sistemas de tercera generación.[3]

Se identificaron las frecuencias cercanas a 2 GHz que estarían disponibles para los sistemas IMT-2000 (International Mobile Telephony 2000) tanto en su versión terrestre como en la satelital. Se definen cinco tipos de interfaz aire entre los cuales se presentan esquemas WCDMA, TDMA.

La mayoría de operadores utilizan la conocida banda de frecuencias IMT-2000 que comprende las bandas de 1920 - 1980 MHz para el enlace ascendente y 2110 - 2170 MHz para el enlace descendente 1.2. Las primeras licencias para la implementación de redes de tercera generación se dieron en el año 1999 en Finlandia.

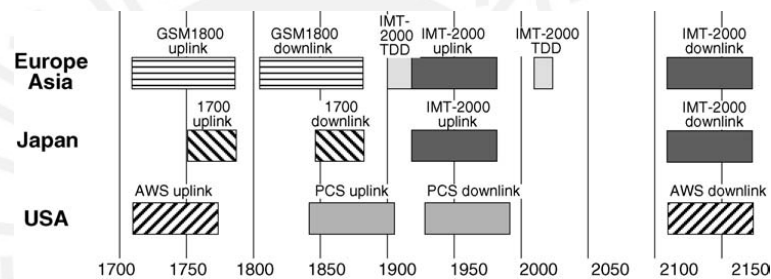


Figura 1.2: Asignación de frecuencias para los sistemas de tercera generación.

WCDMA también es usado en bandas que pertenecen a sistemas de segunda generación, fueron establecidas en la WARC del año 2000, se conoce como refarming. Se debió a que en algunos países tales como estados unidos no se contaba con la disponibilidad de la banda de IMT-2000 para el despliegue de WCDMA por tanto se emplearon las bandas de 800 MHz y 1800 MHz para este propósito.

WCDMA refarming a la banda de GSM está siendo utilizado también en Europa debido a las características atractivas que tienen bandas de baja frecuencia GSM900 tales como mayor área de cobertura.

La nueva banda IMT-2000 estará disponible alrededor de los 2.6 GHz con un total de 190 MHz 1.3. En Europa se consideran dos bandas de 70 MHz para UL y DL para sistemas FDD y 50 MHz extra que podría ser empleado para sistemas TDD.

Mirando la historia de GSM como la tecnología estrella de segunda generación, vemos que desde que se implemento la primera red en julio de 1991 en Finlandia, muchos

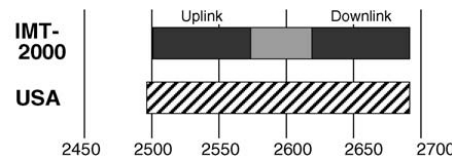


Figura 1.3: Asignación de frecuencias del nuevo IMT2000

países alcanzaron una penetración de más del 80% de suscripciones, en 15 años GSM logró reclutar más de 2 billones de usuarios. La experiencia obtenida del despliegue de GSM muestra que en la acelerada penetración de un sistema influye mucho el tamaño cada vez más reducido de los terminales y el mayor tiempo de la duración de la batería.

WCDMA pronostica la misma tendencia, a GSM le tomó 7 años en lograr los 100 millones de suscripciones, a WCDMA le tomó un año menos. Actualmente existen más de 150 operadores con más de 130 millones de usuarios.

Las tecnologías de segunda generación pueden seguir sirviendo para el servicio para el que fueron diseñados y también para servicios extra que aumentarían el aprovechamiento de estas redes tales como el posicionamiento usando las BTS ya desplegadas. Las tecnologías de tercera generación intentarán cumplir el reto de permitir una nueva generación de servicios específicos con la transmisión de datos.

### **Evolución del sistema UMTS hacia HSPA**

UMTS (Universal Mobile Terrestrial System) es el sistema representativo de la tercera generación móvil. Como ya se mencionó líneas antes, este sistema permite la transmisión por conmutación de paquetes mejorando notablemente las prestaciones obtenidas y servicios ofrecidos por sistemas de segunda generación. El primer estándar de UMTS "R99" mostraba que con dicho sistema se cumplirían los requerimientos de un sistema de tercera generación lo cual no fue del todo cierto ya que la velocidad de transmisión que se consiguió en la práctica fue muy baja. Esto motivó seguir un trabajo de optimización de dicho primer estándar con el objetivo de mejorar las prestaciones brindadas.

High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) y High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) son los sistemas que parten del sistema UMTS R99 y se establecen en su proceso de constante evolución. Tanto HSDPA como HSUPA optimizan a UMTS para la

transmisión de paquetes en el enlace descendente y ascendente respectivamente. Ambas tecnologías forman en su conjunto High Speed Packet Access (HSPA).[9][10].

HSPA logra mejorar las capacidades y el bit rate pico que se puede alcanzar en ambos enlaces de transmisión, por medio de un nuevo esquema de modulación y la implementación del scheduling de paquete rápido y mecanismos de retransmisión híbrida. Los bit rate pico disponibles inicialmente para HSDPA fueron de 1.8Mbps, 3.6Mbps, 7.2 Mbps y 10Mbps, llegando actualmente hasta alrededor de los 14.4Mbps. Para el caso HSUPA, su bit rate pico inicialmente era de 1-2Mbps, llegando actualmente hasta alrededor de los 5.7Mbps. [7]

Sistemas actuales consideran la coexistencia de HSPA con el sistema R99, su implementación se puede dar de dos formas:

1. Tanto UMTS R99 como HSPA comparten la misma portadora por lo que se comparten los códigos ortogonales OVFSF, la potencia de transmisión, etc. Es decir las unidades de recursos radio son compartidas provocando que se obtengan los máximos valores en términos de velocidad de transmisión.
2. UMTS R99 y HSPA operan en portadoras distintas, por lo cual se disponen de más recursos y con ello se logra una mayor velocidad de transmisión.

La actualización de WCDMA a HSPA requiere de un nuevo paquete de software y algunas nuevas piezas de hardware en la estación base y en el RNC para soportar la mayor tasa de datos y la mayor capacidad. Sin embargo, debido a la infraestructura compartida entre WCDMA y HSPA, el costo de la modernización de WCDMA a HSPA es muy bajo en comparación con la construcción de una nueva red de datos independiente.[3]

#### 1.2.4. Redes Beyond 3G

Las redes Beyond 3G o “Mas allá de 3G” son redes compuestas por diferentes tecnologías de acceso radioeléctrico (RAT’s) que coexisten y operan en un modo coordinado incluyendo características de reconfigurabilidad a diferentes niveles de la red y terminales móviles. [7]

Las redes B3G proveen un mecanismo de acceso radio de banda ancha para satisfacer necesidades de servicios específicos que exigen altas velocidades de transmisión, también establecen las bases para la inclusión de redes de cuarta generación en la que se piensa tener una coexistencia de todas las tecnologías de acceso móviles (diferentes RAT’s).

## Redes Heterogéneas

Además del desarrollo de UMTS como tecnología móvil principal otros estándares se desarrollaron en paralelo. UMTS proporciona acceso radio de cobertura amplia que permite escenarios con esquemas de movilidad que considera velocidades de desplazamiento elevadas, a su vez la familia 802.11 de la IEEE (conocida también como wifi) tuvo un gran impacto en el mercado ya que ofrecía velocidades mayores a UMTS pero ofreciendo servicios con áreas de cobertura pequeñas, la tecnología wifi se extendió y dejó sin efecto al estándar UMTS TDD que a pesar de estar estandarizado no logró que fabricantes apuesten por esta tecnología, al menos en Europa. También tecnologías PAN como el 802.15 Bluetooth encontraron nicho de mercado.

Por otro lado, GSM como tecnología predominante de segunda generación evolucionó de acuerdo a las necesidades de nuevos servicios a GPRS el que proveía mayores velocidades de transmisión pico, la evolución se dio debido a la necesidad de implementar un esquema de conmutación de paquetes en lugar de la conmutación de circuitos dado que el principal servicio estaba basado en IP. Mayores capacidades fueron ofrecidas por una nueva evolución GSM/GPRS/EDGE Enhanced Data Rates for GSM Evolution que mejora la eficiencia espectral cambiando la modulación de GMSK a 8PSK e incluyendo mecanismos de retransmisión.

La coexistencia de tecnologías móviles es un hecho, tanto sistemas de segunda generación como las evoluciones hacia redes 3G, WLAN, WPAN, etc funcionan en las mismas zonas geográficas por tanto en lugar de resultar un inconveniente este escenario motiva la necesidad de una administración adecuada de los recursos radioeléctricos disponibles.

Desde el punto de vista del usuario, la RAT adecuada se elige de acuerdo a las capacidades del terminal, la mejor tecnología de acuerdo a parámetros de velocidad de transmisión, coste de llamada, etc. En escenarios heterogéneos además de una selección de tecnologías de acuerdo al usuario se considera una gestión por parte del operador que verá la mejor forma de gestionar las diferentes fuentes de recursos radio de diversas características.

El concepto de redes heterogéneas en sistemas B3G propone una arquitectura abierta y flexible que soporte una gran variedad de tecnologías de acceso radio que consideren múltiples aplicaciones y servicios con distintas demandas de calidad de servicio.

La figura 1.4 muestra un modelo de red heterogénea, constituida por varias tecnologías de acceso radio. Tecnologías celulares como UTRAN tanto en su versión FDD como TDD o GERAN, estas tecnologías se dividen a su vez de acuerdo a su área de cobertura en

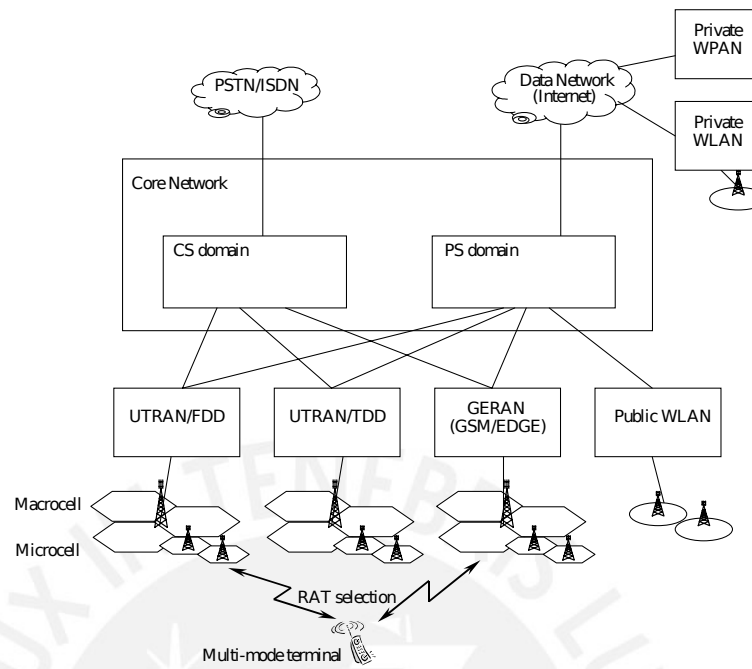


Figura 1.4: Red móvil Heterogénea

macro, micro y pico celdas. WLAN se considera como una tecnología de acceso radio no celular con área de cobertura de pico celdas.

Además de UTRAN propiamente dicho como la parte radioeléctrica del sistema UMTS se tiene el CN (Core Network) que está dividida en PS y CS (Conmutación de paquetes y circuitos) encargados de la conmutación de la información de usuario hacia la red IP y hacia la red de conmutación PSTN respectivamente. Cabe mencionar que tanto WLAN como Bluetooth al ser tecnologías que sólo implementan la interfaz aire y un poco de la capa MAC requieren la conexión hacia una red IP que le provea de la capa de red por tanto estas tecnologías necesitan conectarse al CN.

El escenario asume terminales multimodo con capacidades de reconfigurabilidad que puedan ser conectadas a distintas redes de acceso radio en distintos momentos o simultáneamente.

El Core Network es la parte de la red compartida por múltiples tecnologías que proveen sólo del acceso a nivel de acceso radio por tanto que implementan el acceso a nivel de capa física/MAC, por tanto el CN se encarga de soportar distintas funcionalidades.

Los servicios deben ser brindados teniendo en cuenta:



- La disponibilidad de recursos considerando todas la redes de acceso.
- Sus requerimientos de calidad de servicio (*QoS*).
- Preferencias y características del terminal.
- Políticas del operador.

### 1.3. Necesidad de hacer una gestión eficiente con los Recursos Radio

La administración de recursos radioeléctricos compone el campo de investigación que se dedica a realizar tareas de optimización del uso de los recursos radio por sistemas inalámbricos para satisfacer las necesidades de los usuarios y operadores [2].

En comunicaciones móviles la técnica de acceso múltiple, que se define por tecnología, determina la forma en que las señales de diferentes transmisores comparten el medio. Para este objetivo se define el conjunto de recursos radioeléctricos conocidos como RRU (Radio Resource Unit) los que serán utilizados por las señales que se transmitan [1].

Un recurso radio(RRU) es definido como un conjunto de parámetros básicos de transmisión a nivel físico que permiten el transporte de señales de información de usuarios referentes a un servicio dado.

- En FDMA, la unidad de recursos radio, está dada por un cierto ancho de banda ( $BW$ ) en una frecuencia portadora dada.
- En TDMA la unidad de recursos es equivalente a una asociación de una frecuencia portadora y un time slot, en GSM se tiene un RRU de 0.577ms(Time Slot) cada 4.615ms(Frame Time) considerando un  $BW = 200 kHz$ .
- En CDMA, un RRU es definido por una frecuencia portadora, una secuencia código y un nivel de potencia. Se debe tener en cuenta que en un sistema basado en CDMA la potencia necesaria para admitir una conexión no es fija ya que depende del nivel de interferencia actual.

Los operadores muestran interés en optimizar el uso de dichas unidades radioeléctricas ya que de ello derivan los beneficios que obtienen, mediante una adecuada gestión de

recursos pueden proveer servicios a un alto número de usuarios móviles o estacionarios con un mínimo de costo en su infraestructura (número de estaciones base, frecuencias, etc.)

Se debe tener en cuenta que en un escenario multiservicio la necesidad de tener disponibilidad de recursos radio de distinto tipo depende de las características de cada servicio por ejemplo la velocidad de transmisión. Por tanto se emplearán más frecuencias portadoras(FDMA), time slots adicionales(TDMA) y secuencias código extra(CDMA).

Los usuarios requieren un buen nivel de calidad de servicio, algunos servicios necesitan altas velocidades de transmisión y otros altas restricciones en términos de retardo y tasa de error.

Considerando que los algoritmos de RRM se aplican en entornos heterogéneos en los que múltiples RAT's están disponibles, la existencia de recursos de distintas características motiva el desarrollo de un mecanismo que emplee de una forma eficiente los recursos disponibles.

### 1.3.1. RRM en redes B3G

La inclusión de redes B3G contempla la disponibilidad de tener distintas topologías de redes heterogéneas a pesar de ser una tarea complicada desde el punto de vista de diseño. El acoplamiento (coupling) entre redes se pueden efectuar de distintos modos cada cual con sus propias características:

- Open coupling.
- Loose coupling.
- Tight coupling.
- Very tight coupling.

Cabe resaltar que a medida que mayor sea dicho acoplamiento se consigue un mejor rendimiento dado que los recursos radio son usados de mejor forma, por tanto se presenta el reto de establecer definiciones e implementaciones de distintas interfaces que permitan dichos acoplamientos.

De acuerdo al tipo de acoplamiento entre las redes que conforman el escenario heterogéneo se efectúa la administración de recursos radio con el objetivo de proveer una solución óptima en términos de throughput, costo por paquete, desarrollo e implementación, etc.

En este contexto, las estrategias de RRM son los responsables de la utilización eficiente de los recursos de la interfaz aire de un determinado sistema, teniendo en cuenta las características de la técnica de acceso múltiple que este emplee. Mediante una adecuada administración de los recursos radioeléctricos se puede garantizar la calidad de servicio ( $QoS$ ), mantener un área de cobertura y ofrecer mayor capacidad [3].

El concepto de  $QoS$  puede ser entendido de diferentes formas y a diversos niveles, que aunque el significado es inherente, la realización de un tratamiento de señales con diferentes calidades de servicio en una red de comunicación necesita estar asociado con parámetros que provienen de la satisfacción del usuario relacionado a los servicios que utiliza.

El aprovisionamiento de  $QoS$  en sistemas de comunicaciones móviles es una tarea compleja que provoca una serie de efectos degradantes a los enlaces de comunicación, las condiciones de propagación, interferencia, distorsión del canal, etc son algunos ejemplos. Teniendo en cuenta que el objetivo de  $QoS$  end-to-end permanece intacto, el centro de atención es el segmento radio [7].

La administración de recursos radioeléctricos puede ser visto como un problema de múltiples dimensiones ya que cada tecnología de acceso radio está basada en técnicas de acceso múltiple distintas las que explotan de manera distinta dimensiones de ortogonalidad como la frecuencia, el tiempo y códigos.

Se establece una administración de los recursos de una manera común a todas las RAT's disponibles denominada CRRM (Common Radio Resource Management). En este sentido el objetivo es ofrecer a los usuarios un mecanismo transparente de conexión automática conocido como ABC (Always Best Connected) siempre conectado a la mejor RAT, desde la perspectiva del usuario como del operador.

Se debe tener en cuenta que el concepto de CRRM implica en el modo en el que está implementada la arquitectura de la red en términos de internetworking y acoplamiento entre tecnologías de acuerdo a la interconexión con el Core Network. También se relaciona con la necesidad de nuevos esquemas de manejo de movilidad, handovers incluyendo el nuevo concepto de VHO (Vertical HO) que aplica entre RAT's, así también nuevos mecanismos

de autenticación, facturación y seguramente lo más difícil será la tarea de estandarización e implementación.

Los mecanismos de RRM son necesarios para cada RAT considerada como son GERAN, UTRAN, WLAN, etc. El concepto de Common RRM considera a efectos de este proyecto como un conjunto de recursos radio que pertenecen a diferentes RAT's pero que son administrados de manera conjunta. Las dimensiones extra son introducidas por la multiplicidad de RAT's disponibles dado que consideramos un escenario flexible en términos de administración de recursos radio, por tanto se podrán analizar las mejoras en la red.

## 1.4. Objetivos del proyecto

Teniendo en cuenta la importancia de realizar una correcta administración de recursos radioeléctricos en sistemas de comunicaciones heterogéneos, el presente proyecto pretende analizar un mecanismo que mejore las prestaciones de dichas redes. Dentro de este contexto se definen los objetivos del proyecto:

- El principal objetivo de este proyecto es mostrar una posible solución para optimizar la correcta utilización de los recursos radioeléctricos disponibles para soportar servicios de distintos requerimientos en el contexto de redes heterogéneas.
- Evaluar y optimizar el Algoritmo Opportunistic como estrategia de CRRM analizando el motivo de su aplicación de acuerdo al escenario, el tipo de servicio y teniendo en cuenta las mejoras que produce de acuerdo a las degradaciones relacionadas.
- Demostrar las mejoras en términos de capacidad sobre el interfaz aire producidos por la ejecución de algoritmos CRRM eficientes.
- Analizar algunos problemas que se tienen en la tarea de la administración de recursos radio común al conocer que se trata de una actividad de múltiples dimensiones, ya que se disponen de varias tecnologías de acceso radio, por tanto intervienen muchos factores que se interrelacionan unos a otros.

### 1.4.1. Estructura del proyecto

El presente proyecto está estructurado como sigue. Luego de la introducción en el capítulo 1, el capítulo 2 está destinado a presentar al Algoritmo “Opportunistic” dentro del marco de los mecanismos de Radio Resource Management, mostrando su escenario de aplicación y formulación. El capítulo 3, cubre la descripción del simulador usado, la plataforma de simulación OPNET y explícitamente al UTRAN FDD Simulator “EVEREST”, el capítulo 4 muestra el proceso de análisis y optimización del algoritmo opportunistic. Luego, el capítulo 5, presenta el estudio del impacto del algoritmo opportunistic en otros escenarios. El capítulo 6 y 7, muestran otras posibles aplicaciones del algoritmo desde otros puntos de vista de cara al operador. Finalmente, el capítulo 8 resume las conclusiones obtenidas.



## 2

# Opportunistic Common Radio Resource Management

## 2.1. Introducción

Servicios de tercera generación requieren tecnologías móviles que se ajusten a sus requerimientos tales como capacidad, throughput, retardo, jitter, etc. La exigencia es grande por lo cual lograr una administración eficiente de los recursos radio que provee cada tecnología es un punto crucial.

Con el objetivo de mejorar la administración de recursos y por tanto las prestaciones de las redes móviles actuales, se desarrollan algoritmos uno de los cuales es el algoritmo opportunistic, el cual se basa en analizar factores antes de asignar recursos a un usuario y servicio determinado [6].

El Common Radio Resource Management se refiere a un conjunto de funciones que están establecidas con el fin de asegurar el uso eficiente de los recursos radio disponibles en redes móviles. Como se explicó en el capítulo introductorio, las unidades de recursos (RRU) que son dados por la red en una determinada área y por un cierto tiempo deben ser cuidadosamente administrados ya que deben ser suministrados a los diferentes usuarios de acuerdo a los requerimientos de los servicios que soliciten.

Los algoritmos de RRM deben encontrar un punto de equilibrio entre los diversos compromisos que existen en una red móvil tales como incrementar el throughput a costa de disminuir el área de cobertura o aumentar la capacidad a costa de degradar el QoS del sistema.

La familia de algoritmos de RRM pueden ser divididos en:

- **Control por handover:** Los handover son necesarios en un sistema celular para manipular la movilidad de los usuarios alrededor de los límites de las celdas.
- **Control de potencia:** El control de potencia es necesario para mantener los niveles de interferencia en el interfaz aire al mínimo posible y proveer la calidad de servicio que se requiera.
- **Control de carga:** Si el mecanismo de administración de recursos se basa en los niveles de interferencia en la interfaz aire, se necesita medir y monitorizar la carga en el sistema para garantizar la calidad de servicio y maximizar el throughput del sistema con un conjunto de velocidades de transmisión, servicios y calidades solicitadas.
- **Control de admisión:** Si el interfaz aire permite que la carga pueda crecer excesivamente, el área de cobertura se reducirá por debajo de los valores fijados según la planificación y la calidad de servicio de las conexiones admitidas no será garantizada. Es por esto que antes de admitir a un nuevo usuario, el control de admisión revisa que dicho proceso de admisión no sacrifique el área de cobertura planificado ni la calidad de servicio existente en la conexiones establecidas.
- **Control de congestión:** Si el sistema esta diseñado de forma correcta y los mecanismos de control de admisión funcionan correctamente situaciones de sobrecarga y congestión ocurrirían con una probabilidad muy baja. Aún así, si se detecta congestión en una red, el control de potencia debería estabilizar al sistema y lograr ubicar al indicador de carga al nivel de la carga objetivo del sistema.

Los mecanismos posibles para mantener controlada la carga en un sistema celular son los siguientes:

- **Control de potencia rápido:** El control de potencia es un mecanismo de mucha importancia para los sistemas basados en CDMA (limitados por interferencia), por tanto UMTS necesita un control de potencia estricto para evitar interferir al resto de usuarios que comparten la misma frecuencia. El control del potencia se define para cada enlace:

1. **Control de potencia rápido en el enlace descendente:** La potencia transmitida en el enlace descendente es determinada por la red. Para UTRAN es necesario que el paso de cambio del nivel de potencia sea de 1dB. El UE genera comandos TPC (Transmit Power Control) para controlar la potencia transmitida por la red y los envía en el enlace ascendente.
2. **Control rápido de potencia en el enlace ascendente:** El transmisor del equipo de usuario (UE) ajusta su salida de acuerdo a uno o mas comandos TPC recibidos en el enlace de bajada para poder mantener la relación señal a ruido de acuerdo a un objetivo. El UE puede cambiar el nivel de potencia que transmite con un paso de 1, 2 y 3 dB.
  - **Reducir el throughput del tráfico tipo paquete.**
  - **Handover hacia otra portadora WCDMA.** Si es que no se cambia la tecnología de red de acceso al realizar el proceso de handover se define el concepto de handover horizontal (HHO).
  - **Handover hacia GSM.** Si es que hay cambio de tecnología de red de acceso al ejecutar el handover se define el concepto de handover vertical (VHO).
  - **Disminuir la velocidad de transmisión** Se aplica para los usuarios que están ejecutando servicios con características de tiempo real. e.g. disminuir la codificación de AMR.

Las dos primeras acciones de la lista anterior están muy orientadas a los sistemas 3G ya que aplican para tecnologías que utilizan el CDMA como técnica de acceso múltiple. Estas acciones tienen una duración de un time slot es decir operan con una  $f = 1500Hz$ .

Los otros mecanismos de control son típicamente lentos.

El concepto de selección de la tecnología de red de acceso se basa en la correcta decisión para poder escoger la tecnología adecuada de acuerdo a ciertas condiciones. Este mecanismo es la primera acción que se ejecuta dentro del contexto de la administración de recursos, de acuerdo a las capacidades del móvil, los requerimientos del servicio, tecnologías disponibles, costos, etc. Este primer mecanismo es el punto de partida para cualquier algoritmo RRM y es muy importante porque establece los parámetros iniciales que se tomarán en cuenta en las siguientes acciones de la administración de la red.



## 2.2. Escenario de aplicación del algoritmo opportunistic

Este proyecto se centra en el análisis del denominado algoritmo opportunistic el cual está pensado para servicios que no tengan necesidades estrictas en términos de retardo (e.g. transmisión de correo electrónico con información adjunta, ficheros ftp, etc) los servicios con características compatibles al funcionamiento del algoritmo opportunistic son los que se ubican en la parte izquierda de la figura 2.1[5].

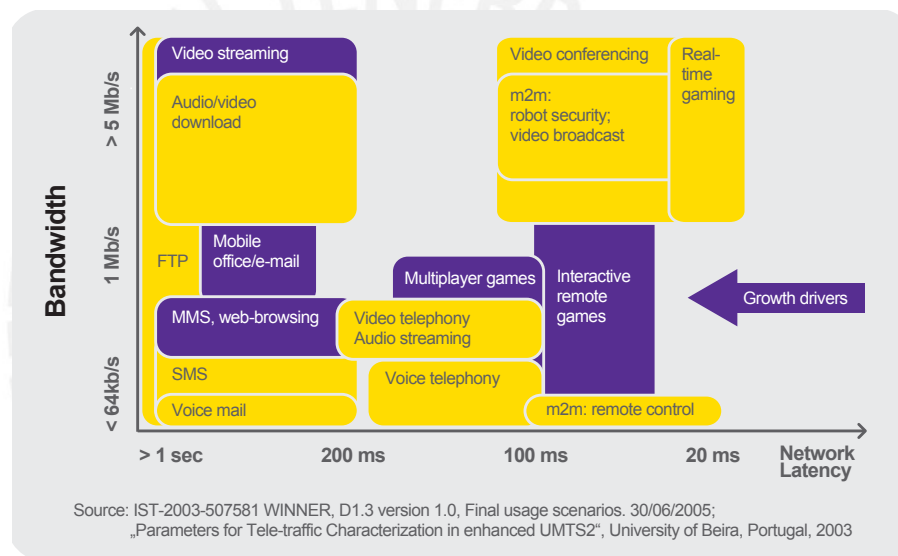


Figura 2.1: Clasificación de servicios móviles según los requerimientos de ancho de banda y latencia.

