



epsc

**Escola Politècnica Superior
de Castelldefels**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TRABAJO FINAL DE CARRERA

TÍTULO: Estudio de Técnicas de Resolución de Usuarios para Incluir Antenas Inteligentes en Sistemas WLAN

AUTOR: Óscar Alarcón García, Miguel Angel Tarrason Morón

DIRECTOR: Luis G. Alonso, Christos Verikoukis

FECHA: 30 de Junio de 2005

Título: Estudio de Técnicas de Resolución de Usuarios para Incluir Antenas Inteligentes en Sistemas WLAN

Autor: Óscar Alarcón García, Miguel Angel Tarrason Morón

Director: Luis G. Alonso, Christos Verikoukis

Fecha: 30 de Junio de 2005

Resumen

El presente proyecto se engloba dentro del ámbito de las comunicaciones inalámbricas, concretamente en las redes WLAN utilizando antenas inteligentes.

Las antenas inteligentes proporcionan un aumento del rango de cobertura de WLANs y una reducción de las interferencias. Este tipo de antenas puedan orientarse hacia una dirección según convenga para trabajar en modo direccional y tener así un mayor alcance, así como no interferir en direcciones donde no es necesario enviar la información.

El uso de antenas inteligentes conlleva la necesidad de que los usuarios posean una firma espacial la cuál contenga su posición en el plano. Por ende, existe una fase previa a la transferencia de información donde el punto de acceso debe descubrir las posiciones de todos usuarios.

El objetivo de este proyecto consiste en el estudio de una serie de algoritmos para realizar el descubrimiento de usuarios en la fase previa a la transferencia de información de un modo lo más eficiente posible.

Para estudiar dichos métodos se ha implementado una herramienta capaz de simular el proceso de descubrimiento de usuarios según el método escogido. Con el análisis de los resultados de esta herramienta se han obtenido una serie de ideas acerca de las mejoras que ofrecen este tipo de antenas en WLANs.

Title: TFC/PFC Model

Author: Óscar Alarcón García, Miguel Angel Tarrason Moron

Director: Luis G. Alonso, Christos Verikoukis

Date: Juny, 30th 2005

Overview

This final career work is related to wireless communications, concretely about WLAN nets using smart antennas.

Smart antennas provide an increase of the WLAN's cover rank and reduction of the interferences. This kind of antennas can orient themselves towards the adequate direction to work in a directional way and have a greater reach and not interfere in directions where it's not necessary to send the information.

The use of smart antennas entails the necessity that the users have a special signature that contain their position in the plane. Consequently, there exist a previous phase to the information transference where the access point must discover the position of all the users.

The main objective of this project is to study some algorithms to indetify the users before the information transference of the possible most efficient way.

In order to study this methods a tool has been implemented to simulate the process of discovery of users according to the selected method. Analyzing the results of this tool we have obtained some ideas about the improvement that this kind of antennas offer in WLAN.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestros tutores, **Luis G. Alonso** y **Christos Verikoukis**, por el incondicional apoyo prestado a lo largo de estos meses. Así como por haber estado dispuestos a resolver nuestras dudas en cualquier momento.

Oscar: Desde aquí, quiero dar las gracias:

A **Gemma** por haberme aguantado todo este tiempo y haberme apoyado en los momentos difíciles de la carrera, sin ella esto hubiera sido imposible.

A **mis padres**, los cuáles me han permitido realizar mis estudios.

A mi hermano **David** por tantos buenos consejos a lo largo de la carrera y por estar dispuesto a solucionar mis dudas en todo momento.

A mi compañero y amigo **Miguel Angel Tarrason** por haber estado siempre al pie del cañón y hacer de este TFC una buena experiencia.

Y por último, a todas esas personas que he conocido a lo largo de la carrera las cuáles han sido fuentes inagotables de ideas y discusiones.

Miguel: No quisiera cerrar esta etapa de mi vida sin agradecer a los tantísimo amigos y compañeros conocidos a lo largo de estos últimos años el apoyo ofrecido en todo momento, en especial a:

Elena Cabrer, por ser mi primera alma durante el primer y único año de estudiante en Campus Nord.

Daniel Osorno, por aportarme tantísimos conocimientos y saber hacer de lo complejo algo muy simple.

Albert Lacambra, por estar ahí en diversos momentos difíciles de mi etapa académica y ayudarme a tomar decisiones complicadas.

David Ruiz, buen amigo y primer compañero de pupitre durante mi estancia en esta escuela.

Ignacio Javier Borraz, mi principal compañero en las tantísimas horas de laboratorio y que tantas ganas e ímpetu por afrontar los problemas técnicos ha demostrado.

Rubén Gómez, compañero y amigo de prácticas y múltiples charlas, quien me ha hecho ver las cosas desde un punto de vista diferente pero muy válido durante los últimos meses principalmente.

Alberto Martínez, gran amigo desde mi infancia quien siempre me ha ayudado tanto en lo profesional como en lo personal y a quien debo mucho como persona.

Y como no, a mi compañero de TFC y amigo **Óscar Alarcón** quién tanta ilusión y constancia ha demostrado a lo largo de estos últimos cuatro meses.