Se basa en el concepto de que usuarios que soliciten dichos servicios pueden permanecer en un período de espera hasta que puedan llegar al área de cobertura de una RAT con mayores capacidades de transmisión, por ejemplo si el usuario se encuentra en zona de cobertura UMTS o GERAN, éste puede esperar y no transmitir hasta que alcance al área de cobertura de HSPA o WLAN.

La aplicabilidad de este algoritmo está estrechamente relacionada con los conceptos de movilidad y la disponibilidad de cobertura de las diferentes RATs y de las velocidades de transmisión disponibles en cada una de ellas. Además, características específicas de

la aplicación tales como la velocidad de transmisión disponible, retardo medio, radio de cobertura de las celdas, etc, influyen en los resultados del algoritmo.

Asumiendo que un usuario desea transmitir un alto volumen de información y actualmente se encuentra bajo cobertura de una tecnología de baja capacidad y amplio radio de cobertura, el algoritmo opportunistic tratará de que éste usuario espere un cierto tiempo antes de que transmita dicha información. Para poder transmitir debe llegar a zona de cobertura de una RAT de elevada velocidad de transmisión. Lo anterior traerá ventajas en términos de capacidad en las celdas con cobertura de la RAT1, por ejemplo si la RAT1 fuese UTRAN, el hecho de no transmitir sobre ésta disminuirá la interferencia al resto de conexiones por lo cual las prestaciones de la red mejorarán.

En la figura 2.2 se muestra una ilustración del concepto del algoritmo. Existe un usuario moviéndose dentro de un área de cobertura de la RAT1 la cual representa una tecnología como UTRAN R99, existen también hotspots con cobertura de la RAT2 que representa tecnologías de alto *bit rate* tal como HSPA o WLAN. En este caso, si la posición del usuario, velocidad y dirección puede ser conocidas (puede ser obtenida mediante algún mecanismo de localización y posicionamiento, e.g. GPS) y el usuario hace una petición de un determinado servicio, es posible para el algoritmo CRRM decidir cuando es bueno tanto para el usuario como para la red transmitir en la RAT actual o esperar hasta llegar a la zona de cobertura de una RAT con mejores prestaciones.

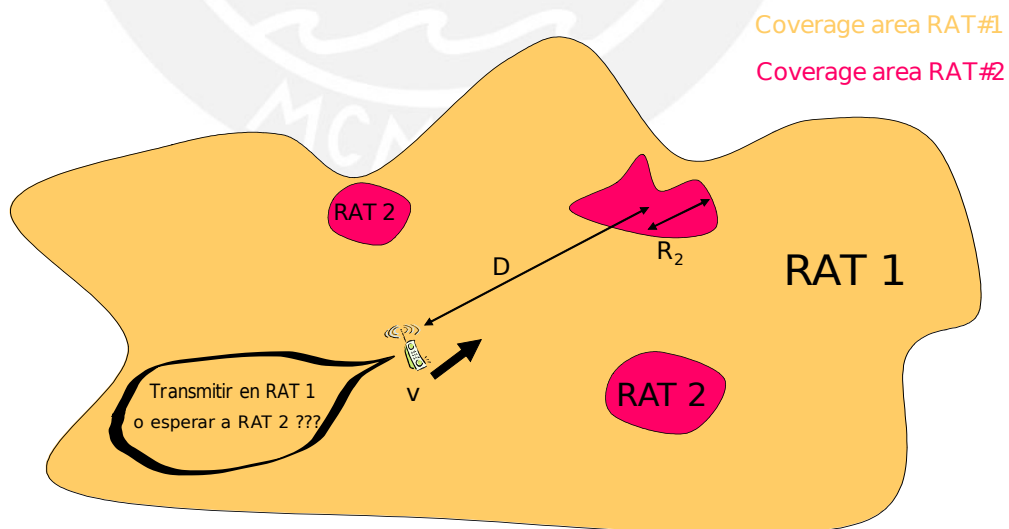


Figura 2.2: Concepto del Algoritmo Opportunistic

El algoritmo podría realizar un balanceo de una forma eficiente de los siguientes aspectos:

- Tiempo que le toma al usuario poder llegar al área de cobertura de la RAT2.
- Cantidad de información que puede ser transmitida cuando el móvil alcanza cobertura de la RAT2 y el tiempo que permanecerá transmitiendo en ésta.
- Cantidad de información que puede ser transmitida si el usuario fuera conectado a la RAT1 antes de alcanzar cobertura de la RAT2.
- Grado de uso de recursos radio si el usuario se conecta directamente a la RAT1.
- Grado de uso de recursos radio si el usuario se conecta directamente a la RAT2.
- Requerimientos en términos de retardo medio de acuerdo al servicio.
- Cantidad de datos que permanecerán en un buffer de espera de un usuario determinado.

El concepto del algoritmo opportunistic se aplica siempre y es ejecutado si se predice que el tiempo necesario para llegar a una RAT de “altas capacidades” es aceptable para el servicio y que una vez en su zona de cobertura, se tendrá suficiente tiempo para poder transmitir toda la información almacenada en el buffer del usuario, desde un punto de vista de uso de recursos, la red puede obtener cierto beneficio en términos de probabilidad de bloqueo para los usuarios conectados a la RAT1, así como alto throughput, etc.

### 2.3. Formulación del algoritmo opportunistic

Tal y como se ha comentado en la sección anterior, el algoritmo consiste en que dada una petición de conexión para un determinado servicio en un área de cobertura con bajas capacidades (RAT1), poder decidir cuando es conveniente permitir dicha conexión y asignar recursos radio, o cuando es mejor hacer que el usuario espere hasta que alcance cobertura de una RAT con mejores características de acuerdo al servicio.

Se asume que el usuario que está solicitando conexión para un servicio dado, de acuerdo a la figura 2.2, está localizado en el área de cobertura de la RAT1 y fuera de la cobertura de la RAT2, es decir,  $D > R$  (en caso contrario se conectará a la RAT2).

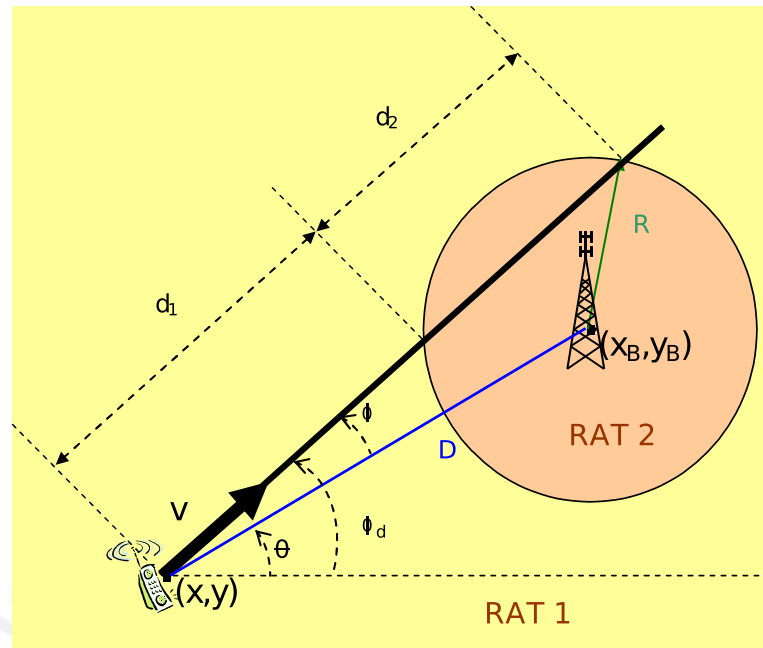


Figura 2.3: Definiciones Geográficas del algoritmo Opportunistic.

## 2.4. Diagrama del proceso de decisión del Algoritmo

La figura 2.4 muestra el diagrama de flujo del proceso de decisión del algoritmo, los parámetros de entrada son divididos en los siguientes grupos y se pueden visualizar en la figura 2.3.

### Entradas de localización del usuario

Se asume que se cuenta con un sistema de localización y posicionamiento, por lo cual contamos con las coordenadas  $(x, y)$  del usuario que está pidiendo conexión para un servicio conocido, también se conoce la velocidad del móvil  $v$  ( $m/s$ ) y la dirección  $\phi_d \in [0, 2\pi]$ .

### Parámetros de entrada de la tecnología de red de acceso

El área de cobertura de la RAT2 se asume como un círculo con radio  $R$  y centro en las coordenadas  $(x_B, y_B)$ . Notar que esta área no tiene que estar directamente relacionada con la cobertura de una sola estación base o punto de acceso, puede corresponder a un

conjunto de estaciones base o puntos de acceso. Para simplificar el proceso de cómputo del algoritmo se asume que la cobertura es circular, después, se evaluará con un modelo de cobertura real y en consecuencia se pondrán de manifiesto los posibles errores provocados por esta consideración.

El *bit rate* disponible en la RAT2 es  $R_{b2}$  mientras que el *bit rate* disponible en la RAT1 es  $R_{b1}$ . Los valores de estos *bit rates* no necesariamente deben ser fijos, puede existir la dependencia por ejemplo con la carga existente en las dos RATs.

En caso de que existan diferentes áreas de cobertura de la RAT2, la estimación de la distancia  $d_1$  que corresponde a la distancia hasta que se alcance el área de cobertura RAT2, será asignada a la RAT2 que tenga la menor distancia  $d_1$ .

### Entradas del Buffer

Asumimos que la cantidad de información  $L$  (bits) esperando para ser transmitida en el buffer es conocida.

Con los datos de entrada obtenidos anteriormente se realizan ciertos cálculos los cuales estiman los valores de  $t_1$  antes de llegar a zona de cobertura de la RAT1,  $t_2$  tiempo en el que el móvil permanecerá en la zona de cobertura de la RAT2.

La distancia  $D$  desde la posición central del área de cobertura de la RAT2 (figura 2.3) es obtenida de acuerdo a:

$$D = \sqrt{(x_B - x)^2 + (y_B - y)^2} \quad (2.1)$$

El ángulo  $\phi$  entre la trayectoria del móvil y la línea entre el móvil y el centro del área de cobertura es dado por:

$$\phi = \phi_d - \theta \quad (2.2)$$

con:

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_B - y}{x_B - x}\right) \quad (2.3)$$

Previamente se asumió que  $D > R$ . Por tanto se asume que todos los ángulos pertenecen al rango  $[0, 2\pi]$

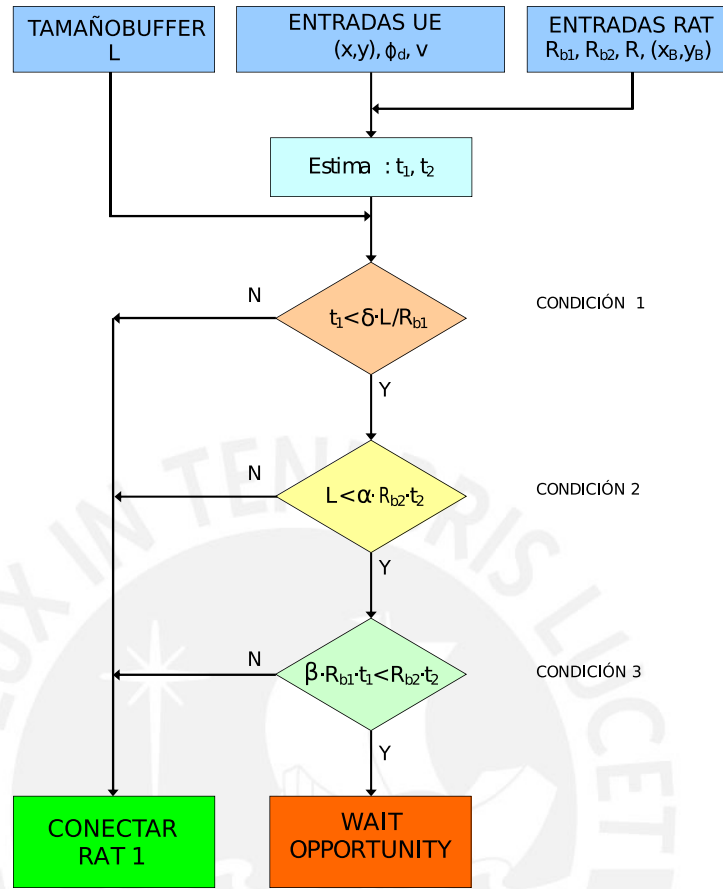


Figura 2.4: Proceso de decisión del Algoritmo Opportunistic

Se demuestra que la trayectoria del móvil intersectará al área de cobertura de la RAT2 si el ángulo  $\phi$  es  $0 < \phi < \phi_{bound}$  ó  $2\pi - \phi_{bound} < \phi < 2\pi$ , donde el ángulo  $\phi_{bound}$  se define:

$$\phi_{bound} = \arccos\left(\frac{\sqrt{D^2 - R^2}}{D}\right) \quad (2.4)$$

En este caso, la distancia restante al área de cobertura de la RAT2 se obtiene de:

$$d_1 = D \cos \phi - \sqrt{D^2 \cos^2 \phi - D^2 + R^2} \quad (2.5)$$

Cuando el terminal móvil entra a la zona de cobertura de la RAT2, la distancia recorrida se obtiene de:

$$d_2 = 2\sqrt{D^2 \cos^2 \phi - D^2 + R^2} \quad (2.6)$$

En el caso en que el ángulo  $\phi$  esté fuera del margen previo, e.g.  $\phi_{bound} \ll \phi \ll 2\pi - \phi_{bound}$ , significa que la trayectoria del móvil no hará intersección con el área de cobertura RAT2 y por lo tanto se asume  $d_1 = \infty$  y  $d_2 = 0$ .

Cuando ambas distancias ya están calculadas, se evalúan los correspondientes tiempos:

$$t_1 = \left( \frac{d_1}{v} \right) \quad (2.7)$$

$$t_2 = \left( \frac{d_2}{v} \right) \quad (2.8)$$

Luego de estimar  $t_1$  y  $t_2$ , se aplican las siguientes condiciones con el objetivo de evaluar la conveniencia de esperar el tiempo necesario para arribar a la zona de cobertura de la RAT2 (figura 2.4).

### 2.4.1. Condición 1

Esta condición toma en consideración el tiempo restante  $t_1$  antes de alcanzar el área de cobertura de la RAT2 en relación con el tiempo que sería necesario para poder transmitir todo el buffer si el móvil sería conectado directamente a la RAT1. Específicamente, esta condición se hace para establecer un tiempo de espera aceptable por el servicio en cuestión.

Para que se cumpla la primera condición se establece:

$$t_1 < \delta \left( \frac{L}{R_{b1}} \right) \quad (2.9)$$

Delta ( $\delta$ ) es un parámetro del algoritmo. Analizando la expresión anterior, podemos notar que, si no queremos degradar al servicio en términos de retardo, el valor de delta deberá tomar valores muy pequeños, pero también debemos tener en cuenta que a su vez esta condición será muy difícil de cumplir con lo cual el algoritmo se aplicará muy pocas veces y por lo tanto los beneficios serán escasos.

Por otro lado, si consideramos servicios que tengan una cierta tolerancia al retardo, delta podrá tomar valores cada vez más elevados por lo cual más móviles cumplirán esta

condición y por tanto mayor beneficio desde el punto de vista de la red (e.g. reducción en la interferencia en la RAT1).

### 2.4.2. Condición 2

Esta condición toma en consideración el volumen de datos  $L$  en relación al volumen de datos que se transmitirán en el tiempo de permanencia en la RAT2 es decir  $t_2$ . Esta condición hace que el tiempo de espera  $t_1$  valga la pena y que en el tiempo  $t_2$  podamos transmitir todo el buffer, por tanto se pide que en el  $t_2$  se pueda transmitir todo  $L$ .

Para que se cumpla la segunda condición se establece:

$$L < \alpha R_{b2} t_2 \quad (2.10)$$

donde alfa ( $\alpha$ ) es un parámetro del algoritmo.

### 2.4.3. Condición 3

Esta condición toma en consideración el volumen de información que puede ser transmitida en cada RAT, tanto la RAT1 como la RAT2 de acuerdo a los tiempos de permanencia en cada tecnología,  $t_1$ ,  $t_2$  respectivamente. Se pide que el volumen de información que se trasmite por la RAT2 sea significativamente mayor al volumen que se lograría transmitir con la RAT1.

Para que se cumpla la tercera condición se establece:

$$\beta R_{b1} t_1 < R_{b2} t_2 \quad (2.11)$$

donde beta ( $\beta$ ) es un parámetro del algoritmo y se debe cumplir que  $\beta \gg 1$ .

Si las tres condiciones son cumplidas, el móvil entra al estado **Wait Opportunity** y ningún recurso es asignado a dicho servicio. En caso contrario se establecerá la conexión con la RAT1.

Teniendo en cuenta que la trayectoria del móvil irá cambiando aleatoriamente debemos tener en cuenta que en cualquier momento puede convertirse en un usuario que aplica el algoritmo opportunistic por lo cual se establece  $T_{opp}$ , se trata de periodos en los cuales se vuelve a ejecutar el algoritmo, cabe mencionar que no importa si un móvil ya fue conectado a la RAT1, éste ejecutará el algoritmo de todas formas cada  $T_{opp}$ .



## 3

# Descripción del entorno de simulación

## 3.1. Introducción

La única forma de poder validar y demostrar la efectividad de algún algoritmo de administración de recursos radio es por medio de procesos de simulación, las simulaciones son extraídas de sistemas reales con los respectivos parámetros y procedimientos que son relevantes y que podrían tener un impacto en las estrategias RRM. Esto incluye la generación de tráfico, las condiciones de propagación, la simulación de diferentes capas en la arquitectura GERAN, UTRAN (considerando R99, Rel5 y Rel6) o los aspectos relacionados con la movilidad de los usuarios.

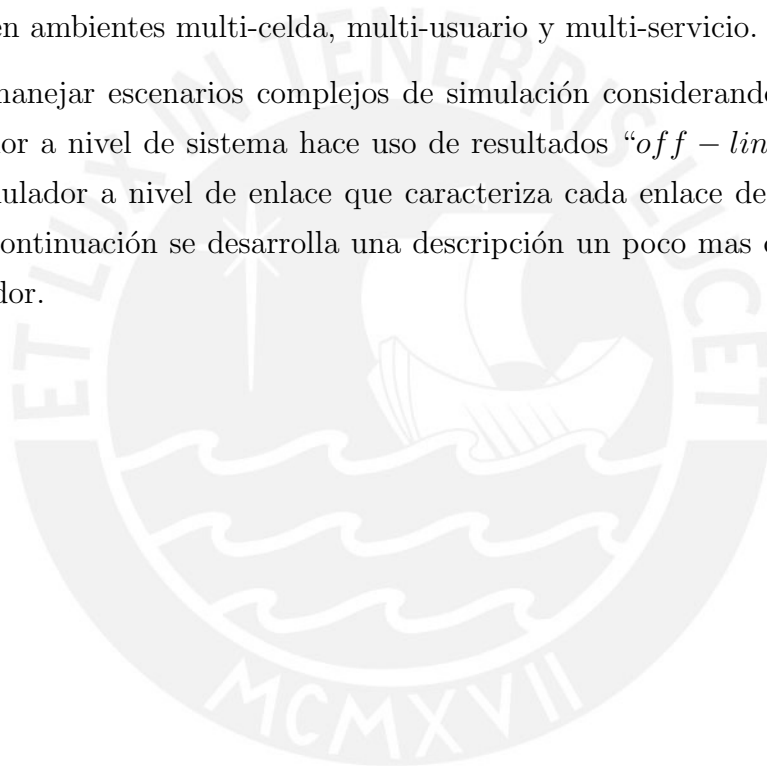
El simulador usado para el análisis del algoritmo opportunistic es el “ARROWS UTRA-FDD Simulator”[4], este simulador está desarrollado sobre la plataforma de simulación “OPNET” la cual es una potente herramienta de simulación gráfica de sistemas de comunicaciones.

La metodología de simulación de los algoritmos de RRM presentan un claro compromiso entre la complejidad computacional de las simulaciones y el nivel de detalle considerado en ellas. A mayor número de procedimientos y parámetros de simulación mayor tiempo de computo, por otro lado, resultados muy precisos. El UTRA-FDD Simulator está basado en la extracción de procedimientos y parámetros relevantes además de estar dividido en dos tipos de simuladores para mantener un equilibrio entre el tiempo de simulación y la precisión de los resultados.

- A nivel de enlace.
- A nivel de sistema.

El simulador a nivel de enlace es el responsable de obtener el comportamiento de la capa física del canal observado por el móvil al comunicarse con su respectiva estación base, soporta una gran resolución (incluso niveles de chips) y cubre el comportamiento tanto en el enlace ascendente como en el descendente, la salida de este simulador es usada por el simulador a nivel de sistema, el que está diseñado para evaluar los diferentes algoritmos de RRM en ambientes multi-celda, multi-usuario y multi-servicio.

Para manejar escenarios complejos de simulación considerando tiempos manejables, el simulador a nivel de sistema hace uso de resultados “*off – line*” que son entregados por el simulador a nivel de enlace que caracteriza cada enlace de cada usuario en cada celda. A continuación se desarrolla una descripción un poco mas detallada de cada tipo de simulador.



## 3.2. Simulador a nivel de sistema

Este simulador provee un escenario flexible que incluye modelos de tráfico y movilidad que serán aplicados a diferentes celdas. Haciendo uso de los diferentes resultados obtenidos por el simulador a nivel de enlace evalúa la eficiencia de los algoritmos de RRM en escenarios multi-celda, muti-usuario y multi-servicio [4].

La entrada de este simulador básicamente es la topología del escenario a evaluar caracterizado por el número y localización de las estaciones base, el número de usuarios por servicio así como el QoS requerido y valores específicos de los algoritmos de RRM a ser evaluados.

El simulador provee muchas estadísticas que permiten la comparación entre diferentes algoritmos estudiados.

### 3.2.1. Procedimientos considerados en el simulador

Desde un punto de vista funcional los procedimientos a ser considerados por el simulador son:

- Como un procedimiento inicial “the network deployment module” es responsable de proveer al usuario de la simulación de un mecanismo para introducir la posición de las diferentes estaciones base y estaciones móviles así como otros parámetros que caracterizan el escenario a evaluar.
- Por otro lado, el módulo RRM es el núcleo del simulador, encargado de mantener las diferentes estrategias RRM, tales como: Control de Admisión, Control de congestión, administración y transmisión de parámetros y administración de códigos.
- El módulo RRM actúa de acuerdo al comportamiento de los equipos de usuarios en términos de tráfico y movilidad.
- Con respecto a las cuestiones de movilidad, el simulador contiene módulos para implementar las trayectorias de los terminales, para calcular las pérdidas de propagación de las estaciones base en el escenario y para decidir las estaciones base activas dependiendo de los algoritmos de handover.

- Similarmente, modelos de generación de tráfico serán simulados para cada usuario de acuerdo al correspondiente servicio y de acuerdo a los procesos de generación de paquetes la información será almacenada en los buffers esperando para ser transmitidos. El módulo RRM puede decidir cuando y como los paquetes son transmitidos a través de que interfaz radio.
- El mecanismo de control de potencia será el responsable de determinar la potencia a transmitir para cada transmisión y mediante esto alcanzar cierto CIR target (Signal to interference ratio). De acuerdo a esta potencia y la posición de los terminales el  $\frac{E_b}{N_0}$  resultante es evaluado para cada transmisión.
- Finalmente la interacción entre los resultados del simulador a nivel de enlace, decidirá las transmisiones exitosas o erróneas. Los buffers serán actualizados de acuerdo al resultado de cada transmisión y de la disponibilidad de las retransmisiones.

El simulador ARROWS a nivel de sistema usa una plataforma que opera a tres niveles diferentes:

1. **Nivel de red:** El nivel de red esencialmente representa el escenario geográfico a ser simulado. Está construido para decidir la posición geográfica de los diferentes nodos y sus conexiones.
2. **Nivel de nodo:** Cada nodo representa una entidad física en la red. El comportamiento de cada nodo es simulado a través de un conjunto de procesos y sus respectivas relaciones. Cada nodo tiene un conjunto de atributos que pueden ser modificados por el usuario de acuerdo al escenario a ser simulado.
3. **Nivel de proceso:** Los procesos OPNET son diseñados de acuerdo a unas máquinas de estados finitas que ejecutan una lista de instrucciones cuando son invocados por el kernel opnet por medio de interrupciones.

### 3.2.2. Nodos agregados al entorno de simulación

Teniendo en cuenta el modelo de red, la figura 3.1 muestra el posible escenario para ejecutar el simulador ARROWS, todos los nodos han sido diseñados en este escenario, específicamente los siguientes:

- **Nodo RNC (Controlador de red radio):** Este nodo simula el comportamiento del RNC de UMTS y particularmente desarrolla las estrategias RRM.
- **Nodo BS (Estación base):** Representa la estación Base.
- **Nodo UE: Equipo de usuario:** Representa el comportamiento del equipo de un usuario en términos de movilidad, generación de tráfico y funciones de radio transmisión.
- **Nodo de APC (Equipo de usuario):** Simula el comportamiento del Access Point Controller (APC) de WLAN y se ocupa de las estrategias de RRM para los AP de esta RAT.
- **Nodo de AP:** Nodo de AP: Simula el comportamiento de un Access Point Inalámbrico (AP) que forma parte de la WLAN.
- **Nodo COMMON:** Simula el comportamiento de la entidad CRRM encargada de la gestión de recursos radio comunes a UTRAN, GERAN y/o WLAN. Por lo que se interconecta a los nodos RNC, BSC y/o APC.
- **Nodo “Resto de usuarios”:** Este nodo simula el mismo comportamiento que el nodo UE, con la diferencia que éste representa a un número de usuarios y no sólo a uno como es el caso anterior. La idea detrás de la separación entre los “Nodos UE” y el “Rest of the users” se basa en poder simular un alto número de usuarios sin la necesidad de localizarlos en el modelo de red.

Esto permite enfocarse en el comportamiento particular de un cierto grupo de usuarios y no modifica en ningún momento el impacto que tienen los usuarios en la simulación ni el que tienen los otros usuarios sobre uno en particular. La única diferencia funcional entre el UE y el Rest of Users es que el primero sigue una trayectoria definida por el usuario mientras que la otra se rige de acuerdo a modelos de movilidad.

- **Red Fija:** Actúa como una fuente generadora para tráfico en el enlace descendente.

### 3.2.3. Interacción entre los procesos del simulador

La comunicación entre los procesos definidos por OPNET está basado esencialmente en transmisión de paquetes e invocaciones remotas. En general, los paquetes son usados

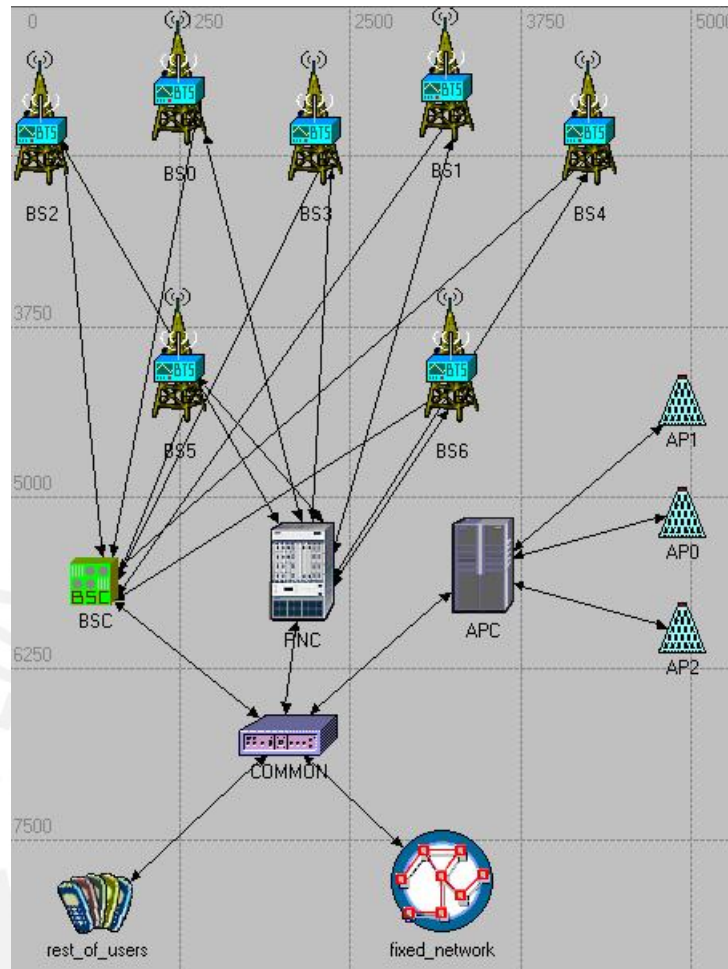


Figura 3.1: Modelo de Red.

cuando algún intercambio de información entre procesos es requerido. Las invocaciones remotas son usadas cuando toda la información requerida por el proceso invocado esta contenida en la misma interrupción.

El simulador ARROWS de sistema, esta principalmente basado en el intercambio de paquetes para la comunicación entre procesos.

### 3.3. Estadísticas ofrecidas por el simulador

El simulador a nivel de sistema, provee al usuario de diferentes tipos de estadísticas dedicadas a evaluar y comparar las prestaciones de los algoritmos de RRM bajo diferentes

escenarios. Siguiendo con la nomenclatura OPNET, existen 3 tipos genéricos de resultados, estadísticas escalares, estadísticas vectoriales y animaciones. Esta última no es considerada en el simulador UTRAN FDD.

### 3.3.1. Estadísticas Escalares

Obtienen valores de las medidas de las prestaciones como resultado de la ejecución de una simulación. Las estadísticas que están disponibles son:

- **Retardo medio (s):** Corresponde a retardo medio de transmisión de un mensaje, es medido como la diferencia entre el tiempo cuando el mensaje es transmitido y el tiempo en el que fue generado. Esta estadística está disponible para todas las clases de servicios en el enlace ascendente como en el descendente.
- **Jitter (s):** Corresponde a la desviación estándar en el retardo de transmisión. Está disponible para todas las clases de servicios en el enlace ascendente como en el descendente.
- **Retardo medio de página (s):** Provee el retardo de transmisión para páginas www, sólo es tomado en cuenta para servicios interactivos en el enlace ascendente y en el descendente.
- **Retardo medio por bloque de transporte (s):** Provee el retardo en transmisión por bloque de transporte.
- **Velocidad de transmisión (bit/s):** Provee la velocidad de transmisión promedio durante los períodos ON.
- **Jitter de la velocidad de transmisión (bit/s):** Desviación estándar del velocidad de transmisión durante los períodos ON.
- **Velocidad de transmisión de paquetes (bit/s):** Velocidad de transmisión promedio para los mensajes transmitidos.
- **Throughput (bit/s):** Es obtenido como la relación entre el número total de bits transmitidos exitosamente y el número total de bits transmitidos.
- **Carga ofrecida (bit/s):** Es obtenido como la relación entre el número total de bits generados en el tiempo de simulación.

- **Tasa de error de paquete (%)**: Porcentaje de mensajes generados que son recibidos con error o son descartados debido a exceder el tiempo máximo en el sistema. Este parámetro está sólo disponible para servicios conversacionales (enlace ascendente y descendente) y para streaming (enlace descendente).

### 3.3.2. Estadísticas Vectoriales

Estas estadísticas se obtienen a partir de la observación de ciertos parámetros y medidas durante el tiempo de simulación. Esencialmente se almacenan un conjunto de muestras de las estadísticas medidas juntamente con el instante de tiempo en que la medida es tomada. Es posible obtener distribuciones estadísticas (histogramas, funciones de distribución de potencia, promedios, etc).

## 3.4. Interacción entre los simuladores a nivel de enlace y sistema

Como se trató anteriormente, el objetivo principal para realizar la división del simulador UTRAN FDD en dos simuladores se debió a la complejidad computacional. Por tanto el simulador a nivel de enlace se encarga de la caracterización del canal de comunicaciones entre el terminal y la estación base, haciendo disponible un conjunto de estadísticas que pueden ser usadas por el simulador de nivel de sistema.

En el simulador ARROWS UTRAN FDD, la interacción entre los dos simuladores está basado en tablas que contienen la evolución de los bloques errados (BLER) en función al  $\frac{E_b}{N_0}$  medido en el enlace. El simulador de sistema hace uso de estas tablas para ejecutar distintos procesos como son:

### Recepción de bloques de transporte:

De acuerdo a las tablas proporcionadas por las tablas del simulador a nivel de enlace, el simulador a nivel de sistema permite saber que bloques de transporte han sido transmitido satisfactoriamente y cuales fueron errados.

Particularmente actúa según los siguientes pasos, como se muestra en la figura 3.2:



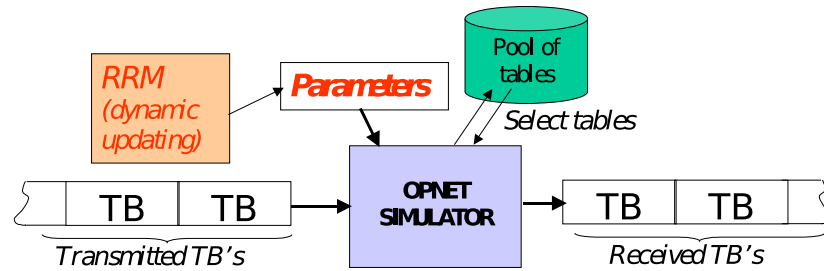


Figura 3.2: Interacción entre los simuladores a nivel de enlace y sistema.

1. De acuerdo a las condiciones de propagación y el comportamiento de cada uno de los usuarios en el sistema, el simulador a nivel de sistema evalúa el  $\frac{E_b}{N_0}$  para una transmisión dada.
2. De acuerdo a las condiciones de transmisión como el parámetro de combinación de formato de bloque de transporte (TFC), RAB UL o DL, velocidad del móvil y el  $\frac{E_b}{N_0}$ , el simulador a nivel de sistema lee el correspondiente valor de BLER de las tablas proporcionadas por el simulador a nivel de enlace.
3. Una vez que el BLER es conocido, un experimento aleatorio es llevado a cabo para cada uno de los bloques de transporte para determinar cual de ellos han sido transmitidos correctamente.
4. De acuerdo a los resultados de los experimentos previos, los buffers son actualizados.

### Outer loop power control

Para determinar el  $\frac{E_b}{N_0}$  objetivo para un cierto RAB (Radio Access Bearer) el simulador a nivel de sistema lee la tabla correspondiente a dicho bearer y convierte los bloques de error objetivo en  $\frac{E_b}{N_0}$  target que luego será usado por diferentes mecanismos de administración de recursos radio.

Las tablas proporcionadas por el simulador a nivel de enlace son almacenadas en un directorio del simulador y se referencia como un atributo del nodo RNC.

Cada tabla es un fichero de texto en el que se mantiene la siguiente convención:

*service***link**speed.txt

donde “*service*” depende de la RAB considerada:

- *conv*: Para servicios conversacionales.
- *stream*: Para servicios de streaming.
- *interact*: Para servicios interactivos.
- *back*: Para servicios de background.
- *link*: Puede ser en el enlace ascendente o descendente.
- *speed*: Indica la velocidad del equipo de usuario, puede ser v3, v50 o v120.

Cada tabla está compuesta por muchas columnas. Como se muestra en la figura 3.3 la primera contiene los correspondientes valores de  $\frac{E_b}{N_0}$  y las siguientes contienen los valores para cada BLER de acuerdo a un TFC dado.

Eb/No	TFC 1	-----	TFC M
Eb/No 1	BLER 1,1	-----	BLER M,1
Eb/No 2	BLER 1,2	-----	BLER M,2
Eb/No N	BLER 1,N		BLER M,N

Figura 3.3: Estructura de las tablas del simulador a nivel de enlace.

## 3.5. Definición de parámetros importantes utilizados en el proceso de simulación

Existen muchos parámetros involucrados en el análisis del algoritmo opportunistic en el contexto de la administración de recursos, en el presente estudio nos centramos en los parámetros principales de acuerdo al estudio realizado.

El algoritmo opportunistic considera en su operación dos tecnologías de red de acceso UTRAN R99 y HSPA. La primera como tecnología de baja capacidad y la segunda como tecnología de gran capacidad. Los parámetros que se listan a continuación son los más importantes relacionados a dichas RAT's referentes a la estación base y equipo de usuario:

### 3.5.1. Parámetros de la estación base

- **Potencia máxima de transmisión (43 dBm):** Este concepto aplicado a una estación base en UTRAN FDD se refiere al nivel de potencia medio por portadora medida de acuerdo a una referencia (según especificaciones) en la antena.
- **Potencia de los canales comunes de control (33 dBm):** Potencia que se consume en la transmisión de los canales comunes de control (broadcast) que transporta información de control del sistema.
- **Potencia máxima en DL por usuario (37 dBm):** Potencia máxima que se puede transmitir en el enlace descendente por usuario.
- **Portadoras (carriers):** Una portadora es el conjunto de frecuencias utilizadas en el proceso de transmisión de acuerdo a un esquema de acceso múltiple. En el caso de UMTS emplea dos portadoras de 5MHz, para R99 y HSPA.
- **Códigos para HSPA (15):** Se refiere al número de conexiones simultáneas que puede establecer un equipo de usuario con el punto de acceso UTRAN.
- **Potencia HSDPA (40 dBm):** Potencia utilizada para transmitir canales físicos específicos de la tecnología HSDPA, se trata de una potencia fija.

### 3.5.2. Parámetros del equipo de usuario - UTRAN R99

- **Máxima potencia transmitida ( $21 \text{ dBm}$ ):** Máxima potencia que debe transmitir el equipo de usuario para evitar interferir en gran medida a la celda donde esta establecida la conexión.
- **Mínima potencia transmitida ( $-44 \text{ dBm}$ ):** Mínima potencia que debe transmitir el equipo del usuario para que la estación base detecte, demodule y decodifique la señal. Mínima potencia que debe transmitir el equipo del usuario para que la estación base detecte, demodule y decodifique la señal.
- **Ruido térmico ( $-100 \text{ dBm}$ ):** Es un tipo de ruido inherente a una canal radio.
- **Factor de ortogonalidad (0,3):** Este es un factor exclusivo de sistemas que emplean el esquema de acceso múltiple CDMA, se trata de un valor que especifica el grado correlación que existe entre dos conexiones que usan distintos códigos pseudo-ortogonales. Se aplica sólo sobre el enlace descendente ya que en éste se logra sincronismo entre las señales transmitidas.

Los siguientes parámetros son los que se utilizan en el contexto de operación del algoritmo opportunistic, por tanto son los relacionados a las tecnologías UTRAN R99 y HSPA.

### 3.5.3. Parámetros correspondientes a la administración de recursos radioeléctricos

#### UTRAN R99

- **Umbral de admisión en UL ( $\eta_{max} = 0,7$ ):** Define el valor que será tomado en cuenta en el proceso de admisión que realiza la red con el fin de balancear el grado de calidad de servicio con los nuevos pedidos de conexión.
- **Umbral de admisión en DL ( $P_{max} = 40 \text{ dBm}$ ):** Potencia máxima que se toma en cuenta al momento de aceptar una nueva conexión en el enlace descendente.
- **Active Set:** El término active set se refiere al conjunto de radioenlaces que pueden participar simultáneamente en el proceso de comunicación entre el equipo de usuario y el punto de acceso UTRAN.

- **Margen de histéresis (3 dB):** Define un valor relativo de potencia mediante el cual se evita múltiples procesos de handover (no reales) debido a los desvanecimientos rápidos.
- **Tiempo para efectuar un handover (0,64 s):** Tiempo que tarda el proceso de transferir la conexión de un usuario desde un radio canal hacia otro ya sea en la misma celda o en otra.
- **BLER objetivo conversacional (1 %):** Tasa de error de bloque permitido para el servicio conversacional que se establece de acuerdo a una calidad de servicio objetivo.

## HSPA

- **BLER objetivo (10 %):** Parámetro que describe el nivel de calidad de un servicio dado, de acuerdo a la cantidad de bloques erróneos que se reciben. Cada servicio de acuerdo a sus características definen un BLER específico que este acorde a sus requerimientos.
- **Factor de carga admitido HSUPA(0,6):** Parámetro que identifica que el sistema a llegado a su máxima capacidad de acuerdo a parámetros de calidad de servicio para las conexiones activas.

### 3.5.4. Modelos de movilidad

Los modelos de movilidad son usados para determinar las trayectorias que siguen los distintos terminales móviles en el contexto de un proceso de simulación dinámico a nivel de sistema. En el proceso de análisis y optimización del algoritmo opportunistic se consideran distintos modelos de movilidad de acuerdo a distintos escenarios.

- **Random Walk:** Este modelo de movilidad se aplica típicamente para zonas de cobertura urbana o suburbana que siguen una trayectorias semi-directas. En este modelo, los móviles son caracterizados por una velocidad y dirección y la posición es actualizada cada cierta distancia. Para cada actualización de posición, la dirección es cambiada con una determinada probabilidad siguiendo un ángulo también seleccionado aleatoriamente siguiendo una distribución uniforme.

La figura 3.4 muestra el proceso explicado anteriormente, al principio los móviles son puestos en distintas posiciones dentro del escenario y se desplazan con una dirección escogida aleatoriamente. La velocidad del móvil permanece constante.

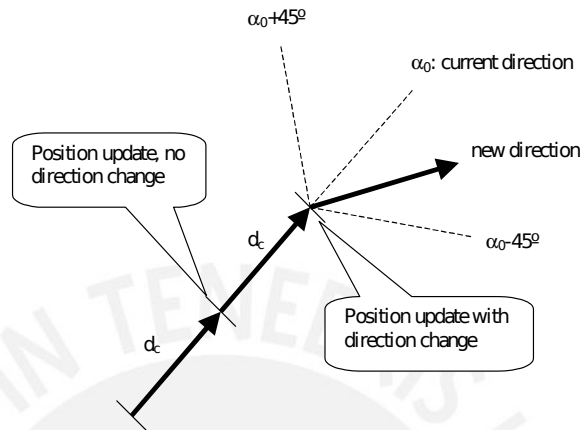


Figura 3.4: Modelo de movilidad tipo Random Walk

- **Road:** El modelo de movilidad tipo “road” (carretera) es un modelo muy simple específicamente aplicado para escenarios lineales ya sea en entornos urbanos o sub-urbanos. En este caso los móviles son caracterizados por una velocidad y dirección constante, se definen dos puntos de coordenadas para el inicio y el fin de la trayectoria del móvil.

En este modelo de movilidad la posición inicial de los móviles sobre el escenario es aleatoria.

## 4

# Optimización de los parámetros del algoritmo Opportunistic

Este capítulo presenta el proceso de optimización del algoritmo opportunistic, así también identifica los parámetros que juegan un rol importante en esta estrategia. Dado que el algoritmo ya se describió en el capítulo 2, en éste se realizará un estudio basado en simulaciones.

El problema de la administración de recursos radioeléctricos tiene un comportamiento dinámico por naturaleza, por tanto, se consideran las variaciones en términos de movilidad, generación de tráfico, etc.

Se debe tener en cuenta que la aplicabilidad de un algoritmo RRM se basa en las condiciones instantáneas de una red específicamente si está muy cerca de emplear su máxima capacidad, en este contexto es imprescindible una buena administración de los recursos radio.

Se realizan simulaciones con el fin de anticipar el comportamiento de las técnicas antes de implementarlas en un sistema real, para garantizar que los resultados sean cercanos a lo que se obtendrá en la realidad se deben diseñar modelos que capturen los aspectos más relevantes de una red real y del comportamiento de los usuarios.

### 4.1. Metodología de Optimización

Dado el comportamiento dinámico en los que se desenvuelven los algoritmos de administración de recursos radio la metodología de optimización y validación del algoritmo

opportunistic está basada en un esquema de prueba y error, específicamente realizando simulaciones computacionales y analizando los diversos impactos que se producen sobre la red.

Cada parámetro del algoritmo es dependiente a su vez de otros parámetros que tienen un comportamiento estrictamente aleatorio por ejemplo la velocidad de transmisión en una determinada tecnología, el tiempo que le tomará al móvil arribar a una determinada zona de cobertura celular, etc. Al ser difícil determinar analíticamente el impacto de un parámetro sobre las prestaciones del sistema, se descartarán las técnicas de optimización clásicas, específicamente las que siguen modelamientos estrictamente matemáticos, que además de ser complicados no se ajustan a los requerimientos que necesita el estudio de técnicas RRM ya que al utilizarlos se toman en cuenta muchas simplificaciones que reducen la precisión de los resultados obtenidos.

Por tanto el uso de simulaciones conllevan a resultados más precisos dado que los modelos de simulación utilizados capturan el modelo del comportamiento real del sistema.

De acuerdo a un escenario definido para la aplicación del algoritmo se analizará el impacto de acuerdo a la variación de cada parámetro opportunistic por separado, teniendo en cuenta el retardo medio de los usuarios que aplican el algoritmo y el throughput obtenido por los usuarios del tipo conversacional que están conectados a la red que recibirá los beneficios de la aplicación del algoritmo.

## 4.2. Composición del Escenario

El escenario utilizado para la evaluación del algoritmo se conforma por 7 celdas UTRAN omnidireccionales de radio 1 *km* los que tienen una distribución hexagonal.

Se considera que la celda central posee HSDPA y HSUPA por lo tanto esta celda actuará como la RAT 2 del algoritmo. La RAT 1 corresponden a las celdas que están alrededor de la RAT 2 y sólo poseen UTRAN R99.

Las características del UE(Equipo de usuario) y la BS(Estación base) son las que se muestran en el cuadro 4.1

Así también se muestran los parámetros principales de Radio Resource Management - RRM en el cuadro 4.2



Parámetros de la estación base	
Potencia máxima de transmisión	43 dBm
Ruido térmico	-104 dBm
Potencia de los canales comunes de control	33 dBm
Potencia máxima en DL por usuario	37 dBm
Número de portadoras	2(una para R99 y otra para HSPA)
Número de códigos para HSPA	15
Potencia HSDPA	40 dBm (potencia fija)
Parámetros del equipo de Usuario	UTRAN R99
Máxima potencia transmitida	21 dBm
Mínima potencia transmitida	-44 dBm
Ruido térmico	-100 dBm
Factor de ortogonalidad (DL)	0,3

Cuadro 4.1: Parámetros - UTRAN R99

Considerando que UTRAN R99 y HSPA operan en distintas bandas no se producirá interferencia mutua entre ambas.

Se asume que todos los terminales soportan UTRAN R99 y HSPA. Se considera como modelo de propagación el modelo de macrocelda urbano que corresponde a  $L_p(dB) = 128,1 + 37,6 \log(d(km))$  con un shadowing que posee una desviación estándar de 6 dB.

### 4.3. Consideraciones del Algoritmo

#### 4.3.1. Para la RAB HSDPA

Se asume un tamaño de TB(Bloque de transporte) de 320 bits con un TTI(Intervalo de tiempo de transmisión) de 2 ms, se considera un bit rate máximo de 12,16 Mbps, asumiendo la asignación simultánea de 15 códigos al mismo usuario. Los mecanismos de adaptación seleccionan el bit rate apropiado de acuerdo a la señal medida.

<b>UTRAN R99</b>	
UL umbral de admisión ( $\eta_{max}$ )	0,7
DL umbral de admisión ( $P_{max}$ )	40 dBm
Tamaño del Active Set	1
Margen de histéresis	3 dB
Tiempo para efectuar un handover	0,64 s
BLER objetivo conversacional	1 %
<b>HSPA</b>	
BLER objetivo	10 %
Máximo factor de carga admitido HSUPA	0,6

Cuadro 4.2: Parámetros de administración de recursos radioeléctricos.

#### 4.3.2. Para la RAB HSUPA

Se asume un tamaño de TB de 320 *bits* con un TTI de 2 *ms*, se considera un bit rate máximo de 5,44 *Mbps*. En este caso también el bit rate de cada usuario depende de las condiciones de propagación y la cantidad de interferencia que puede ser tolerada.

#### 4.3.3. Para los usuarios operando en Opportunistic Mode

El modelo de movilidad es el “random walk”, que ya se explicó en el capítulo 3, los parámetros de este modelo serán modificados para lograr trayectorias cuasi rectilíneas. Específicamente los usuarios empiezan su recorrido con una dirección seleccionada aleatoriamente, luego se desplazan con una velocidad de 50 *km/h* y cada 100 *m* con una cierta probabilidad  $p$  cambian la dirección de acuerdo a un ángulo uniformemente distribuido entre  $[-\varphi_{max}, \varphi_{max}]$ . Los valores iniciales que serán considerados son  $p = 0,05$  y  $\varphi_{max} = 10^\circ$ .

Los usuarios opportunistic generan ficheros de un tamaño constante  $L$  para ser transmitidos en el enlace ascendente o en el enlace descendente de acuerdo al caso de estudio.

#### 4.3.4. Para los usuarios conectados a UTRAN R99

Hacen uso de una RAB de 64/128 *Kbps* o 64/384 *Kbps* de acuerdo al caso de estudio. Los parámetros del algoritmo CRRM son indicados en el cuadro 4.3.

$\delta$ (time threshold)	5
$\alpha$ (buffer threshold)	0,7
$\beta$ (volume threshold)	2
$T_{opp}$ (Periodo de repetición del algoritmo)	1 s
R (Radio de cobertura de la RAT2)	1 km

Cuadro 4.3: Parámetros CRRM

Es necesario mencionar que a pesar que las estimaciones del algoritmo se basan en una cobertura circular para las diferentes RAT, tanto las que poseen HSPA como las que operan con UTRAN R99, el simulador considera condiciones reales de propagación antes de decidir si un usuario se iría a conectar a UTRAN R99 o HSDPA/HSUPA.

Específicamente se asume que cada usuario tiene cobertura HSPA si de acuerdo a la señal recibida es posible realizar una transmisión considerando el menor formato de transporte. Si no existe cobertura HSPA, aún si el UE se encuentre en la celda central con HSPA, será conectado a un canal con UTRAN R99.

Se asume que los terminales que operan en modo Opportunistic realizan transmisiones en la dirección UL. Cuando estos están conectados a la R99 el correspondiente bit rate máximo será de 64 kbps.

Además de los usuarios operando en modo Opportunistic existe un cierto número de usuarios de videofonía los que sólo utilizarán UTRAN R99 con un bit rate de 64 Kbps estos están distribuidos en el escenario y se mueven a 3 km/h con un modelo de movilidad del tipo “random walk” y generan llamadas de acuerdo a un proceso de Poisson con un promedio de llamadas de 10calls/h/user distribuidas exponencialmente con una duración promedio de 180 seg.

## 4.4. Evaluación de los parámetros del algoritmo

Para que un usuario del tipo Opportunistic pueda acceder al estado “Wait Opportunity” debe cumplir las tres condiciones explicadas en el capítulo 3, en este apartado se analizarán los valores óptimos para cada parámetro de acuerdo a simulaciones realizadas teniendo en cuenta referencias de optimización como el throughput o el retardo medio.

Teniendo en cuenta que el objetivo del algoritmo es lograr que los terminales que intentan acceder a un servicio de ciertas características como alta resistencia al retardo, puedan esperar a estar conectados a una RAB de mejores prestaciones de acuerdo a la aplicación requerida (en este caso HSPA), logrando con esto disminuir la interferencia en las celdas que cuentan con UMTS R99 y por tanto mejorar las características de esta última en términos de throughput para los usuarios que se encuentran conectados a esta tecnología.

En este escenario se hicieron simulaciones considerando 100 usuarios que mantienen un servicio conversacional con una tasa constante de 64 *Kbps*.

### 4.4.1. Parámetro opportunistic - Delta

El primer parámetro del algoritmo es delta threshold ( $\delta$ ) cuyo objetivo es controlar el impacto en términos de retardo que producirá el algoritmo para los usuarios que lo apliquen, la ecuación 2.9 muestra que este parámetro está directamente relacionado con el tamaño del fichero ( $L$ ) que se transmitirá y la velocidad de transmisión disponible en la RAT 1 (UTRAN R99).

La variación de delta estrictamente es  $0 < \delta < \infty$ , si consideramos valores muy pequeños de este parámetro, implícitamente se consideran servicios con poca resistencia al retardo por lo que se no se superará la primera condición entonces la red UTRAN R99 no experimentará mejoras en sus prestaciones.