A ellos y a todas aquellas personas a quien no he nombrado pero sí he tenido la oportunidad de conocer, tanto fuera como dentro de la universidad.

Y en especial, a mis padres **Saturnino** y **Maria Ángeles** por luchar, apostar y confiar en su hijo plenamente. A ellos más que a nadie les debo buena parte del esfuerzo y dedicación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS	2
1.1. Introducción	2
1.2. Redes inalámbricas	3
1.3. Regulación de las comunicaciones inalámbricas	3
1.4. WLAN	5
1.5. Antenas inteligentes	6
1.5.1 Tipos de alcances	7
CAPÍTULO 2. TEORÍA DE RESOLUCIÓN DE USUARIOS	10
2.1. Métodos de resolución de usuarios	10
2.2. Descripción de los métodos	11
2.2.1 Omni/Direc (Sin Contianda/Sin Contianda)	11
2.2.2 Direc/Direc (Sin Contianda/Sin Contianda)	12
2.2.3 Omni/Direc (Sin contianda/Con Contianda)	13
2.2.4 Direc/Direc (Con contianda/Con contianda)	15
2.3. Modelo Analítico	16
2.4. Conocimientos del AP	17
2.4.1 AP Usuarios Totales	17
2.4.2 AP Usuarios Totales y Estimación	18
2.4.3 AP Usuarios Totales y Distribución	18
2.5. Resolución de contianda	19
2.6. Usuarios con movilidad	20
2.6.1 Movilidad de los usuarios	20
2.6.2 Métodos de segunda búsqueda	21
2.6.2.1 Omni/Direc (Sin Contianda/Sin Contianda)	21
2.6.2.2 Direc/Direc (Sin Contianda/Sin Contianda)	23
2.6.2.3 Omni/Direc (Sin Contianda/Con Contianda)	23
2.6.2.4 Direc/Direc (Con Contianda/Con Contianda)	24

CAPÍTULO 3. EL SIMULADOR.....	25
3.1 Introducción a nuestro simulador	25
3.2 Detalles de los distintos métodos de resolución.....	27
3.2.1 Omni/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda).....	27
3.2.2 Direc/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda).....	28
3.2.3 Omni/Direc (Sin contienda/Con Contienda).....	29
3.2.4 Direc/Direc (Con contienda/Con contienda).....	31
CAPÍTULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	32
4.1 Definiciones previas.....	32
4.1.1 Los usuarios	32
4.1.2 Unidades de medida.....	32
4.2 Descripción del escenario	32
4.2.1 Parámetros del escenario.....	32
4.2.2 Movilidad de los usuarios	33
4.3 Resultados	34
4.3.1 Resultados sin movilidad.....	34
4.3.1.1 Omni/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda).....	36
4.3.1.2 Direc/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda).....	38
4.3.1.3 Omni/Direc (Sin Contienda/Con Contienda).....	42
4.3.1.4 Direc/Direc (Con Contienda/Con Contienda).....	46
4.3.1.5 Conclusiones.....	50
4.3.2 Resultados con movilidad4.....	51
4.3.2.1 Omni/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda).....	51
4.3.2.2 Direc/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda).....	52
4.3.2.3 Omni/Direc (Sin Contienda/Con Contienda).....	53
4.3.2.4 Direc/Direc (Con Contienda/Con Contienda).....	54
4.3.2.5 Conclusiones.....	54
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN ...	56
5.1 Conclusiones	56
5.2 Líneas futuras de investigación.....	56
CAPÍTULO 6. REFERENCIAS	58

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el mercado de las telecomunicaciones ha sufrido un gran aumento de la demanda de redes que utilizan tecnologías inalámbricas. El auge de este tipo de tecnologías no es fruto de la casualidad ya que liberan toda la infraestructura cableada que existe en las comunicaciones con cables y permite a los usuarios acceder a los recursos de la red sin necesidad de permanecer siempre en un único lugar.

La motivación de la sociedad para utilizar redes IP inalámbricas con anchos de banda elevados en entornos de trabajo, ocio y demás permitió el desarrollo y expansión de las WLAN, Wireless Local Area Network.

A pesar del continuo desarrollo de las WLAN, siguen existiendo ciertas limitaciones en términos de alcance y eficiencia entre otros. Por lo que se refiere al alcance, dentro de un entorno wireless si los usuarios se alejan demasiado del punto de acceso pueden llegar a perder la comunicación con éste.

Una de las líneas de investigación que se está llevando a cabo para la WLAN consiste en la utilización de antenas inteligentes que puedan orientarse según las necesidades y trabajar en modo direccional para tener un mayor alcance y una reducción de las interferencias al enfocarse las transmisiones únicamente en la dirección deseada.

La utilización de antenas inteligentes implica que los usuarios tengan una firma espacial que indique cuáles son sus coordenadas en el espacio. En consecuencia, existe una fase previa a la transferencia de información donde el punto de acceso debe descubrir la posición de todos usuarios.