#### Impacto en el retardo medio

Para poder manejar este parámetro el primer punto a tener en cuenta es la relación de mejora en términos de throughput con relación a la degradación del servicio de acuerdo al retardo. La figura 4.1 muestra claramente la tendencia del retardo a medida de que el

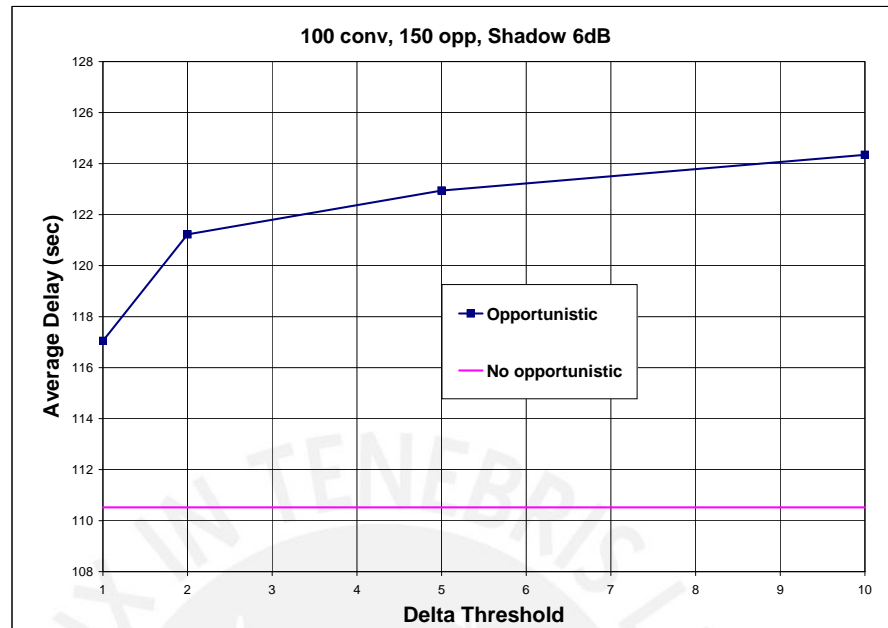


Figura 4.1: Evolución del retardo medio según el crecimiento del parámetro delta threshold.

parámetro delta crece, también se incluye en la misma figura el valor del retardo cuando el algoritmo no es aplicado con fines comparativos.

Considerando valores de delta ( $\delta \gg 0$ ) permitimos que un gran porcentaje de usuarios del tipo opportunistic apliquen el algoritmo, es decir entren al estado “Keep Waiting Opportunity” como se ve reflejado en la figura 4.2.

La figura 4.2 muestra una especie de filtro con relación a las condiciones aplicadas en el algoritmo, el eje  $x$  está compuesto por las tres condiciones siguiendo el orden de aplicación. Considerando el total de usuarios del tipo opportunistic como entrada, el primer conjunto de puntos situados sobre la línea vertical de la condición delta muestra el porcentaje de usuarios que han superado esta primera condición de acuerdo al valor de delta aplicado. Este gráfico es muy útil para tener una primera impresión de un valor de delta óptimo ya que conviene que la mayor cantidad de usuarios superen las condiciones por los motivos explicados anteriormente.

Debemos tener en cuenta que las condiciones se aplican en cascada por lo cual el porcentaje de usuarios que superan la condición 1 será el total de usuarios que intentarán

superar la condición 2, lo mismo ocurre para la condición 3. Es por esto que cada línea en la figura 4.2 sigue una tendencia decreciente.

Los usuarios que superen las tres condiciones son los que contribuirán a las mejoras de la red, cabe destacar que según los datos obtenidos de las simulaciones valores más elevados de  $\delta = 8$  ya no tienen impacto, este valor de delta sería la primera aproximación para encontrar un valor óptimo en el contexto del retardo.

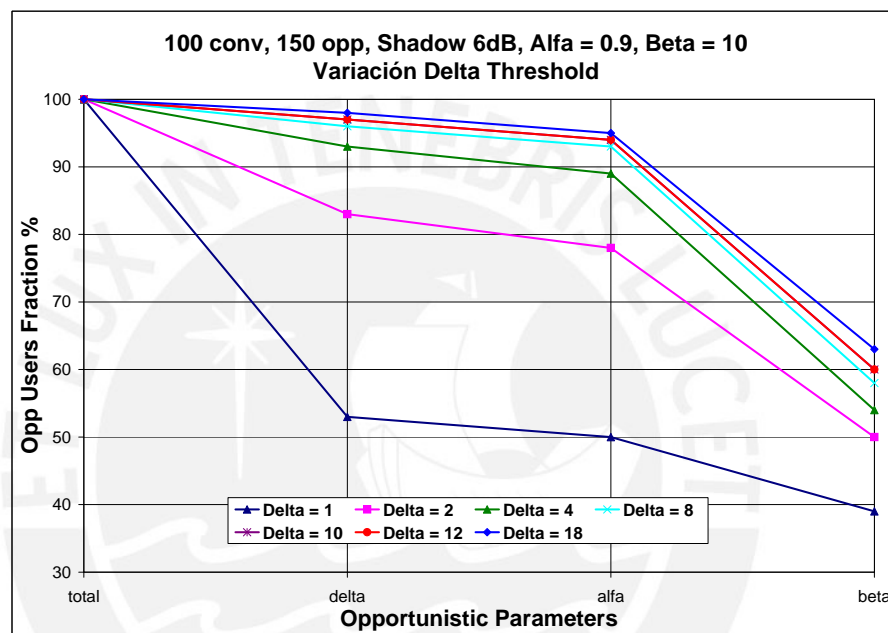


Figura 4.2: Impacto de la variación de delta en el número de usuarios en el estado Keep Waiting Opportunity.

### Impacto en el UTRAN R99 Throughput Conversacional

Teniendo una idea de la variación de resultados con respecto al retardo es necesario analizar el impacto de delta threshold con relación al UTRAN R99 Throughput Conversational. A medida que *delta* varía, la tendencia de la figura 4.3 muestra los valores esperados y también nos informa que el impacto de aplicar *delta* = 5 o 10 no tiene mayor diferencia, considerando lo anterior concluiríamos que no vale la pena degradar tanto al servicio en términos de retardo si es que no se consiguen mejoras sustanciales en el throughput.

En la figura 4.3 se incluyó también los resultados de no aplicar el algoritmo opportunistic, se comprueba las ventajas que supone la aplicación del algoritmo en términos del throughput para los usuarios conversacionales conectados a la RAT 1.

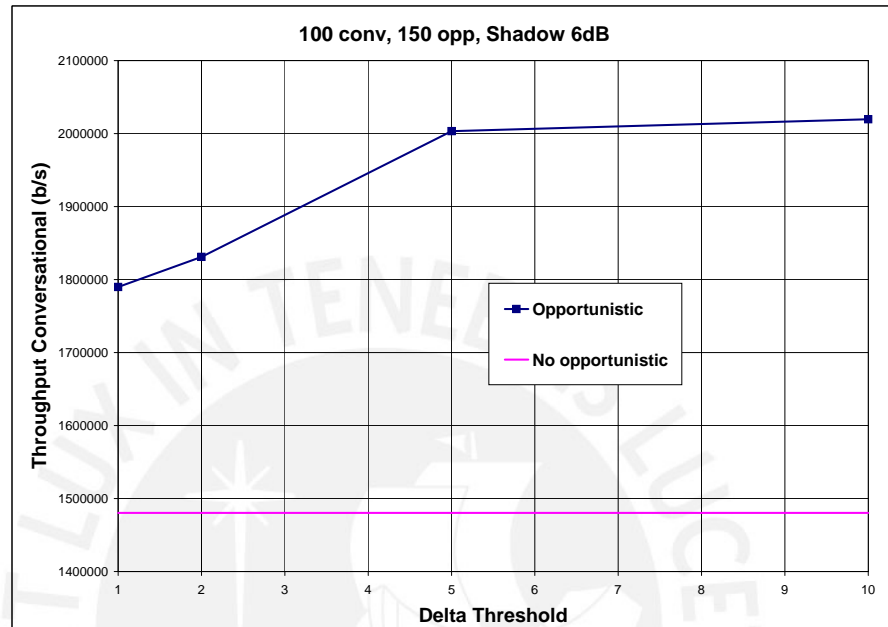


Figura 4.3: Evolución del throughput conversacional según el crecimiento de delta threshold.

Cabe resaltar que la figura 4.1 se obtuvo a partir de una simulación que considera ficheros de 1 MB, es importante verificar la misma tendencia para otros tamaños de fichero específicamente para ficheros más grandes, la figura 4.4 muestra que el tamaño de fichero a transmitir no influye en términos de grandes variaciones en el retardo medio, es decir un fichero grande tardará mas tiempo en transmitirse pero será independiente de la variación de delta.

Lo anterior no ocurre con relación al comportamiento del throughput (figura 4.5), el tamaño de fichero tiene un gran impacto. El throughput conversacional UTRAN R99 muestra una tendencia decreciente a medida de que el tamaño de fichero a transmitir crece, esto es de esperarse ya que las velocidades que se disponen no son tan elevadas, considerando como velocidad máxima que se puede conseguir en HSUPA de 5 Mbps en condiciones muy ideales. Esto también tiene que ver directamente con la velocidad del

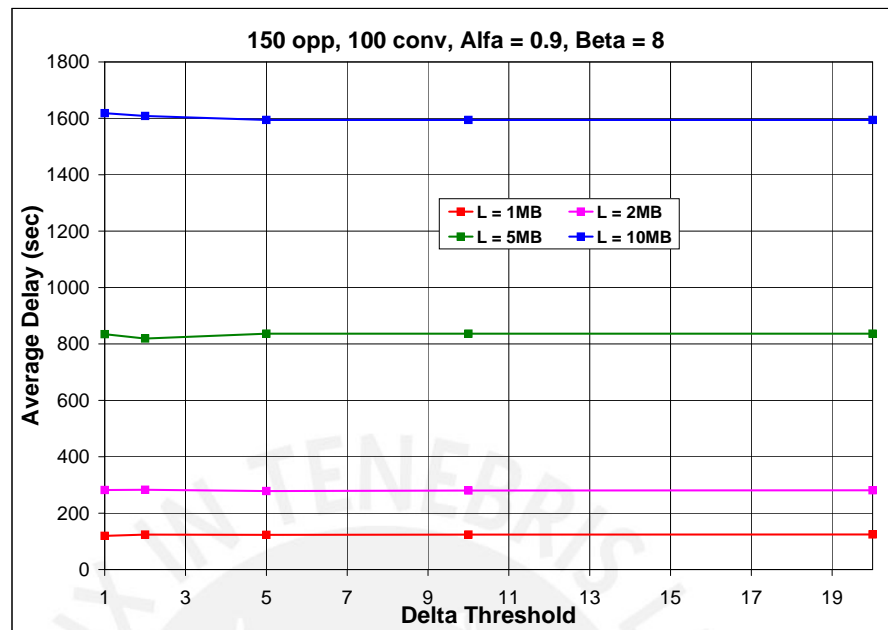


Figura 4.4: Comportamiento del retardo medio según delta threshold y el tamaño de fichero(L).

móvil ya que a mayor velocidad que este tenga menor tiempo de transmisión en la RAB HSPA.

Analizando la carga en el enlace ascendente para UTRAN, la (figura 4.6) muestra que valores muy altos de delta presentan un impacto muy pequeño.

La figura 4.7 muestra el efecto positivo en términos de BLER.

Considerando las mejoras producidas por la inclusión de este parámetro en el algoritmo en términos de throughput podemos considerar que un valor óptimo será  $delta = 5$  ya que logra mejores prestaciones considerando no degradar en exceso al servicio en términos de retardo.

Cabe resaltar que este valor óptimo de delta se escoge considerando independencia en relación al impacto en las prestaciones del servicio respecto a los otros parámetros del algoritmo, en un apartado posterior se analizará dicha independencia considerando los mejores valores para cada parámetro encontrados previamente, así como el estudio para otros escenarios.



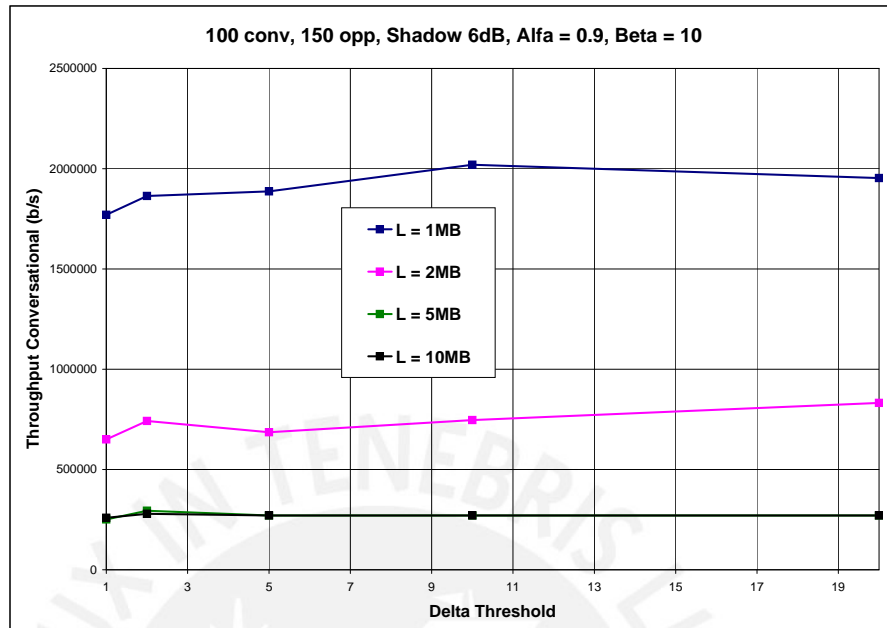


Figura 4.5: Comportamiento del UTRAN throughput conversacional según delta threshold y el tamaño de fichero(L).

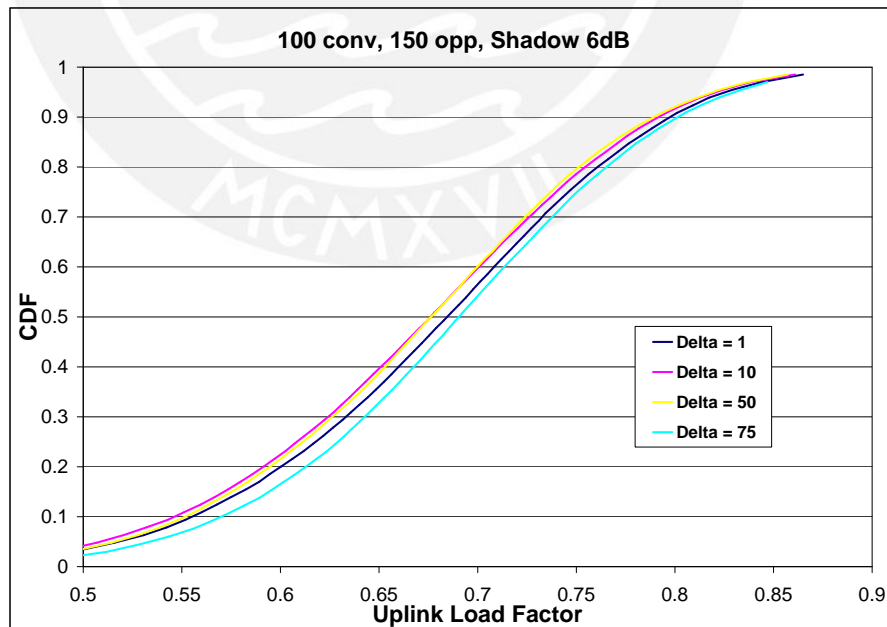


Figura 4.6: Load Factor en UL según la variación de Delta Threshold

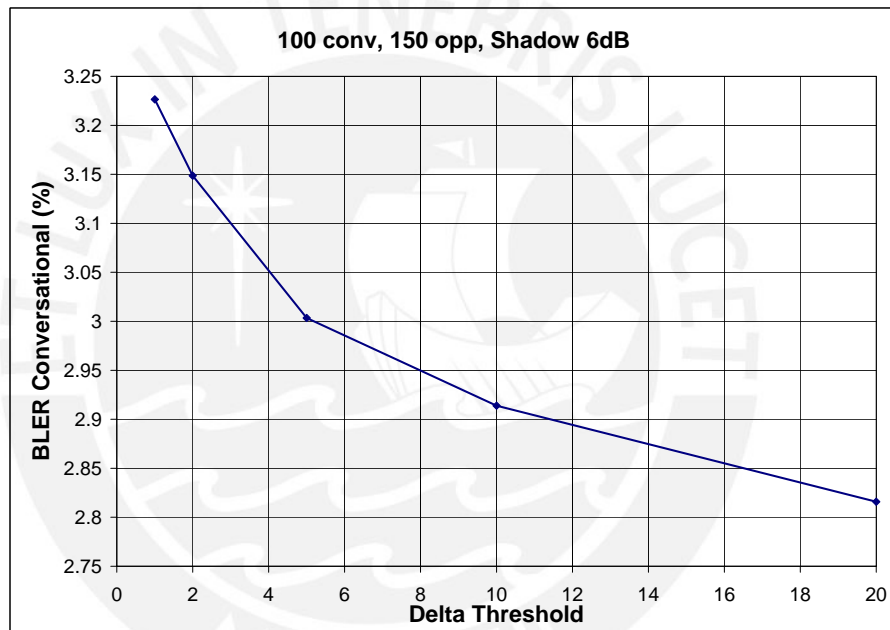


Figura 4.7: BLER según la variación de delta threshold.

### 4.4.2. Parámetro opportunistic - Alfa

El parámetro alfa tiene como objetivo asegurar que toda la información que el usuario pretende transmitir se logre en el tiempo en que éste permanezca en la RAT2 (HSPA), con este planteamiento se evita que el usuario realice un VHO hacia UMTS R99. Por tanto según la ecuación 2.10 se consideran valores de  $\alpha < 1$ .

La figura 4.8 tiene la misma funcionalidad ya explicada para la condición 1, se debe tener en cuenta que los puntos sobre la línea vertical de la condición 1 (delta) se encuentran muy juntos debido a que para esta simulación se ha fijado el valor de delta óptimo. Por tanto mas del 95 % han superado la primera condición e intentarán superar la segunda.

Considerando valores muy pequeños de alfa involucra elevadas velocidades de transmisión en la RAT2 y/o un tiempo de permanencia elevado en esta tecnología lo cual se convierte en una condición muy difícil de superar. Una vez más la figura 4.8 nos muestra de primera impresión el valor de alfa que debemos considerar como óptimo.

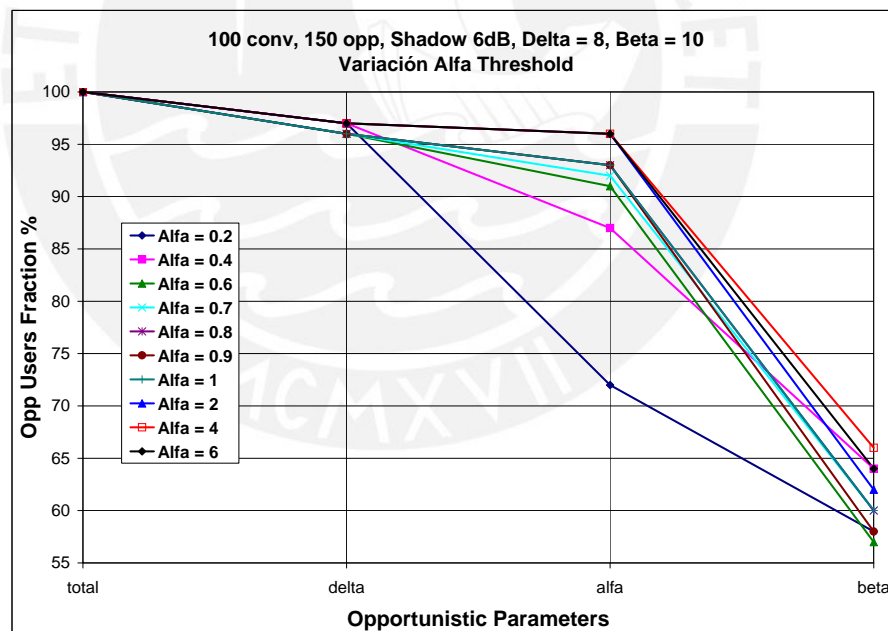


Figura 4.8: Impacto de la variación de delta en el número de Usuarios en el estado Keep Waiting Opportunity.

### Impacto en el retardo medio

Analizando el comportamiento del retardo medio de acuerdo a la variación de este parámetro, la figura 4.9 muestra que el parámetro alfa no tiene impacto, esto debido a que el tiempo de transmisión en la RAT2 comparado al tiempo de espera del usuario es pequeño. Tener en cuenta que la figura antes mencionada posee un grado de acercamiento alto para poder apreciar de mejor forma el poco impacto que refiere.

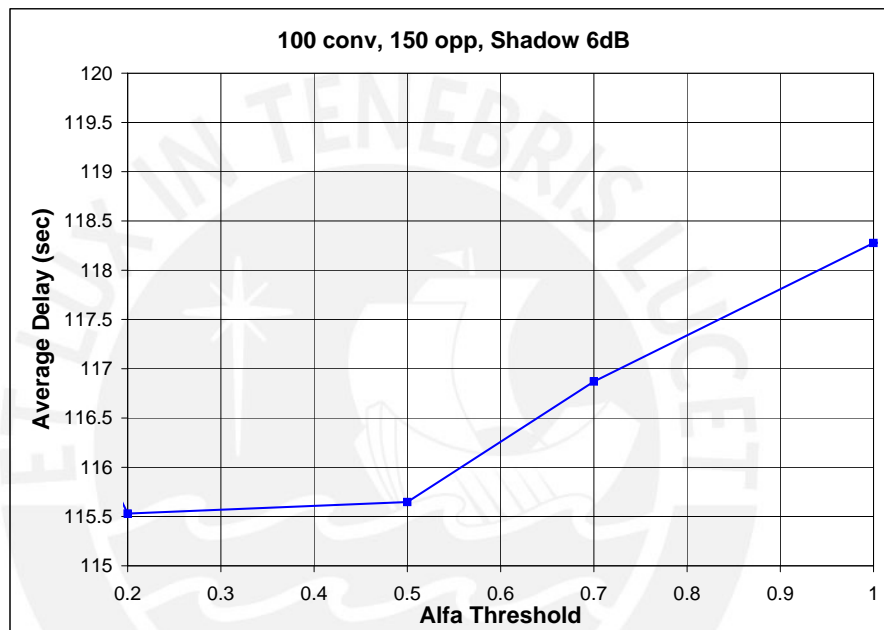


Figura 4.9: Retardo medio según la variación de alfa.

A medida que alfa se acerca a cero, la condición exige que  $R_b t_2 \gg L$  por tanto cumpliendo con esta condición se muestra que  $t_2$  es muy pequeño comparado con  $t_1$ , como se muestra en la figura 4.9 se muestra la representación lineal del retardo medio, la figura 4.10 muestra el cdf del retardo, con esta representación se ve con claridad el comportamiento del retardo a medida que decrece el parámetro alfa, se puede ver que las mejoras en términos de retardo son muy escasas ya que la variación de alfa afecta directamente a la capacidad de transmisión de la RAT2(HSPA) de acuerdo al tamaño de fichero que se espera transmitir( $L$ ).

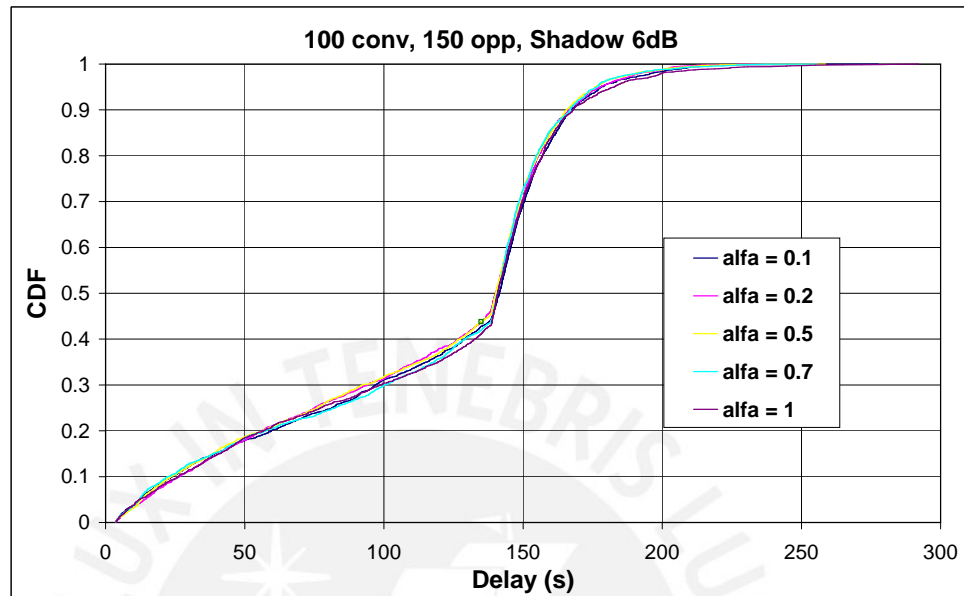


Figura 4.10: CDF del retardo según la variación de alfa.

### Impacto en el UTRAN R99 throughput Conversacional

La figura 4.11 muestra la tendencia creciente del throughput, además indica que, a partir de valores de  $\alpha > 0,5$  ya no muestra un impacto sustancial. La figura 4.12 muestra también que utilizar valores de alfa pequeños no es recomendable.

De acuerdo a los resultados obtenidos y analizando las prestaciones que sufre la red UMTS R99 al variar el segundo parámetro opportunistic se puede decir que  $\alpha = 0,7$  sería un buen valor, ya que presenta mejores prestaciones con relación al throughput obtenido, en este caso nos referimos sólo a este indicador ya que en términos de retardo ya vimos que no tiene impacto.

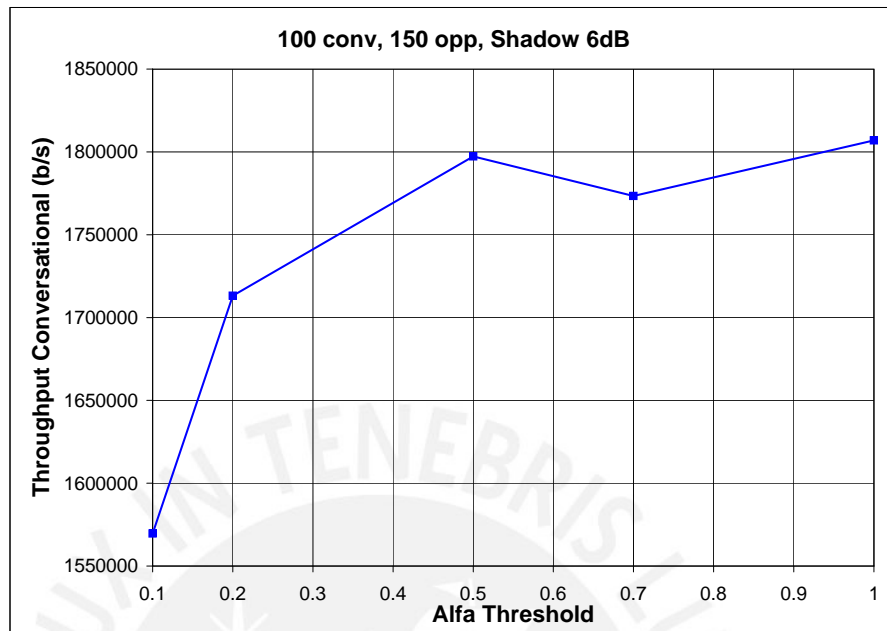


Figura 4.11: UTRAN throughput conversacional según la variación de alfa.

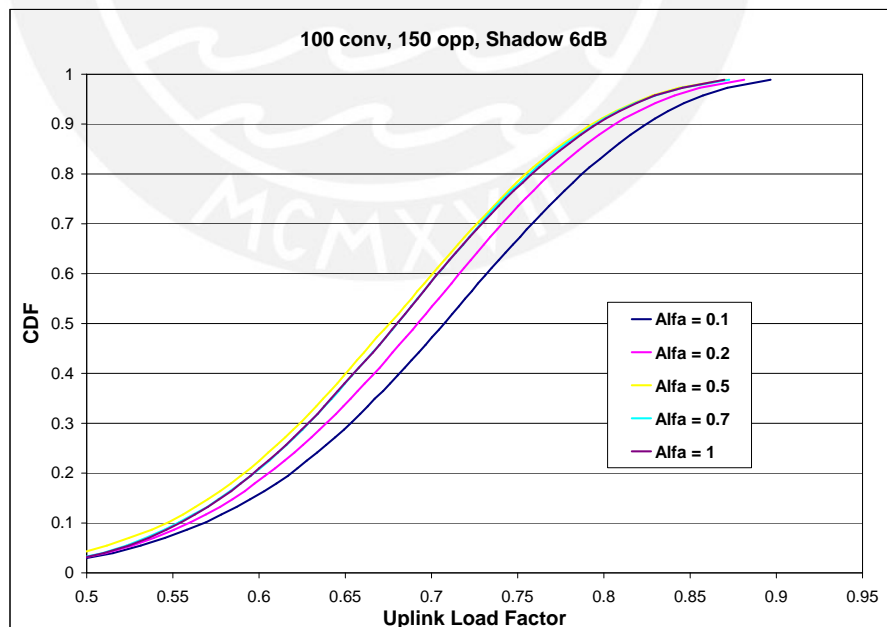


Figura 4.12: CDF del facto de carga en UL según la variación de alfa.

### 4.4.3. Parámetro opportunistic - Beta

El parámetro opportunistic beta ( $\beta$ ) como parte del algoritmo se fundamenta en garantizar que la capacidad lograda por el usuario cuando se encuentre en la RAT2 (HSPA) sea sustancialmente mayor a la capacidad que se percibe cuando permanece en la RAT1 (UMTS R99), evitando que usuarios que potencialmente no obtengan buenas prestaciones en la RAT2 se degraden en términos de retardo.

La ecuación 2.11 muestra que *beta* debe ser mucho mayor a la unidad.

Considerando que el usuario ha superado las dos primeras condiciones, delta y alfa threshold, se somete a la última comprobación para poder entrar al estado Keep Waiting Opportunity, en este caso y como nos indica la figura 4.13 se muestra que beta presenta mayor impacto que los dos parámetros opportunistic analizados anteriormente.

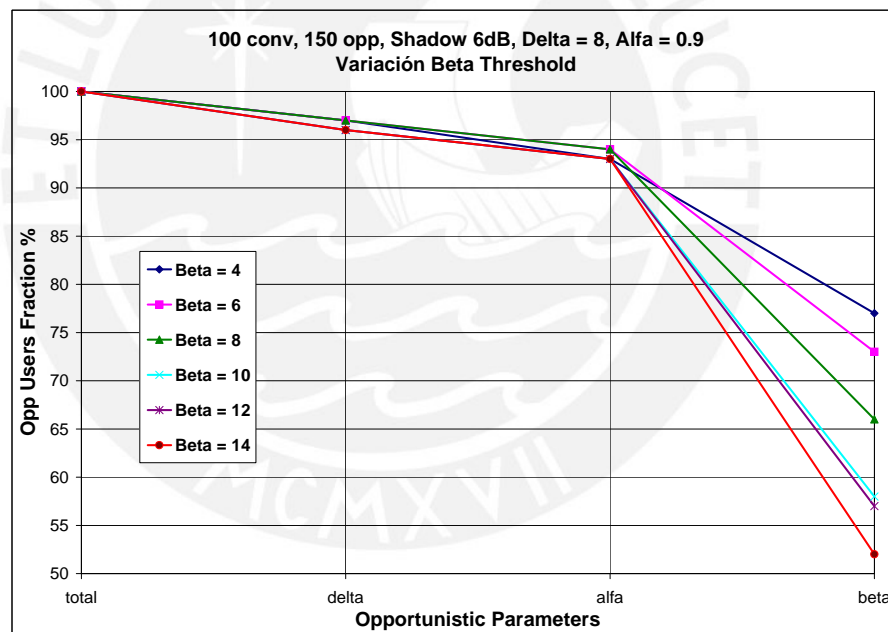


Figura 4.13: Impacto de la variación de beta en el número de usuarios en el estado Keep Waiting Opportunity.

A medida que beta crece el throughput conversacional en UTRAN decrece como muestra la figura 4.15, ya que para satisfacer esta condición se exigiría menores capacidades en la RAT1(UMTS R99) que siempre estará ligado a las condiciones de la RAT2 (HSPA).

Las condiciones de aplicación de UMTS R99 y HSPA son distintas, por ejemplo una celda HSPA tiene menos cobertura es por esto que el tiempo de permanencia del usuario en la RAT1 normalmente será mucho mayor que el tiempo que logre en la RAT2.

En el caso del retardo medio el comportamiento es decreciente a medida que beta crece (figura 4.14), esto es coherente ya que menos móviles esperan para transmitir lo cual mejora el sistema en términos de retardo pero no favorece para mejorar el throughput conversacional en UMTS R99.

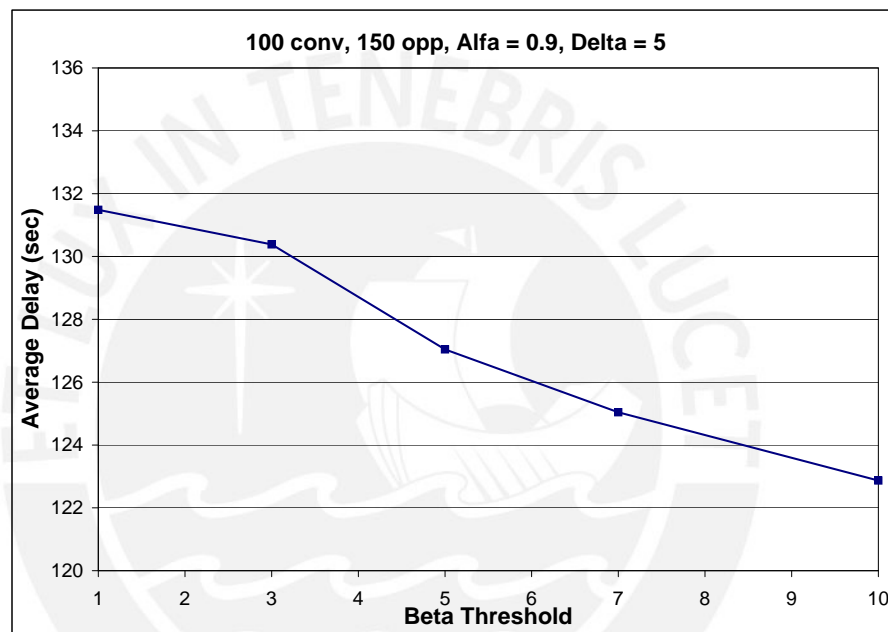


Figura 4.14: Impacto del retardo medio según la variación de beta.



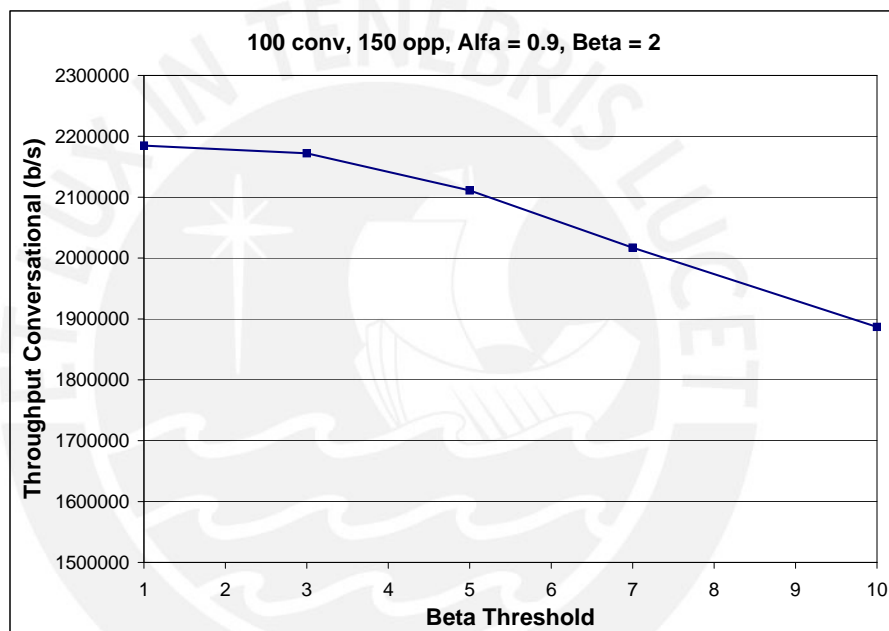


Figura 4.15: Impacto de la variación de beta en el throughput conversacional logrado por los usuarios conectados a UTRAN R99.

#### 4.4.4. Variante del algoritmo considerando eliminar un parámetro opportunistic

De acuerdo a las prestaciones obtenidas en los análisis previos de los parámetros opportunistic, se mostró que el tercer parámetro (beta threshold) presentaba un mayor impacto en término del número de usuarios que aplican el algoritmo, lo cual afecta directamente a las prestaciones esperadas. Según los resultados obtenidos de las simulaciones, el valor óptimo para beta sería alguno cercano a cero por lo que en este apartado se intentará averiguar si la eliminación de este parámetro sería conveniente para mejorar el algoritmo.

La expresión 2.11 presentada en el capítulo 2, sigue la expresión  $\beta R_{b1}t_1 < R_{b2}t_2$ , exige para su cumplimiento que  $R_{b2}t_2$ , es decir, la capacidad lograda en la RAT 2 sea muy alta en comparación a la capacidad lograda en la RAT 1.

Esta condición es difícil de superar debido a:

- El tiempo de permanencia de los móviles en zona de cobertura de la RAT1 es mayor que el tiempo de permanencia en la RAT2 (en términos probabilísticos), ya que se consideran 4 celdas con UTRAN R99 y sólo una celda con capacidades HSPA.
- La transmisión en UTRAN R99 sigue un esquema “casi de conmutación de circuitos” ya que establece un circuito virtual en base a códigos, que permite una tasa de transferencia constante, lo que es conveniente cuando se intenta transmitir tamaños de buffer elevados. Por lo que, si consideramos tiempos grandes de transmisión sobre esta tecnología se logrará la transmisión de un elevado volumen de datos.
- La velocidad de transmisión en HSUPA logra un pico máximo de 5.44 Mbps considerando condiciones muy ideales de la red, como por ejemplo que todos los recursos estén destinados a un único usuario, que la relación señal a ruido sea elevada, etc. Aún así, dicha velocidad de “pico” estrictamente esta relacionada a un TTI. La velocidad de transmisión pico de los sistemas HSPA es elevada pero la velocidad de transmisión media es muy baja.

En el proceso de simulación son considerandos los valores óptimos para los dos primeros parámetros:

- $\delta = 5$

- $\alpha = 0,7$

En este apartado se realizan pruebas del algoritmo sin considerar esta condición, con el fin de probar si las mejoras de la red debido a esta medida justifican la eliminación de esta condición.

### Impacto en el retardo medio

La figura 4.16 muestra que el hecho de eliminar beta threshold degrada un poco más las prestaciones en términos de retardo medio y que a mayor número de usuarios que aplican el algoritmo mayor el retardo. Considerando que dicha degradación no es muy notoria el factor decisivo será el impacto en el throughput.

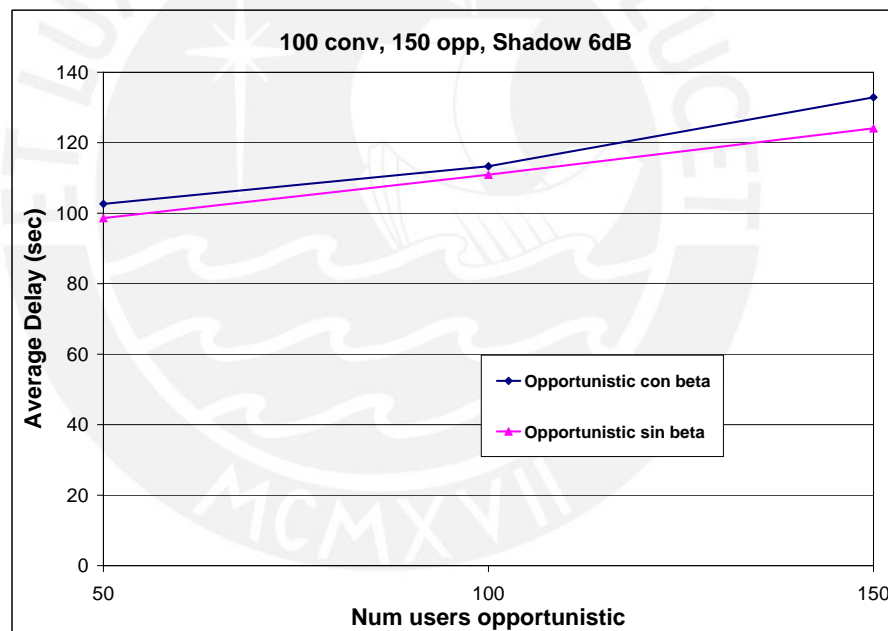


Figura 4.16: Impacto en el retardo medio al eliminar beta threshold.

### Impacto en el UTRAN R99 throughput conversational

Según muestra la figura 4.17 las mejoras del throughput al eliminar beta threshold muestran mayor impacto cuando el número de usuarios que aplican el algoritmo es cada vez mayor.

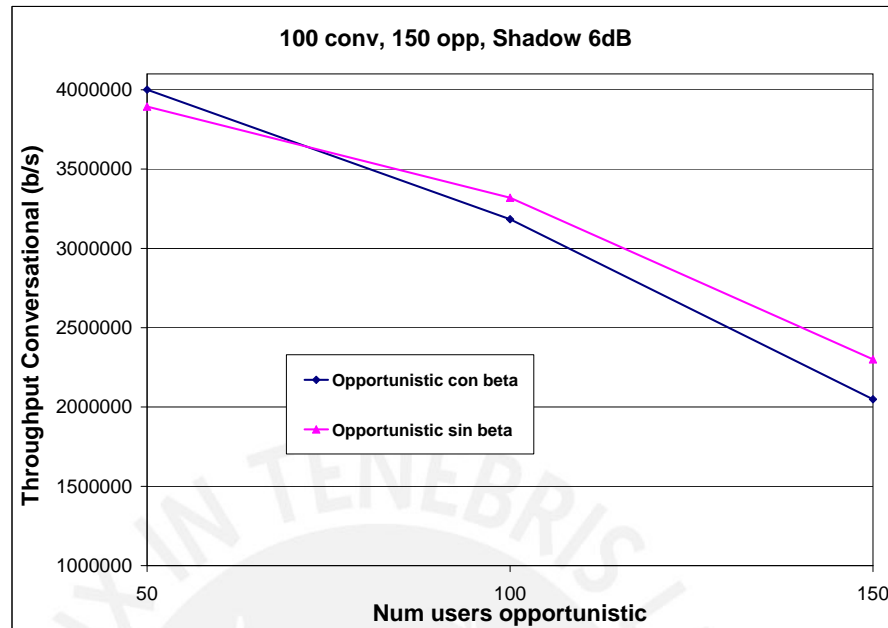


Figura 4.17: Impacto en el UTRAN throughput conversational al eliminar beta threshold.

Considerando que las mejoras de la red debido a la eliminación del parámetro beta no fueron muy grandes, sería conveniente no eliminar esta condición del algoritmo ya que vimos que cuando pocos usuarios aplican el algoritmo las prestaciones no son las esperadas. Por tanto se debe considerar este parámetro con la condición de mantenerlo con valores bajos para garantizar las prestaciones esperadas.

## 4.5. Estudio de las posibles interrelaciones entre los parámetros opportunistic

Los análisis previos se realizaron asumiendo que al variar uno de los parámetros opportunistic los resultados en términos de retardo medio o throughput permanecían con la misma tendencia considerando la variación de los otros parámetros.

En este apartado se pretende verificar que el hecho de manipular el parámetro opportunistic delta no influye en las prestaciones que se obtienen por efecto de los parámetros alfa y beta y así con las combinaciones que existan.

Considerando los valores óptimos para cada parámetro:

- $\delta = 5$
- $\alpha = 0,7$
- $\beta = 2$

### 4.5.1. Simulación 1: Beta fijo, delta y alfa variando.

En la primera simulación se mantiene constante el valor de beta ( $\beta = 2$ ) y se varían los dos parámetros restantes delta y alfa con variaciones ligeras alrededor de los valores óptimos antes mencionados. Se analizarán los resultados en términos de retardo medio y throughput conversacional.

#### Retardo medio

Como se puede observar en la figura 4.18 la variación de delta hacia valores más grandes incrementa el retardo medio y esta característica se mantiene aunque varíe alfa threshold, además se ve claramente el poco impacto de alfa en el retardo.

#### UMTS R99 throughput conversacional

Los resultados referentes al throughput se muestran con muchas variaciones con respecto a los que se obtuvieron en relación al retardo medio como se puede apreciar en la figura 4.19. En general se muestra que a medida que delta crece el throughput crece independientemente de la variación de alfa threshold.

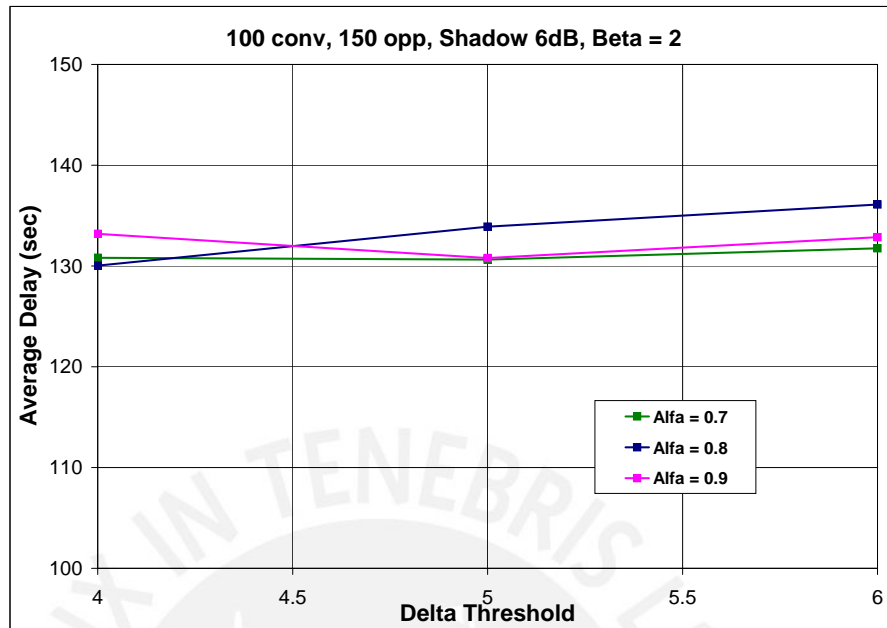


Figura 4.18: Retardo medio de acuerdo a la variación de los parámetros delta y alfa considerando beta fijo.

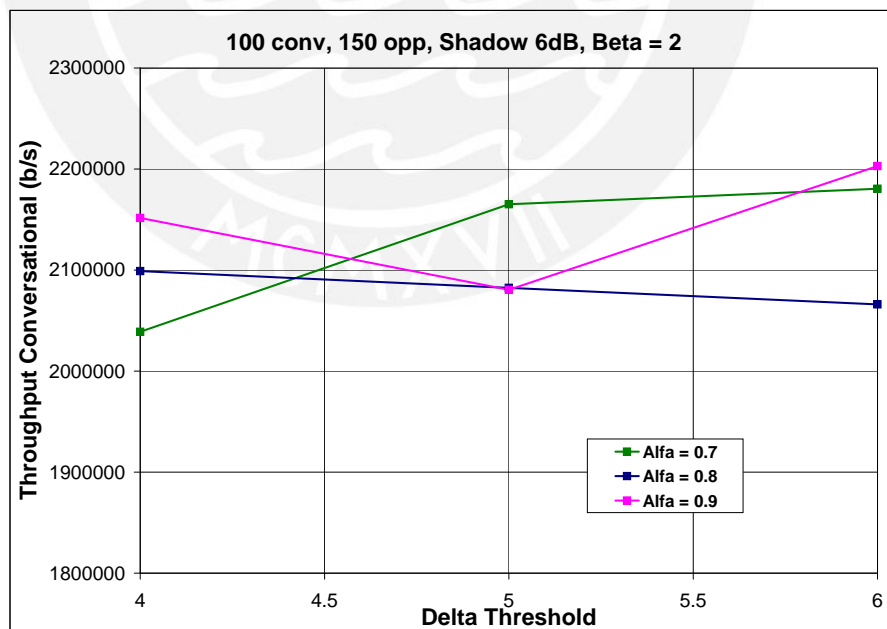


Figura 4.19: Throughput de acuerdo a la variación de los parámetros delta y alfa considerando beta fijo.

#### 4.5.2. Simulación 2: Delta fijo, alfa y beta variando.

En esta simulación se mantiene constante el valor de delta ( $\delta = 5$ ) y se varían los dos parámetros restantes alfa y beta con variaciones ligeras alrededor de los valores óptimos antes mencionados. Se analizarán los resultados en términos de retardo medio y throughput conversacional.

##### Retardo medio

En la figura 4.20 se muestra una vez más que alfa no tiene impacto en términos de retardo medio, además muestra que a medida que beta es más pequeño el retardo medio es más alto, esto debido a la mayor aplicabilidad del algoritmo cuando beta toma dichos valores.

Si más usuarios aplican el algoritmo opportunistic involucra mejoras notables en el throughput conversacional de los usuarios conectados a UMTS R99 a costa de un incremento de retardo que se deberá mantener controlado.

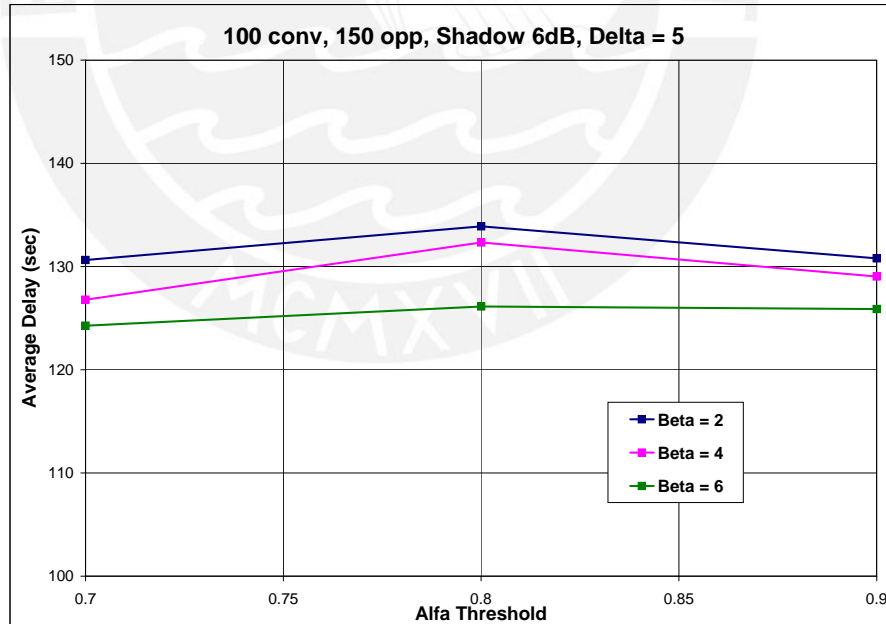


Figura 4.20: Retardo medio de acuerdo a la variación de los parámetros alfa y beta considerando delta fijo.

### UMTS R99 throughput conversational

Como respuesta al incremento de retardo medio es de esperarse una mejora en el throughput lo cual se muestra en la figura 4.21, para valores pequeños de beta. Además vemos que de acuerdo a la variación de alfa la tendencia de beta se mantiene.

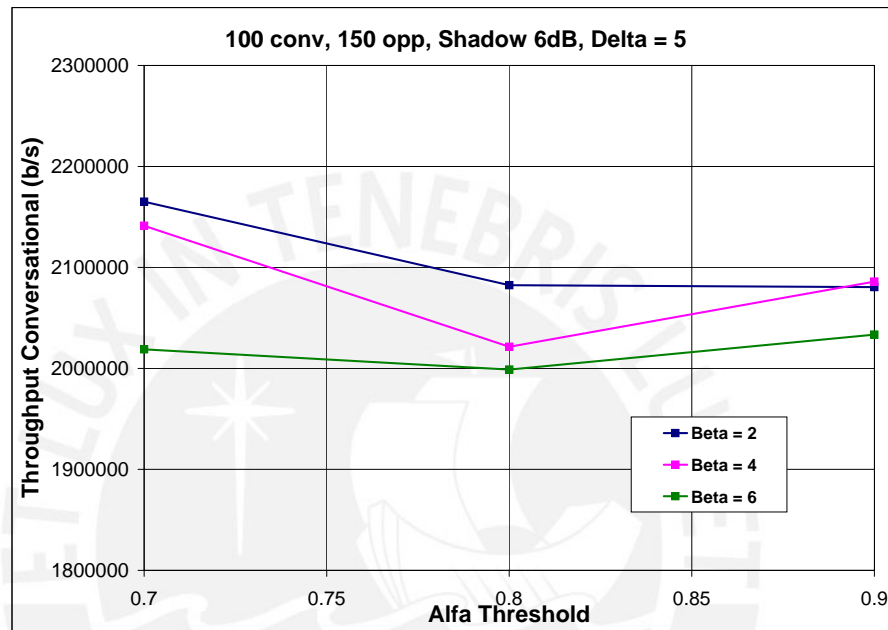


Figura 4.21: Throughput de acuerdo a la variación de los parámetros alfa y beta considerando delta fijo.



### 4.5.3. Simulación 3: Alfa fijo, delta y beta variando.

En esta simulación se mantiene constante el valor de alfa ( $\alpha = 0,7$ ) y se varían los dos parámetros restantes delta y beta con variaciones ligeras alrededor de los valores óptimos antes mencionados. Se analizarán los resultados en términos de retardo medio y throughput conversational.

#### Retardo medio

Desde el punto de vista de la variación de delta threshold la figura 4.22 muestra la escasa diferencia que produce en términos de retardo medio, también se comprueba el comportamiento decreciente del retardo a medida que beta threshold aumenta su valor.

Dado que alfa se mantiene constante, la figura 4.22 muestra también que la variación de beta threshold no influye en la tendencia de las prestaciones en términos de retardo medio que se obtiene por la aplicación de un determinado valor de delta y viceversa.

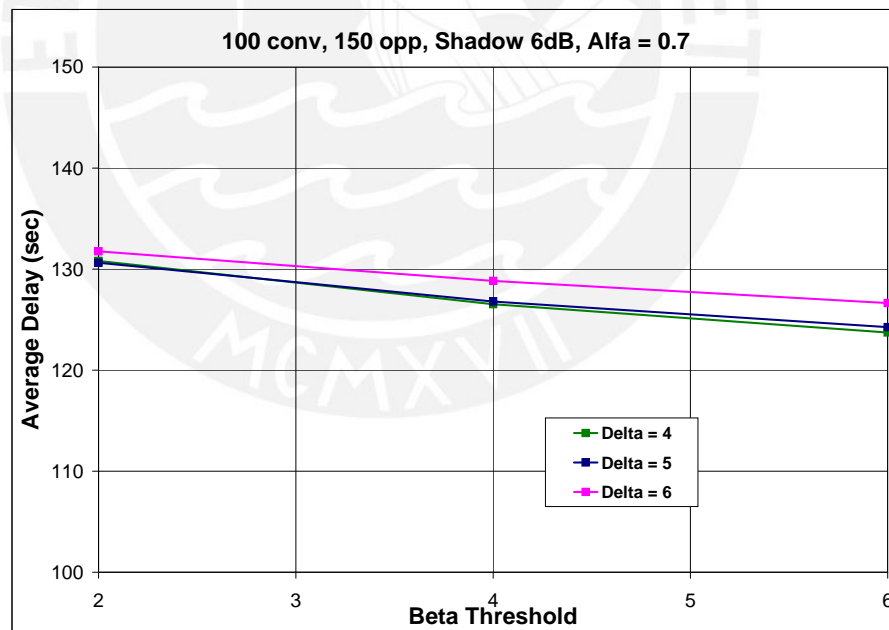


Figura 4.22: Retardo medio de acuerdo a la variación de los parámetros delta y beta considerando alfa fijo.

### UMTS R99 throughput conversational

En el caso del throughput la figura 4.23 muestra que al aumentar beta, delta mantiene una tendencia coherente y que además muestra un valor óptimo con la combinación  $\beta = 2$  y  $\delta = 5$ .

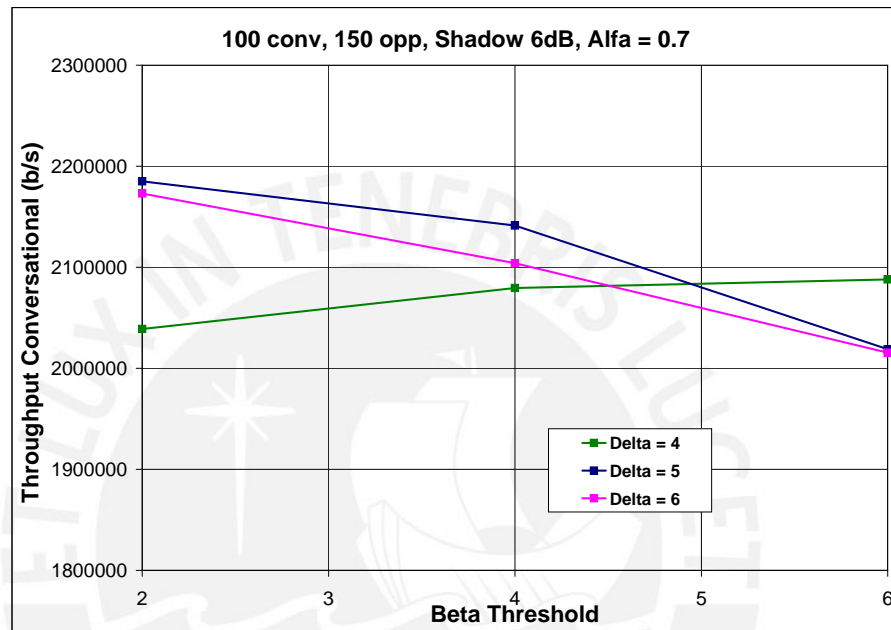


Figura 4.23: Throughput de acuerdo a la variación de los parámetros delta y beta considerando alfa fijo.

#### 4.5.4. Indicador único opportunistic

Existen muchos parámetros que se deben tener cuenta en el proceso de optimización de un sistema de comunicaciones móviles, tales como el retardo medio, el throughput, el BLER, etc. Dado que existen ciertos compromisos como la degradación del servicio en términos de retardo para lograr un mayor throughput, este apartado pretende presentar un resumen de dichos parámetros en una sola curva que tenga en cuenta los puntos a favor y en contra.

Las figuras 4.24, 4.25 y 4.26 muestran curvas que tienen en cuenta la degradación del servicio (en porcentaje) debido al retardo pero también recogen las mejoras en términos del throughput de acuerdo a la expresión 4.1. Estas figuras ayudan a determinar de una manera simple valores óptimos para los parámetros opportunistic.

$$\text{Indicador}_{opp} = (-) \text{impacto}_{retardo} (\%) + \text{incremento}_{throughput} (\%) \quad (4.1)$$

En el caso de delta threshold, la figura 4.24 muestra que los valores de  $\delta = 5$  ó  $6$  provocan los mismos resultados, por tanto se considera  $\delta = 5$  como valor óptimo para este parámetro dado que para  $\delta = 6$  se asumiría un incremento el retardo.

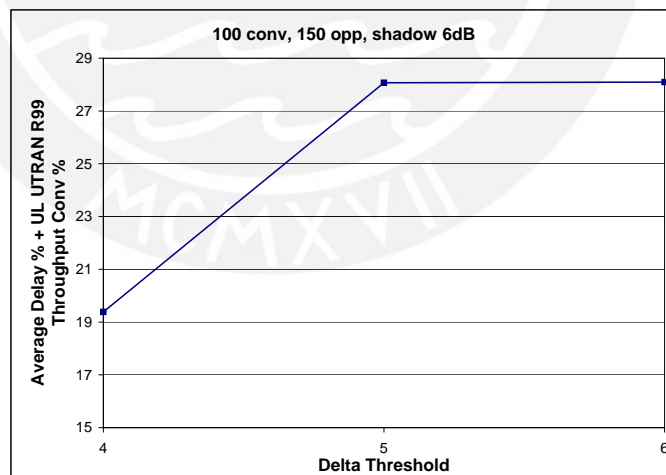


Figura 4.24: Resumen de prestaciones para delta threshold - Retardo medio, Throughput.

En el caso de alfa threshold la figura 4.25 muestra que  $\alpha = 0,7$  es el valor que provoca mejores prestaciones en la red. Por tanto  $\alpha = 0,7$  se mantiene como valor óptimo para este parámetro.

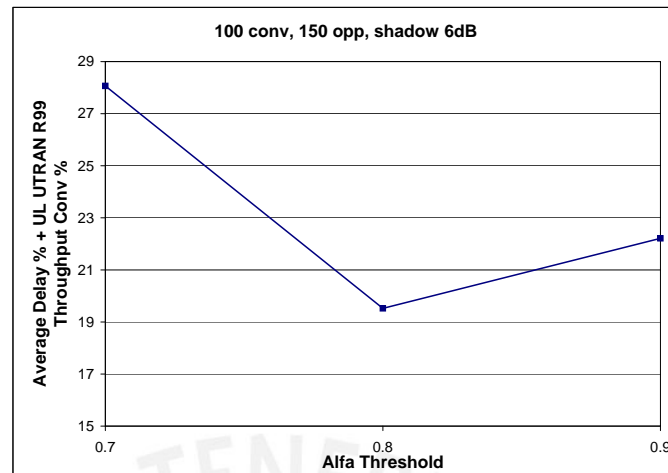


Figura 4.25: Resumen de prestaciones para alfa threshold - Retardo medio, Throughput.

En el caso de beta threshold la figura 4.26 muestra que los valores de  $\beta = 2$  ó  $4$  muestran las mejores características, cabe resaltar en este punto que para  $\beta = 2$  las prestaciones con respecto a throughput mejoran notablemente pero involucran un retardo elevado, considerando que el algoritmo aplica para servicios resistentes al retardo preferimos este valor. Además como vimos en el apartado 4.4.4 es conveniente establecer valores bajos para beta.

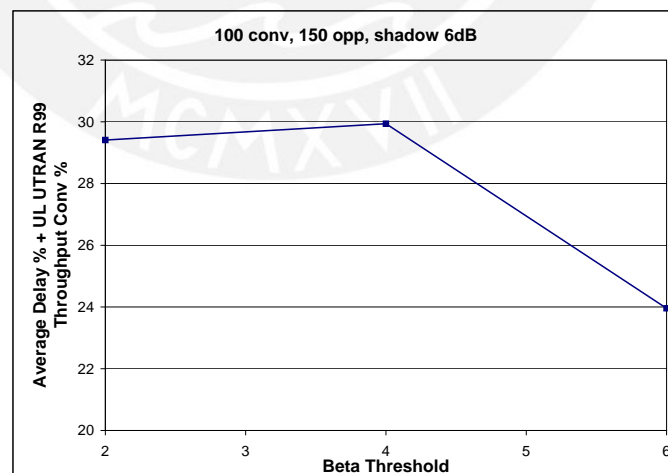


Figura 4.26: Resumen de prestaciones para beta threshold - Retardo medio, Throughput

## 4.6. Comparativa del algoritmo utilizado contra el caso No opportunistic

En este apartado se pone de manifiesto la mejora que incorpora la aplicación del algoritmo opportunistic en la red UMTS R99 específicamente, las simulaciones efectuadas demuestran que las diferencias entre aplicar y no aplicar el algoritmo bajo ciertas condiciones tienen un impacto notorio en las prestaciones de la red.

Considerando los valores más adecuados para los parámetros opportunistic obtenidos de los análisis anteriores.

$$\text{delta} = 5; \text{alfa} = 0,7 \text{ y } \text{beta} = 2$$

Analizando los resultados del algoritmo referente al retardo medio obtenido, la figura 4.27 y a figura 4.28 muestran el valor y el CDF del retardo producido en la transmisión para usuarios operando en modo opportunistic. Por motivos de comparación se incluyen los resultados en términos de retardo cuando no se aplicó el algoritmo. Se observa que la aplicación del algoritmo provoca una cierta degradación, en el caso en que existan 150 usuarios opportunistic asciende a 20,2%, debido al tiempo de espera que aplican los móviles en estado wait opportunity con el objetivo de llegar a una RAT de mejores prestaciones de acuerdo al servicio que se quiere aplicar.

Como consecuencia de que los móviles retarden un cierto tiempo su proceso de transmisión, se reducen las interferencias en la red UMTS R99 logrando que usuarios que están usando esta tecnología perciban mejoras en términos de error promedio de bloque (BLER) en el enlace ascendente, se consigue una reducción del 32,65% cuando el algoritmo es aplicado (figura 4.29).

La reducción de interferencia se puede ver también en la figura 4.30 que muestra el CDF del factor de carga en el enlace ascendente en una de las celdas vecinas a la celda central con capacidades HSPA. Como resultado de dicha reducción de interferencia se logran mejoras en términos de throughput percibidos por los usuarios conversacionales como es mostrado en la figura 4.31. Gracias a la aplicación del algoritmo opportunistic las mejoras ascienden a 55,4% en el caso en que existan 150 usuarios opportunistic.

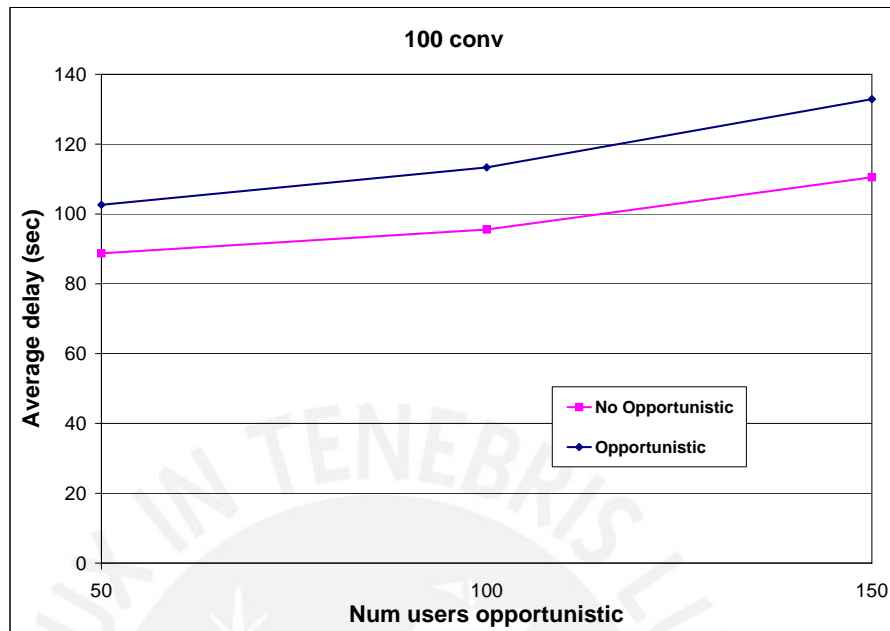


Figura 4.27: Retardo medio de los usuarios opportunistic.

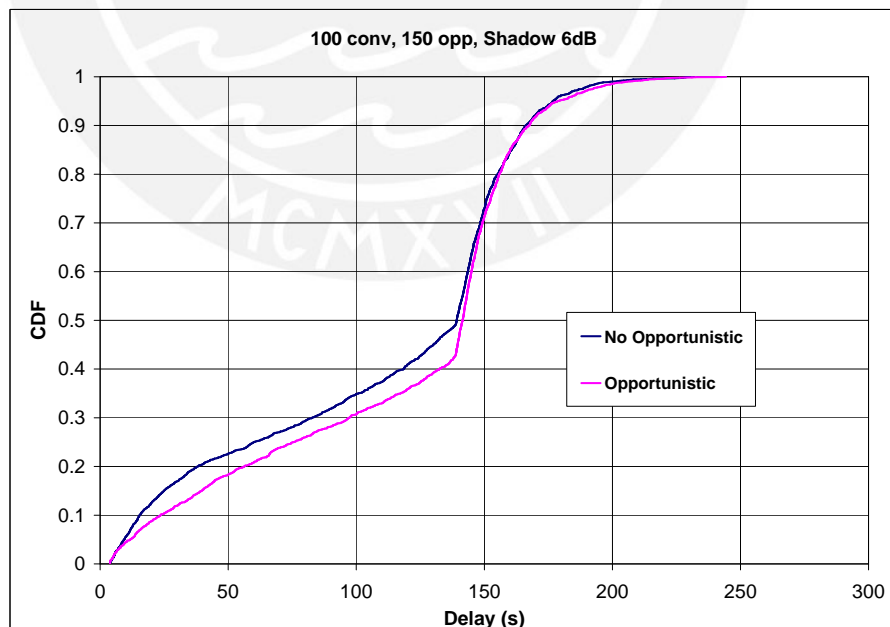


Figura 4.28: CDF del retardo de transmisión para los usuarios opportunistic.

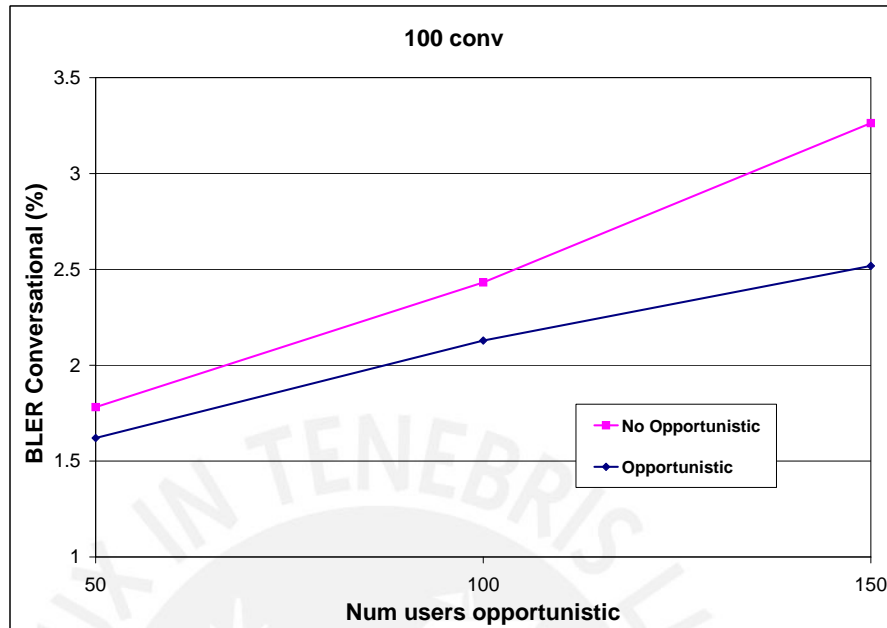


Figura 4.29: BLER de los usuarios conversacionales.

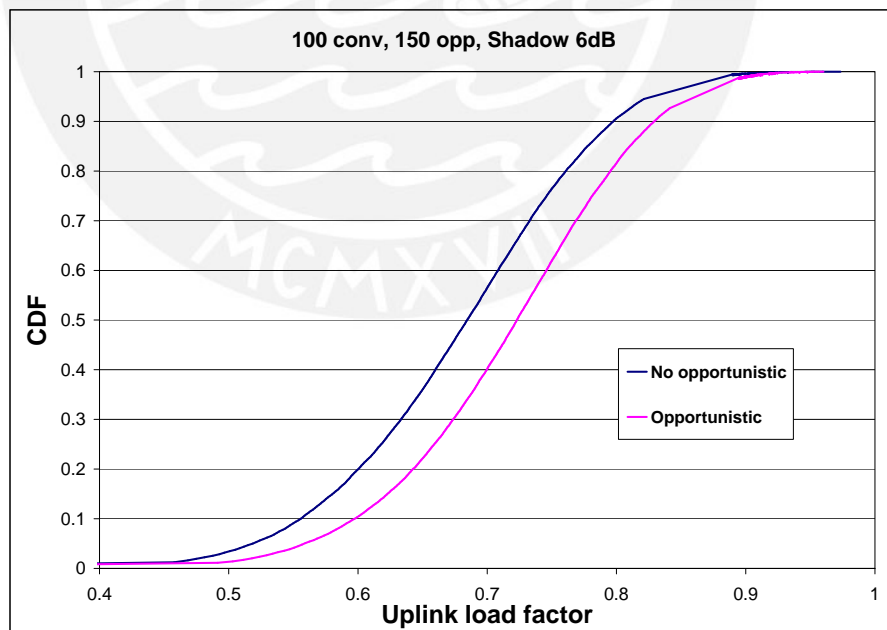


Figura 4.30: CDF del factor de carga en el enlace ascendente para una de las celdas vecinas a la celda con HSPA.

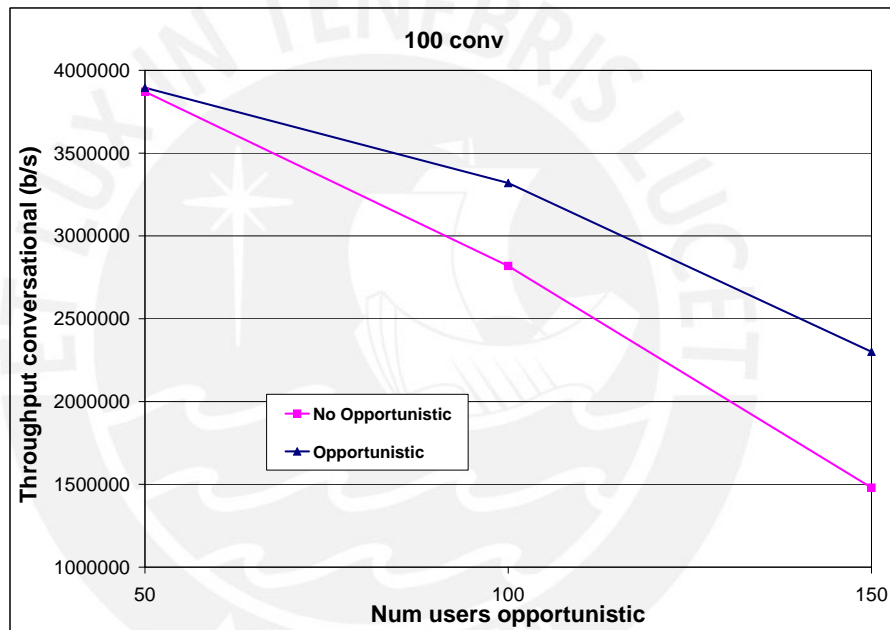


Figura 4.31: Throughput total en el escenario percibido por usuarios conversacionales.



## 4.7. Conclusiones

En el presente capítulo se ha planteado una metodología para la optimización de los parámetros opportunistic, siguiendo un esquema de prueba y error que permite obtener una combinación apropiada con la que se garantiza el máximo grado de mejora en las prestaciones de la red, considerando también algunos compromisos relacionados a degradaciones posibles.

Los parámetros a optimizar son los ya descritos teóricamente en el capítulo 2, siguiendo el mecanismo del algoritmo también explicado en el mismo capítulo. Las conclusiones más destacables a las que se ha llegado se enumeran a continuación:

1. El algoritmo opportunistic está estrictamente orientado para servicios con bajas restricciones en términos de retardo, aprovechando esta característica se logra mejorar el throughput de usuarios del tipo conversacionales en un 55,4 % debido a la existencia de usuarios que dejan de transmitir (opportunistic). Dicho incremento en el throughput se logra a coste de sólo degradar un 20 % el retardo de los usuarios opportunistic.
2. Se ha estudiado el impacto de cada parámetro opportunistic por separado:
  - En el caso del primer parámetro (*delta*) se ha visto que es el factor que influye directamente en el retardo total que se produce sobre los usuarios que aplican el algoritmo, por esto, su valor óptimo se obtiene teniendo en cuenta que el impacto positivo en relación al throughput justifique la degradación en términos de retardo.
  - Con relación al segundo parámetro (*alfa*), es el factor que produce menos degradación términos de retardo, ofrece mejoras en el throughput de los usuarios conversacionales ya que de acuerdo a sus condiciones impide un posible proceso de handover que indirectamente aumentaría la tasa de error de bloque.
  - Por último, el tercer parámetro (*beta*), se ha visto que los requerimientos de esta condición provocan que sea difícil de cumplir, por lo tanto este factor presenta un impacto muy grande en el número de usuarios que aplican del algoritmo. Se decidió establecer valores de beta que permitan relajar esta condición para conseguir las mayores prestaciones en la red.

3. Un algoritmo de radio resource management muestra sus verdaderos efectos cuando la red en la que se aplica se encuentra en una situación de saturación, por tanto el aprovechamiento de características inherentes de algunos servicios para reducir el factor de carga de una celda WCDMA muestra un efecto positivo para usuarios con otra necesidad de calidad de servicio.
4. El algoritmo opportunistic se muestra como un mecanismo eficiente para la administración de recursos radieléctricos, que permite mejorar la capacidad del sistema.



## 5

# Evaluación del algoritmo en otros escenarios

Este capítulo presenta el análisis del algoritmo opportunistic en otros escenarios de aplicación, teniendo en cuenta que en apartados anteriores la evaluación y optimización del algoritmo se basó en un escenario geográfico establecido aplicando un esquema de movilidad dado. Este capítulo intentará demostrar que la aplicabilidad de los conceptos opportunistic conducen a mejoras en la red aunque se empleen en escenarios completamente distintos en términos geográficos o esquemas de movilidad.

### 5.1. Escenario Lineal - Carretera

Este escenario en particular sigue una disposición geográfica lineal por lo que se considera el esquema de movilidad del tipo “road” explicado en el capítulo 3. Básicamente el usuario del tipo opportunistic seguirá una línea recta desde un punto de inicio cuya posición se obtiene aleatoriamente, dicho usuario mantendrá una velocidad constante de 50 *km/h*.

El escenario está compuesto por dos celdas UMTS R99 y una capacidad HSPA como se muestra en la figura 5.1. Las simulaciones efectuadas en este apartado consideran los mismos parámetros expuestos en la formulación del algoritmo opportunistic y los valores opportunistic más adecuados  $\delta = 5$ ,  $\alpha = 0,7$  y  $\beta = 2$ .

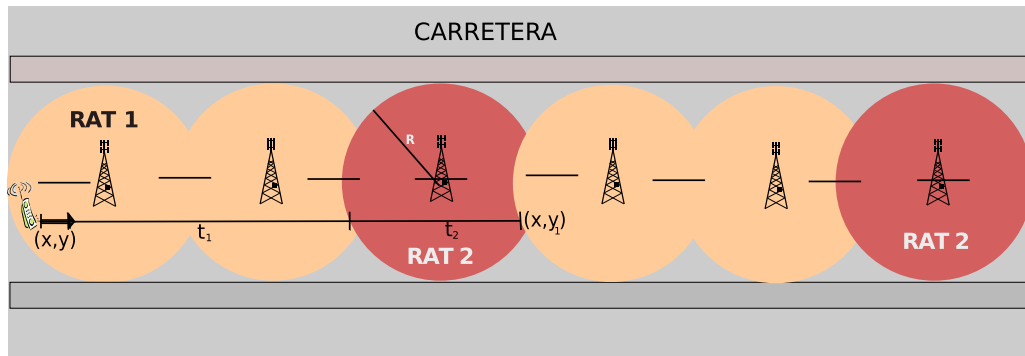


Figura 5.1: Definición geográfica lineal para la aplicación del algoritmo oportunístico.

Con respecto a la generación de ficheros, los usuarios generan ficheros de tamaño constante de 1MB para ser transmitidos en el enlace ascendente. El tiempo entre la generación de ficheros consecutivos sigue una distribución exponencial con una media de 100 s.

### Impacto en el retardo

La aplicación del algoritmo oportunístico en este nuevo escenario muestra una clara reducción del retardo para los usuarios interactivos ya que la topología de la red y el esquema de movilidad hacen que el tiempo necesario para llegar a una celda HSPA sea menor en comparación a otros escenarios analizados anteriormente. Además este escenario en particular aumenta la probabilidad de que un usuario del tipo oportunístico entre al estado de espera lo que conducirá a la disminución de interferencia en las celdas con UTRAN R99.

En términos de retardo medio los usuarios del tipo oportunístico se ven degradados en un 18 %.

### Impacto en el throughput conversacional

Gracias a la aplicación del algoritmo oportunístico el throughput que obtienen los usuarios de tipo conversacional aumenta considerablemente, considerando 150 usuarios del tipo oportunístico se obtiene una mejora del 20 % en el throughput de los usuarios conectados a UTRAN R99.

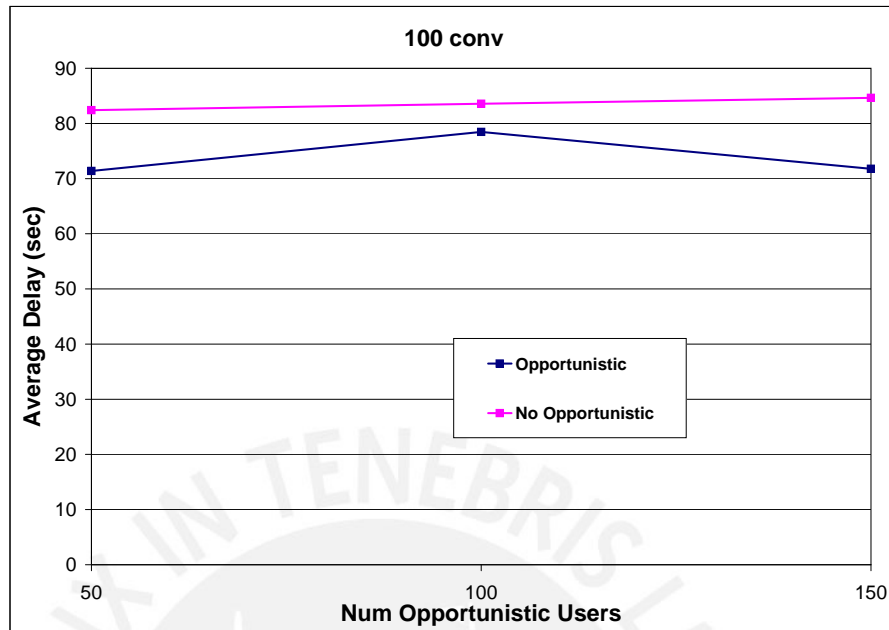


Figura 5.2: Retardo medio para usuarios opportunistic considerando un escenario de aplicación rectilíneo.

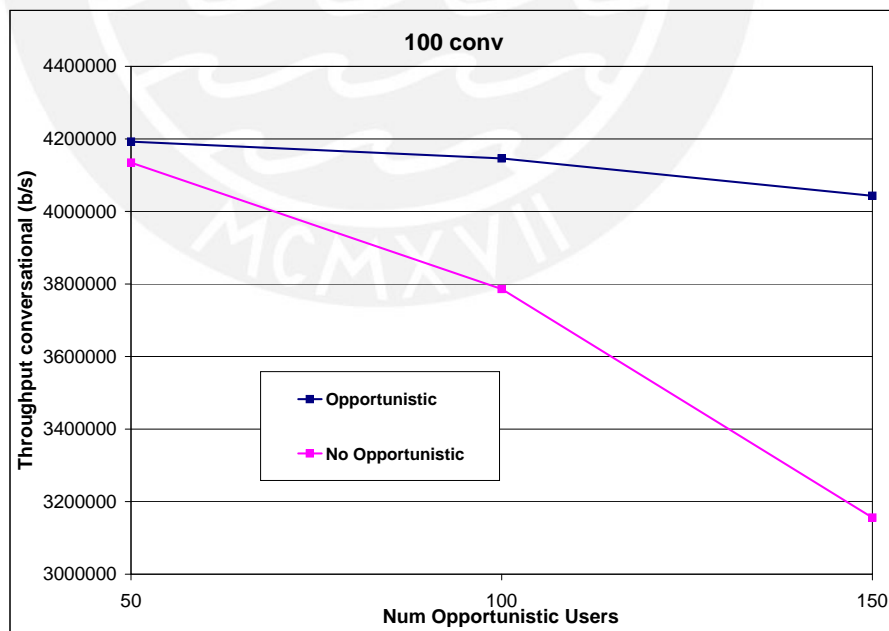


Figura 5.3: Throughput para usuarios conversacionales considerando un escenario de aplicación rectilíneo.

## 5.2. Escenario analizado según variaciones en el esquema de movilidad de tipo Random Walk

Este apartado considera la utilización del mismo escenario que se aplicó en el estudio y optimización del algoritmo original (explicado en el capítulo 2), además aplica el esquema de movilidad del tipo “Random Walk” explicado en el capítulo del simulador (apartado 3.6.4). La diferencia con los estudios anteriores radica en que en este apartado intentará estudiar el impacto en la red producido por variaciones de los parámetros del esquema de movilidad ya planteado.

Los parámetros que se tomarán en cuenta en este estudio son: la probabilidad de cambio de dirección y la magnitud del ángulo que se aplicará cada vez que el móvil se desplace  $100\text{ m}$ , según se ve en la figura 5.4.

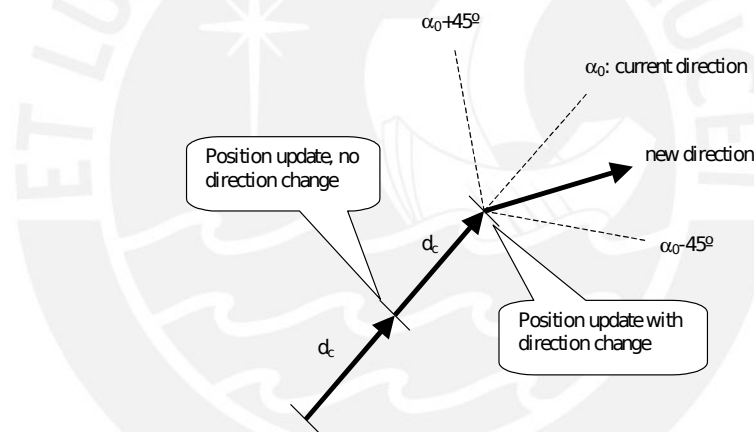


Figura 5.4: Modelo de movilidad tipo random walk.

### Simulaciones consideradas

- Considerando una probabilidad  $p = 0,05$  para el cambio de dirección con una magnitud de  $\varphi = 10^\circ$ .
- Considerando una probabilidad  $p = 0,2$  para el cambio de dirección con una magnitud de  $\varphi = 10^\circ$ .
- Considerando una probabilidad  $p = 0,1$  para el cambio de dirección con una magnitud de  $\varphi = 90^\circ$ .

- Considerando una probabilidad  $p = 0,2$  para el cambio de dirección con una magnitud de  $\varphi = 90^\circ$ .

Se debe resaltar que el primer caso de simulación utiliza los mismos parámetros que se aplicaron en el estudio del algoritmo original, al considerar una  $p = 0,05$  y un ángulo de variación de  $\varphi = 10^\circ$  indirectamente se aplican recorridos casi-rectilíneos (modelo predictivo). Las segunda simulación aumenta la probabilidad de cambio de dirección manteniendo el ángulo de variación y las dos últimas aumentan la probabilidad y consideran un ángulo de variación grande ( $\varphi = 90^\circ$ ) lo que correspondería a un modelo más realista (entorno urbano).

El considerar esquemas de movilidad predictivos favorece la aplicación del algoritmo opportunistic por lo cual es necesario ver las prestaciones que ofrece cuando se aplica en escenarios con movilidad muy aleatoria, a continuación se muestra el impacto de estas nuevas situaciones en términos de retardo y throughput para los usuarios conversacionales conectados a UTRAN R99.

### **Impacto en el retardo**

La figura 5.5 muestra el impacto en términos de retardo para los usuarios del tipo opportunistic, se ve una tendencia coherente ya que a medida que crece el número de usuarios el retardo medio se incrementa. Aunque la información que se obtiene de esta figura es escasa podemos resaltar que en las simulaciones en las cuales se consideran mayores valores de probabilidad y mayores ángulos de variación se presentan los mayores retardos medios, esto se produce porque dichos parámetros hacen que la movilidad del usuario sea muy poco predecible por lo cual dicha conexión será asignada directamente a UTRAN R99.

La degradación en términos de retardo medio con respecto a la aplicación del algoritmo opportunistic original asciende a un 1% en promedio considerando las tres simulaciones, por lo que podemos concluir que dichas variaciones no afectan a las prestaciones del algoritmo, en este caso no hacen que la degradación del retardo se incremente considerablemente.

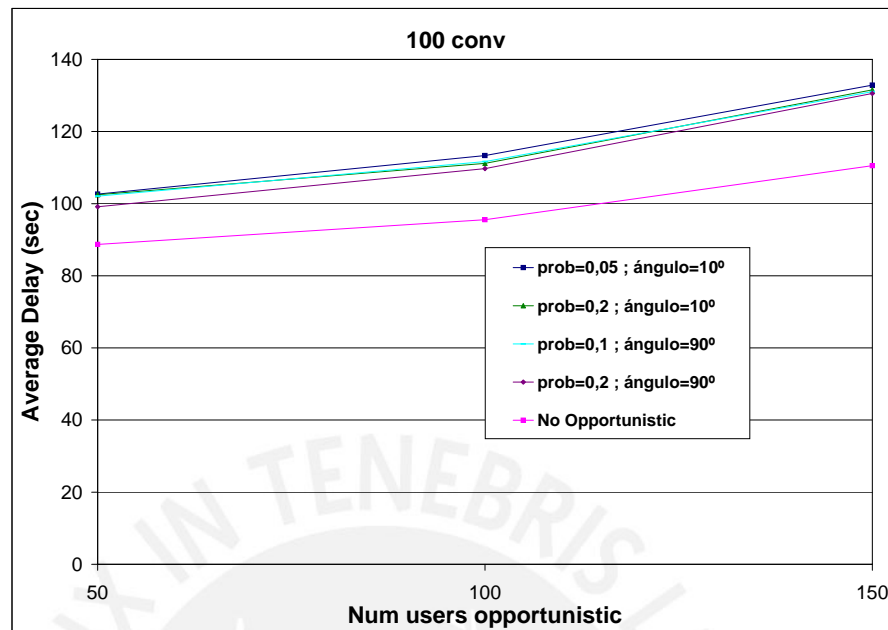


Figura 5.5: Retardo medio para usuarios opportunistic considerando variaciones de probabilidad de cambio dirección y magnitud del ángulo.

### Impacto en el throughput conversacional

Analizando las prestaciones obtenidas a partir de simulaciones que consideran los casos extremos  $p = 0,05, \varphi = 10^\circ$  y  $p = 0,2, \varphi = 90^\circ$  la figura 5.6 muestra que el impacto del algoritmo opportunistic en términos de throughput conversacional es mayor en el primer caso ya que se considera un escenario con más predictivo.

El throughput de los usuarios conversacionales es menor cuando el ángulo de variación que aplican los usuarios opportunistic es más grande y/o mayor sea la probabilidad de cambio. La diferencia de throughgput entre los casos extremos asciende a 10%.

Dado que las prestaciones obtenidas por la aplicación del algoritmo opportunistic siguen siendo positivas podemos considerar al algoritmo como un procedimiento que se aplica en variados escenarios móviles.



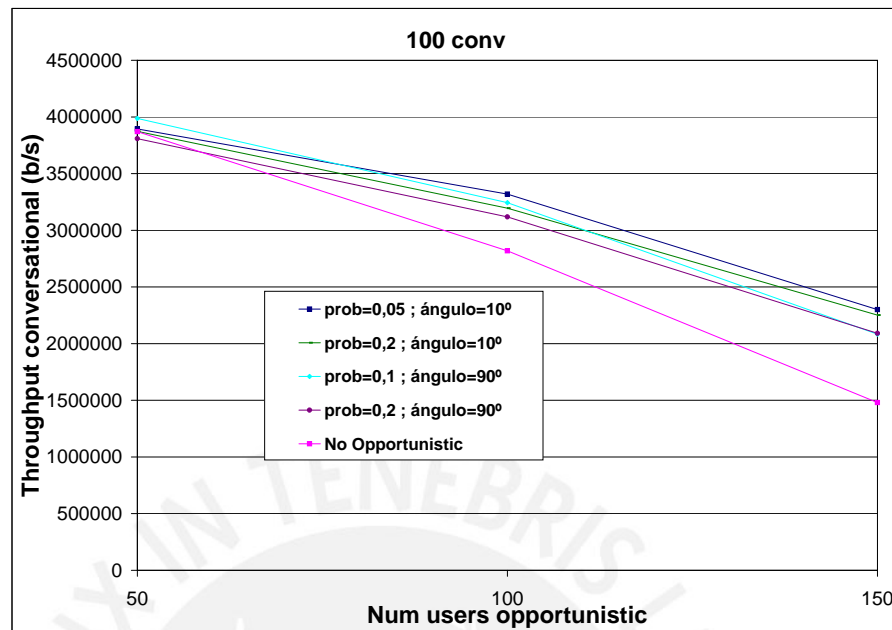


Figura 5.6: Impacto en el throughput conversacional según variaciones de probabilidad de cambio dirección y magnitud del ángulo.

### 5.3. Conclusiones

El presente apartado se centró en analizar las prestaciones que obtiene el algoritmo opportunistic de acuerdo a otros escenarios de aplicación. Se consideró un modelo de movilidad distinto (Random Walk) y también un escenario geográfico distinto en su aplicación (Carretera) con el fin de probar que en cualquier caso el algoritmo mejora las prestaciones del sistema en términos de throughput controlando siempre la degradación en términos de retardo para los usuarios opportunistic.

De acuerdo a los resultados mostrados anteriormente podemos concluir que el algoritmo opportunistic presenta mejoras en ambos casos, teniendo en cuenta que se mantuvieron los parámetros más adecuados del capítulo de optimización se concluye que la aplicabilidad del algoritmo no presenta restricciones en cuando a variaciones en el escenario de aplicación o en el esquema de movilidad.

## 6

# Variante del algoritmo opportunistic teniendo en cuenta el tiempo máximo de entrega de un fichero

En capítulos anteriores se explicó que el algoritmo opportunistic aplica para servicios que no tienen necesidades estrictas en términos de retardo. El hecho de que un usuario retarde el proceso de transmisión permite mejorar las prestaciones de la red ya que el operador realiza una gestión eficiente de los recursos radio.

Este apartado se centra en la posibilidad de prolongar aún más el tiempo de espera para la transmisión de los datos referentes a un servicio que cumpla con la característica especial de considerar un tiempo máximo de entrega. El operador en este caso tendrá un mayor margen por lo que se intentará demostrar que la red mejorará sus prestaciones muy notablemente.

Para tales efectos se pueden efectuar mejoras sobre el algoritmo opportunistic para considere este caso especial que se aplicaría por ejemplo en los siguientes casos:

- Desde el punto de vista de un usuario que establece una conexión para un servicio con grandes tolerancias al retardo (servicio FTP por ejemplo), da lo mismo que la transferencia sea instantánea o que tome  $y$  *min* extra (se debe garantizar que  $y$  no supere ciertas cotas) este margen con el que cuenta la red puede ser muy bien empleado para realizar una adecuada administración de los recursos disponibles en una red celular.

- Otra situación podría estar relacionada con el marketing, el lanzar promociones en las que se ofrecen precios bajos en la transferencia de información aceptando un cierto retardo permitiría realizar una mejor gestión de recursos, claro que estos mecanismos servirán sólo cuando la red se encuentre en estados de congestión.

Asumiendo que existe un parámetro que representa el tiempo máximo que garantiza la transmisión de todo el buffer, se puede retrasar el proceso de transmisión aún mas, lo cual permitiría postergar conexiones innecesarias y así reducir interferencias sobre los usuarios conversacionales.

## 6.1. Formulación del algoritmo

La variante del algoritmo opportunistic emplea el mismo mecanismo que el original (detallado en el capítulo 2) e incluye parámetros adicionales que se presentan posteriormente.

Véase también la figura 6.1 que muestra un esquema de tiempos relacionado a los nuevos parámetros. Por simplicidad se considera a continuación que el tiempo de generación del fichero es cero y por tanto el tiempo máximo para la transmisión es:

$$\text{tiempo de } tx_{max} = t_{gen} + \text{deadline\_time} = \text{deadline\_time} \quad (6.1)$$

- **Tiempo máximo de entrega de un fichero (*deadline\_time*):** Este parámetro se refiere al tiempo que garantiza la transmisión de todo el buffer, depende del tamaño de fichero a transmitir ( $L$ ) y la velocidad de transmisión de la RAT con menores prestaciones ( $Rb_1$ ), ya que por finalidades de cálculo se considera la velocidad de la RAT mas lenta.

$$\text{deadline\_time} \gg \frac{L}{Rb_1} \quad (6.2)$$

- **Margen de seguridad ( $X$ ):** Dado que hay un tiempo máximo para realizar toda la transmisión, se define un margen de seguridad que garantice que no se sobrepase dicho tiempo. El valor de  $X$  debe ser mayor a la unidad.

$$\text{tiempo}_{\text{instante actual}} < \text{deadline\_time} - X \frac{L}{Rb_1} \quad (6.3)$$

Capítulo 6. Variante del algoritmo opportunistic teniendo en cuenta el tiempo máximo de entrega de un fichero

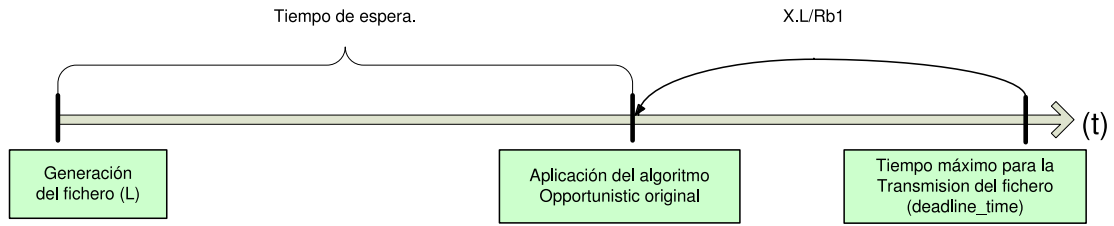


Figura 6.1: Eventos en la aplicación del algoritmo opportunistic que considera tiempo máximo de transmisión.

Considerando que de acuerdo al servicio, se satisfacen las condiciones antes mencionadas, la variante del algoritmo calcula cuanto tiempo se puede esperar siguiendo el proceso de decisión que se muestra en la figura 6.2.

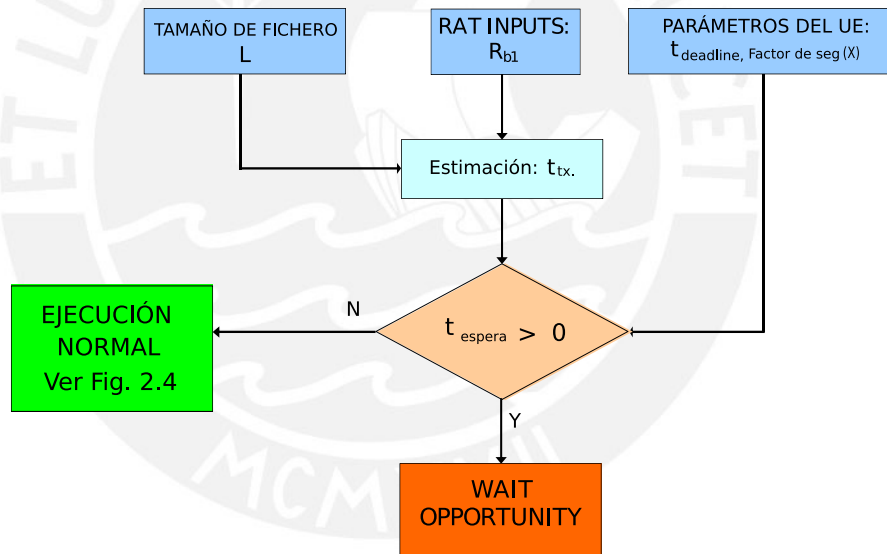


Figura 6.2: Proceso de decisión del algoritmo opportunistic considerando el tiempo máximo de entrega de un fichero.

Durante el tiempo de espera ( $tiempo_{espera}$ ) si el usuario llega a alguna zona de cobertura de mayor capacidad transmitirá el tiempo que le sea posible. Cuando el tiempo de espera se agote, se ejecutará el algoritmo opportunistic original.

## 6.2. Evaluación del algoritmo

La evaluación de la variante del algoritmo opportunistic sigue los mismos parámetros vistos en el capítulo 2. Se considera la existencia de 7 celdas UTRAN omnidireccionales de las cuales la celda central posee capacidades para realizar transmisiones en HSPA.

Se considera el modelo de movilidad “Random Walk” obteniendo trayectorias casi rectilíneas. El usuario empieza su recorrido con una dirección aleatoria moviéndose a 50 *km/h* y cada 100 *m* cambia de dirección con una probabilidad ( $p = 0,05$ ) con un ángulo de 10 grados.

### 6.2.1. Transmisión en el enlace ascendente

En el siguiente estudio se muestra el proceso de transmisión en el enlace ascendente, se debe tener en cuenta que el usuario genera ficheros cada cierto tiempo siguiendo una distribución exponencial con media de 100s. Si el usuario está conectado a UTRAN R99 hará uso de una RAB de 64 *Kbps*.

Para considerar que un usuario tiene cobertura HSPA debe recibir señal suficiente para poder transmitir con el menor formato de transporte. Si es que lo anterior no se cumple el usuario será conectado a UTRAN R99.

Los parámetros del algoritmo opportunistic son los mismos que se muestran en la tabla 4.3 y los valores de los nuevos parámetros presentados en este capítulo se muestran en la siguiente tabla 6.1.

Tiempo máximo de entrega de un fichero ( <i>deadline.time</i> )	300 <i>seg.</i>
Parámetro de seguridad ( <i>X</i> )	2

Cuadro 6.1: Parámetros considerados en la variación del algoritmo opportunistic.

### Proceso de transmisión

En este apartado se intentará explicar el modo de funcionamiento de la variante del algoritmo opportunistic teniendo en cuenta los parámetros y consideraciones mencionados anteriormente.

Capítulo 6. Variante del algoritmo opportunistic teniendo en cuenta el tiempo máximo de entrega de un fichero

La figura 6.3 muestra el esquema de movilidad que realiza un usuario del tipo opportunistic, específicamente el UE número 247 y señala las distintas fases por las que transcurre, en paralelo se presenta la figura 6.4 que muestra el proceso de transmisión, esta imagen fue obtenida del mismo usuario con el fin de contrastar valores.

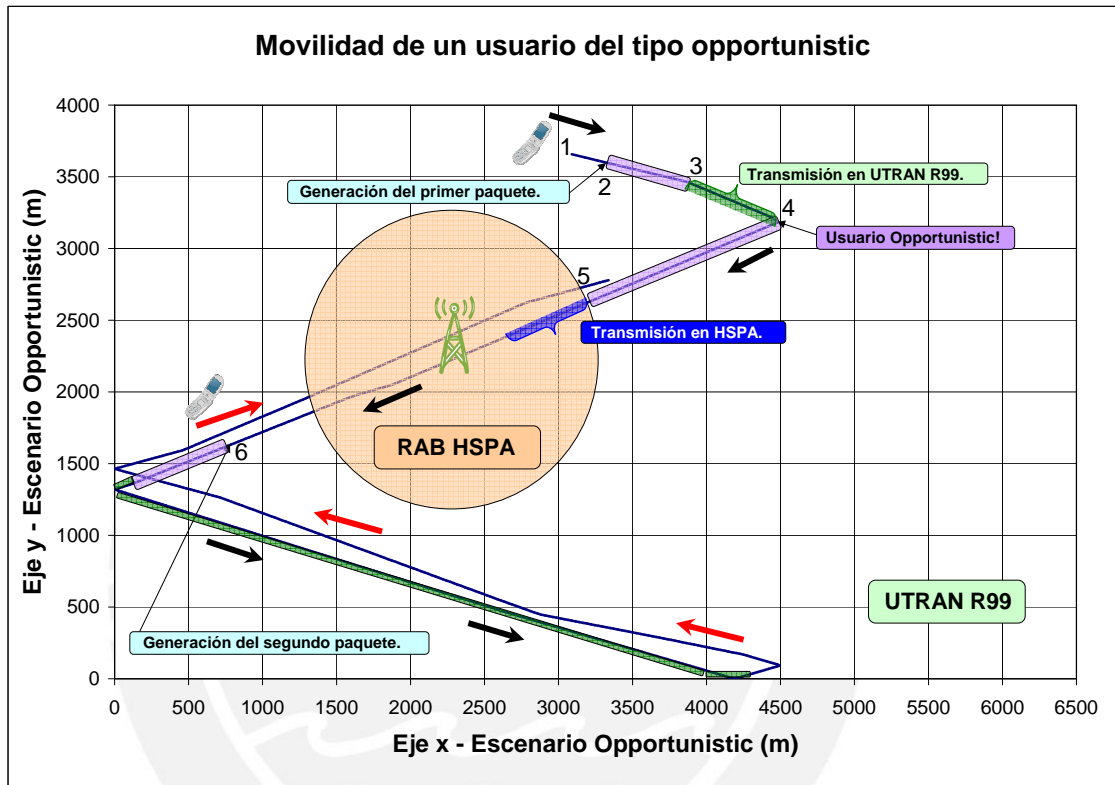


Figura 6.3: Movilidad de un usuario oportunistic aplicando el tiempo máximo de entrega de un fichero.

1. El usuario inicia su recorrido con una dirección aleatoria y cada 100 m recalcula su dirección, la línea azul muestra el recorrido del usuario durante más de 1200 segundos.
2. El usuario genera un primer paquete, teniendo en cuenta este instante de generación ( $tiempo_{gen}$ ) y de acuerdo al tiempo máximo de entrega del fichero ( $deadline\_time$ ) se calcula el tiempo de espera según 6.4.

$$tiempo_{espera} = deadline\_time - X \frac{L}{Rb_1} \tag{6.4}$$

*Capítulo 6. Variante del algoritmo opportunistic teniendo en cuenta el tiempo máximo de entrega de un fichero*

---

Durante este tiempo (6.1) el usuario sólo transmitirá si es que llega a zona de cobertura de la RAT2, en cualquier otro caso no se realiza ninguna acción de conexión, la figura 6.3 muestra en la zona de color violeta la distancia que recorre el móvil mientras transcurre el tiempo de espera.

3. Dado que el tiempo de espera termina (condición 6.3 es falsa) se ejecuta el algoritmo opportunistic original y al no cumplir sus condiciones el usuario empieza a transmitir en UTRAN R99 según muestra la zona verde de la figura.
4. El algoritmo opportunistic se recalcula con una periodicidad de 1 *seg.* por lo que en un momento se comprueba que el móvil aplica las condiciones del algoritmo original, por tanto entra al estado “keep wait opportunity” entonces no transmite hasta llegar a zona de cobertura de la RAT2.
5. En la zona de color azul se muestra que el usuario transmite todo el buffer en la celda con HSPA (RAT2).
6. Tiempo después el usuario vuelve a generar otro paquete el cual es transmitido por completo en UTRAN R99 dado que en ningún momento tuvo las condiciones para conectarse a la RAT2.

En la figura 6.4 se muestra el proceso de transmisión de los ficheros generados por el usuario opportunistic:

- Las zonas de color violeta muestran el tiempo de espera para cada fichero, que provienen del tiempo producido como resultado de la variante del algoritmo o del tiempo en el que un usuario opportunistic está en el estado keep wait opportunity.
- Las zonas de color verde muestra el tiempo de transmisión sobre la RAT1 (UTRAN R99).
- La zona de color azul muestra el tiempo de transmisión sobre la RAT2 (HSUPA).

### **Impacto en el retardo medio**

En las figuras 6.5 y 6.6 se muestra el valor medio y el CDF del retardo de transmisión para los usuarios operando en modo opportunistic, considerando un tamaño de fichero de 1 MByte y tiempo máximo para el proceso de transmisión de 300 segundos. Con fines

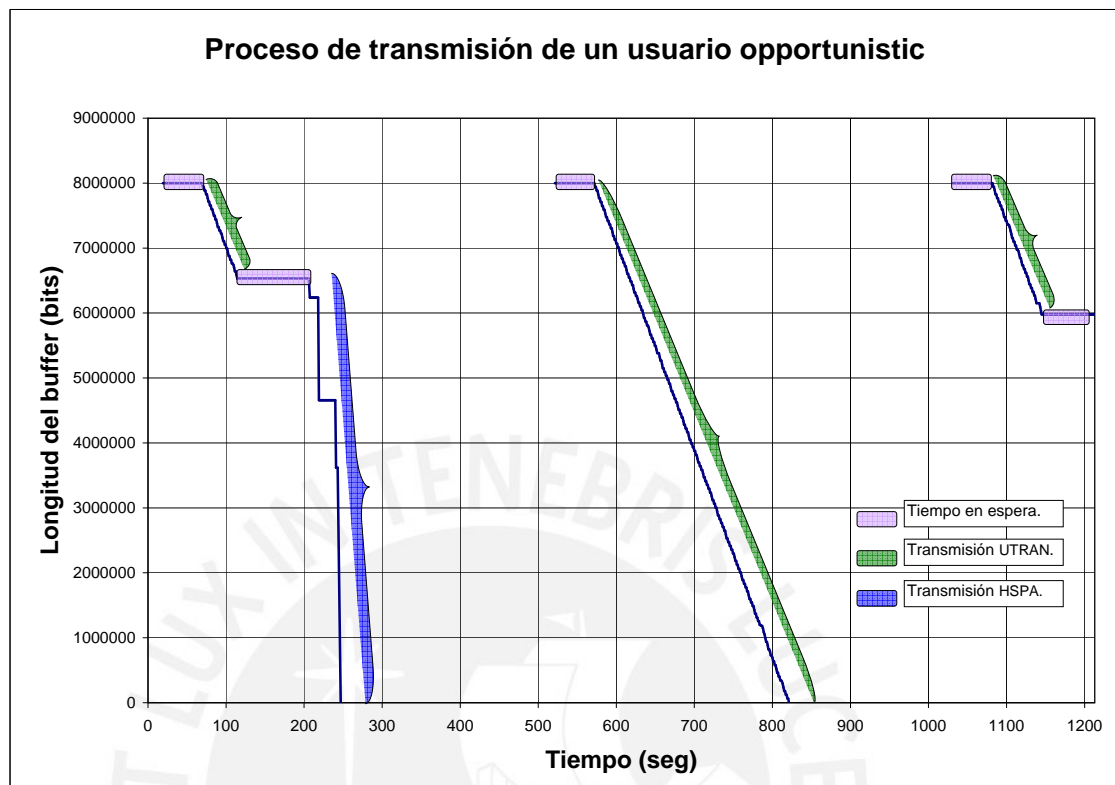


Figura 6.4: Evolución de la longitud del buffer.

comparativos se presentan también los resultados del retardo medio para los casos de aplicación y no aplicación del algoritmo original.

En la figura 6.5 se muestra claramente el incremento de retardo debido a la aplicación de la variante del algoritmo, especialmente cuando existe mayor cantidad de usuarios del tipo opportunistic. La degradación obviamente es grande ya que se aceptó un tiempo máximo de transmisión, en este contexto es importante mencionar que considerando un margen de seguridad  $X = 2$  se obtiene un retardo medio para 150 usuarios opportunistic de 232,14 *seg* por lo que se cumple con una buena diferencia el tiempo máximo de 300 segundos.

Esta diferencia en retardo es justificada ya que el usuario acepta esperar un tiempo antes de transmitir (*deadline.time*), en la figura 6.6 se muestra el CDF del retardo considerando la variación del margen de seguridad, se garantizó que el tiempo de transmisión de todo el fichero sería menor al tiempo máximo de espera, es por esto que para valores mas altos del margen de seguridad  $X = 4$  sólo el 5% de usuarios opportunistic exceden



Capítulo 6. Variante del algoritmo opportunistic teniendo en cuenta el tiempo máximo de entrega de un fichero

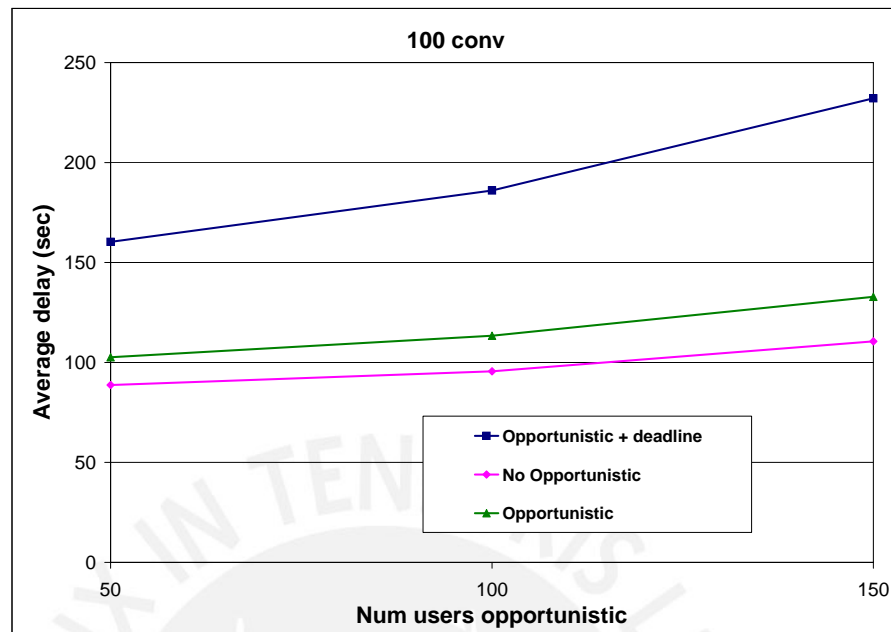


Figura 6.5: Resultados del Algoritmo Opportunistic - Retardo medio

dicho tiempo. Se puede ver también que no es conveniente poner el margen de seguridad igual a la unidad ya que la probabilidad de exceder el tiempo máximo de entrega del fichero es muy alta.

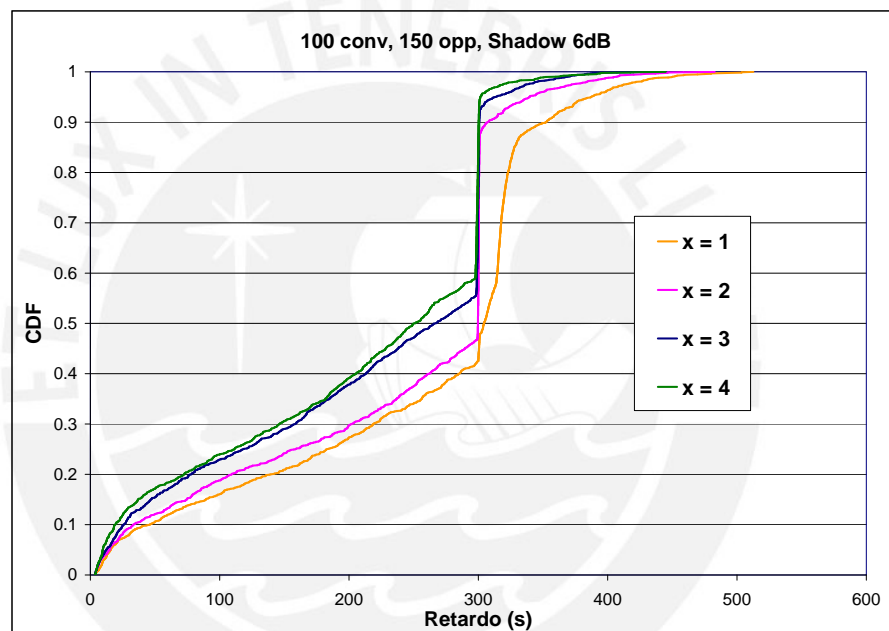


Figura 6.6: CDF del retardo para los usuarios opportunistic considerando el tiempo máximo de entrega de un fichero.

## Impacto en el Throughput Conversacional

Como resultado de la reducción de interferencia, la figura 6.7 muestra la mejora en términos del throughput para los usuarios conversacionales, gracias a la aplicación de la variante del algoritmo se logra una mejora del 84,29% por encima del algoritmo original. Las mejoras de la red con respecto al caso no opportunistic asciende a alrededor de 139,71%.

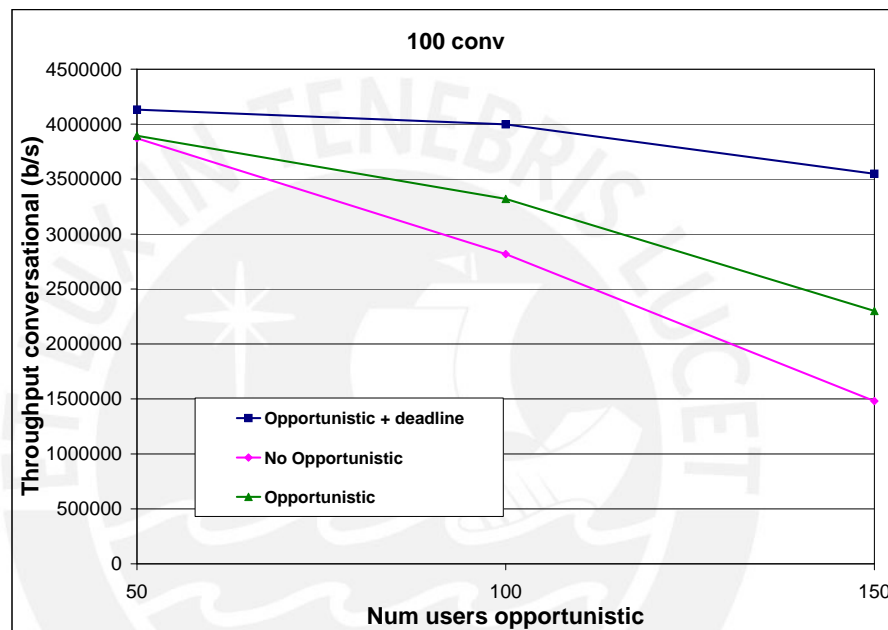


Figura 6.7: Resultados de la variante del algoritmo opportunistic - Throughput total para los usuarios del tipo conversacionales.

### 6.2.2. Transmisión en el enlace descendente

Estudios previos muestran las ventajas de aplicar la variante del algoritmo opportunistic sobre servicios que poseen características especiales, se debe mencionar que dichos análisis fueron hechos considerando transmisiones en el enlace ascendente, por tanto, para finalizar este capítulo, este apartado presenta el impacto en las prestaciones del sistema considerando transmisiones sobre el enlace descendente.

Debemos considerar que en el enlace descendente, cuando un usuario se conecta a UTRAN R99 se le asigna una RAB de 128 Kbps y cuando hace uso de HSDPA, la tasa

*Capítulo 6. Variante del algoritmo opportunistic teniendo en cuenta el tiempo máximo de entrega de un fichero*

de transmisión no sobrepasará los 12,16 Mbps asumiendo que se designan los 15 códigos para el mismo usuario.

### Impacto en el retardo medio

La figura 6.8 muestra el retardo medio para los usuarios operando en modo opportunistic y que aplican la variante del algoritmo opportunistic, considerando que el fichero que se transmite es de 1MByte y el tiempo máximo de entrega del fichero es de 300 seg. Con fines comparativos se muestran los resultados obtenidos cuando se aplica el algoritmo opportunistic original y además el caso no opportunistic.

Como era de esperarse los resultados son análogos a los mostrados anteriormente (transmisiones en el enlace ascendente), el hecho de aplicar el algoritmo opportunistic provoca una cierta degradación en términos de retardo medio. Con respecto al caso no opportunistic la figura 6.8 muestra que la degradación es de 9,21 % al aplicarse algoritmo original, también muestra que cuando se aplica la variante del algoritmo, el retardo medio obtenido por 150 usuarios opportunistic es de 120 segundos (considerando un margen de seguridad  $X = 2$ ) por lo que se cumple el tiempo máximo de entrega con mucho margen.

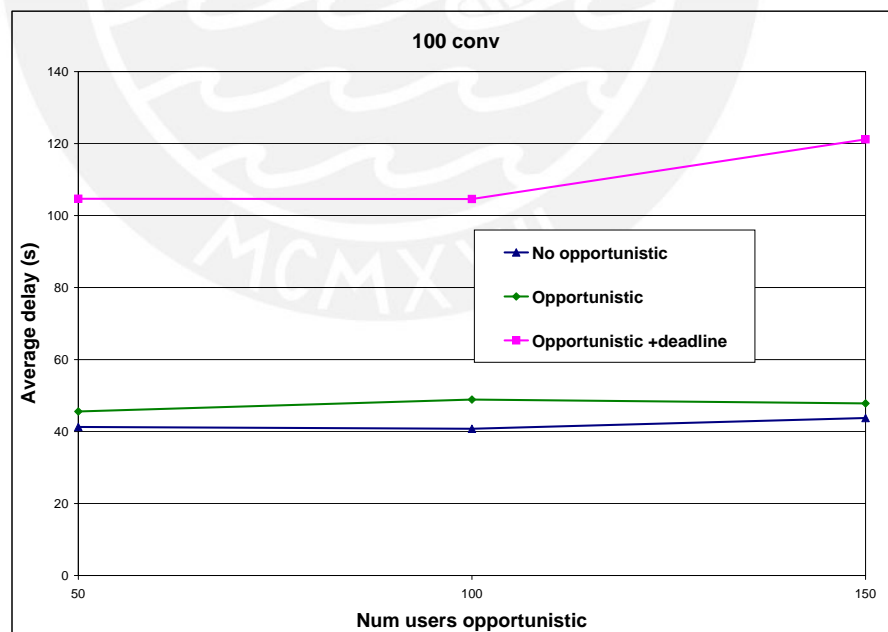


Figura 6.8: Resultados de la variante del algoritmo opportunistic - Retardo medio para el enlace descendente.

### Impacto en el Throughput Conversacional

La figura 6.9 muestra las prestaciones brindadas a los usuarios conversacionales cuando se aplica el algoritmo opportunistic (en sus dos versiones), gracias a la reducción de la interferencia cuando los usuarios opportunistic esperan a llegar a zona de cobertura de una celda con HSDPA para poder transmitir.

El impacto positivo en términos del throughput para usuarios conversacionales es de 20,02 % con respecto al caso no opportunistic considerando la aplicación del algoritmo original y 46,27 % cuando consideramos la variante.

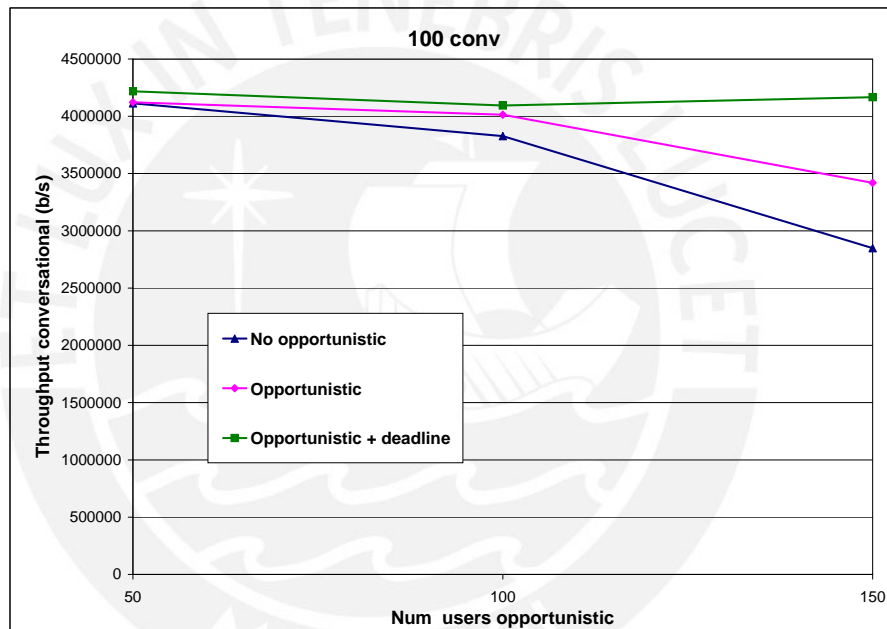


Figura 6.9: Resultados de la variante del algoritmo opportunistic - Throughput total para los usuarios del tipo conversacionales en el enlace descendente.

# 7

## Conclusiones

Teniendo en cuenta el impacto de la telefonía móvil en la actualidad, el crecimiento de los mercados asociados a éste y las aplicaciones basadas en el acceso a Internet se plantean retos para los nuevos sistemas de comunicaciones móviles, especialmente para los sistemas de tercera generación ya que estos deberán ofrecer aplicaciones bajo requerimientos específicos de calidad de servicio. Por tanto la gestión eficiente de los recursos radioeléctricos es un aspecto muy importante para lograr dichos objetivos. El presente trabajo de final de carrera ha consistido en el estudio y optimización de un algoritmo para la adecuada administración de recursos radio en el contexto de redes heterogéneas. El planteamiento realizado ha consistido en aprovechar características inherentes de algunos tipos de servicios, específicamente la tolerancia al retardo, para poder gestionar de una mejor forma las unidades radioeléctricas ofrecidas por un conjunto de tecnologías que conforman un escenario establecido. Se realizó además un trabajo de optimización de parámetros que conforman el algoritmo, así también se probó su aplicabilidad y prestaciones bajo distintos escenarios y condiciones de aplicación. A continuación se resumen las principales aportaciones del presente estudio.

1. Se ha estudiado en profundidad el algoritmo de administración de recursos radio “opportunistic”, considerando los requerimientos, ventajas y compromisos que suponía. En primer lugar se ha realizado un trabajo de optimización, teniendo en cuenta la naturaleza de los usuarios que aplican el algoritmo, el escenario de aplicación y esquemas de movilidad. De acuerdo a dichos componentes se buscó una combinación de valores que de acuerdo múltiples variables del sistema produzcan mayores

beneficios a la red, controlando siempre las degradaciones producidas. Partiendo de este modelo, se han llegado a las siguientes conclusiones:

- El escenario de aplicación del algoritmo opportunistic en el presente trabajo estuvo conformado por dos tipos de tecnologías de acceso radio, UTRAN R99 como tecnología de baja capacidad y HSPA como tecnología de alta capacidad. El algoritmo, considerando las características de UTRAN R99, es decir, gran área de cobertura pero bajas velocidades de transmisión se basó en mejorar las prestaciones de esta red para dar un mejor servicio a sus usuarios, por ejemplo los del tipo conversacional (videoconferencia). El algoritmo considera la tecnología HSPA debido a sus características de lograr grandes velocidades de transmisión pero limitadas áreas de cobertura como una posible vía de disminuir la carga de la primera red, dicha reducción se debe a la aplicación del algoritmo por los usuarios interactivos que se declaran del tipo opportunistic. En general el algoritmo opportunistic se puede emplear considerando otras redes de acceso que suplirían a HSPA por ejemplo IEEE 802.11, WIMAX, etc.
- El estudio y simulación de distintas combinaciones de los parámetros que componen el algoritmo opportunistic ha permitido la determinación de valores óptimos que al ser aplicados producen los mayores beneficios a la red en términos de throughput para usuarios conversacionales conectados a UTRAN R99, siempre controlando el retardo que experimentarán los usuarios del tipo opportunistic debido al tiempo que esperar para poder conectarse a un red de mayor capacidad.
- Dado que el proceso de optimización debe tomar en cuenta muchos factores, se ha analizado un modo basado en un indicador único que refleje en un sólo valor las aportaciones y desventajas ofrecidas por el algoritmo considerando una combinación de parámetros de entrada. Esto permitirá encontrar valores óptimos de una manera muy simple.
- Del estudio del impacto producido por cada parámetro de entrada del algoritmo, se ha observado que cada uno juega un rol importante e independiente con respecto a los otros, esto permite la manipulación individual y por tanto se obtienen mejores resultados en términos de incremento del throughput y control del retardo.

- De la comparación a nivel de prestaciones producidas por la aplicación del algoritmo opportunistic y su no aplicación, se ha apreciado que las capacidades obtenidas por la red UTRAN R99 al aplicar el algoritmo superan claramente al caso de su no aplicación, en términos de capacidad y manteniendo un retardo controlado, en el caso de los usuarios opportunistic, gracias a la monitorización constante que el algoritmo ejecuta sobre cada uno de ellos.
2. Vistos los buenos resultados logrados por el algoritmo opportunistic se ha planteado el estudio de sus prestaciones considerando otros escenarios de aplicación, por lo que se empleó un escenario lineal y otro que consideraba un esquema de movilidad muy poco predictivo. De acuerdo a los resultados obtenidos por las simulaciones correspondientes se verificó la validez del algoritmo opportunistic en estos nuevos escenarios ya que mantuvo el objetivo principal de mejorar las prestaciones del sistema en términos de throughput controlando la degradación en términos del retardo.
  3. Haciendo uso de la información obtenida en los primeros estudios, se ha propuesto una variación del algoritmo opportunistic original, el cual considera un tiempo máximo de entrega del fichero a transmitir. Se ha realizado estudios basados en simulaciones para el análisis de su rendimiento en sistemas que consideren usuarios que ejecuten servicios con muy bajas restricciones en términos de retardo. Esta variación del algoritmo logra mejoras sustanciales en términos del throughput para los usuarios conectados a UTRAN R99, llegando a obtener prestaciones superiores al 100 % con respecto a no aplicar el algoritmo.



## 8

# Líneas futuras

A partir del trabajo efectuado, se pueden realizar un conjunto de estudios, mejoras y variaciones sobre el algoritmo opportunistic, las que se enumeran a continuación:

1. El presente proyecto ha considerado tecnologías que están en constante evolución, los estándares se van actualizando proponiendo diversos cambios tanto en la arquitectura del sistema como en los componentes físicos y lógicos que lo componen, por ejemplo el hecho de declarar algunos canales físicos de transmisión como obsoletos obliga a realizar un trabajo de actualización constante. En el marco del proyecto una línea futura se basaría en la actualización del simulador de acuerdo a las últimas recomendaciones del 3GPP.
2. Con el objetivo de analizar las prestaciones del algoritmo en una red heterogénea que posea mayor y mejor diversidad de recursos radioeléctricos, sería interesante agregar nodos al simulador que representen otros tipos de tecnologías como wifi, wimax, etc.

# Índice alfabético

RRU, 12



# Bibliografía

- [1] 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP<sup>TM</sup>), editor. *3GPP TS 25.133 - Requirements for support of radio resource management (FDD)*, Valbonne, France, 2007. 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3GPP<sup>TM</sup>).
- [2] Lorenza Guipponi. *Contribution on Joint Radio Resource Management in Beyond 3G Networks*. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya., Barcelona, Spain, 2007.
- [3] Harri Holma and Antti Toskala. *WCDMA for UMTS*. Jhon Wiley & Sons, Ltd, 2004.
- [4] J. Perez (UPC) J. Ruela (INESC), editor. *ARROWS - UTRA FDD Simulators*. INESC, UPC, 2002.
- [5] Nokia Siemens Networks, editor. *Charting the Course for Mobile Broadband: Heading Towards High-Performance All-IP with LTE/SAE*, Karaportti 3, Espoo, Finland, 2007. Nokia Siemens Networks.
- [6] Jordi Pérez, Oriol Sallent, and Ramón Agustí, editors. *Opportunistic CRRM*, Barcelona, Spain, 2000. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [7] Jordi Pérez-Romero, Oriol Sallent, Ramón Agustí, and Miguel Angel Díaz-Guerra. *Radio Resource Management Strategies in UMTS*. Jhon Wiley & Sons, Ltd, June 2005.
- [8] Jordi Pérez Romero. *Contribución al Estudio de Técnicas de Acceso Aleatorio y al Análisis de la Calidad de Servicio en Sistemas de Transmisión por Paquetes para Comunicaciones Móviles basadas en CDMA*. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya., Barcelona, Spain, 2001.

- [9] Rohde Schwarz, editor. *HSPA - Technology Introduction*, Alemania, Munchen Postfach, 2007. Rohde Schwarz.
- [10] Agilent Technologies, editor. *Move Forward to what's Possible in High-Speed Cellular*, USA, 2007. Agilent.
- [11] Luis Gonzaga Alonso Zárate. *Técnicas de Acceso y Gestión de Recursos para Garantizar Calidad de Servicio en Sistemas de Comunicaciones Móviles basados en CDMA*. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya., Barcelona, Spain, 2001.