El objetivo de este proyecto consiste en el estudio de una serie de algoritmos para realizar el descubrimiento de usuarios en la fase previa a la transferencia de información del modo más eficiente posible. Para cada una de las técnicas propuestas se analizará su rendimiento y se hará una comparativa de prestaciones.

Este proyecto se ha dividido en 5 capítulos. Un primer capítulo donde se hace una pequeña introducción a las comunicaciones inalámbricas y las antenas inteligentes. En un segundo capítulo se describe cada uno de los métodos de los métodos estudiados y se relaciona con el modelo analítico correspondiente. Dentro del tercer capítulo se explica como ha sido implementado el simulador que ha permitido realizar el estudio de los métodos de descubrimiento. Los resultados obtenidos con el simulador se han analizado en el cuarto capítulo donde se han visto las características de cada método. Para finalizar, en el quinto capítulo una vez a analizados los métodos se escriben las conclusiones a las que se han llegado y se hace una mención sobre futuras líneas de investigación en WLAN utilizando antenas inteligentes.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LAS v COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

1.1 Introducción

Se entienda por comunicación inalámbrica a aquella que se lleva a cabo sin el uso de cables; por ejemplo, una comunicación mediante bluetooth entre una PDA y un ordenador portátil.

A pesar de que las tecnologías inalámbricas basadas en elementos tales como el láser, infrarrojo y las ondas de radio principalmente, existen desde hace más de tres décadas, su implantación comercial no se ha llevado a cabo hasta hace unos años.

No resulta difícil recordar el primer servicio que se liberó del cable. Hablamos de la telefonía móvil, la cuál apareció en los años 70 y poco a poco se ha ido desarrollando hasta superar en la actualidad al número de líneas telefónicas cableadas.

La revolución de los ordenadores personales y el espectacular desarrollo de Internet están provocando que la informática esté presente en muchos ámbitos de nuestra vida diaria. Por ello, no es de extrañar que podamos encontrar dispositivos inalámbricos en coches, sistemas de calefacción e incluso en juguetes para niños. En este entorno cada vez son más el número de soluciones inalámbricas: GSM, UMTS, Wi-Fi, Bluetooth, Dect, GPRS, 3G, LMDS, etc. [1].

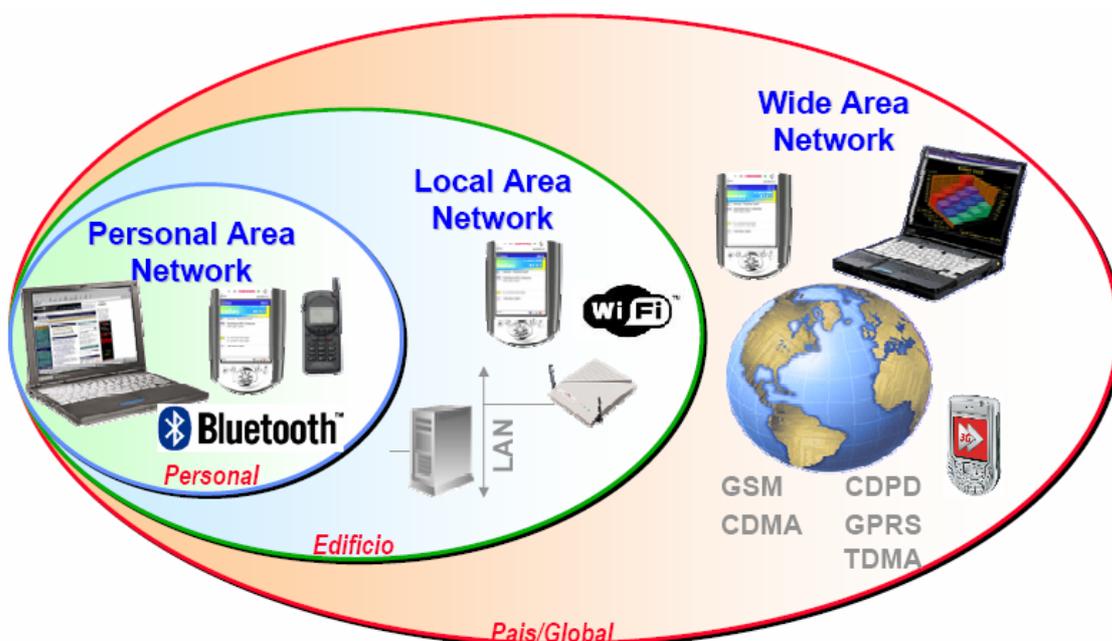


Fig. 1.1 Tipos de redes según extensión

1.2 Redes inalámbricas

Una red inalámbrica es un conjunto de dispositivos que se comunican entre ellos sin cables. Aunque puede parecer a priori que las soluciones inalámbricas estén pensadas para las necesidades de comunicaciones de las empresas, este tipo de comunicaciones son cada vez más frecuentes también dentro del hogar.

A nivel de obra, implementar una red inalámbrica requiere una infraestructura mucho más simple que en el caso de una red cableada. Como aspecto negativo de este tipo de redes, cabe destacar que su ancho de banda de transmisión (11-54 Mbps) es menor que el de las redes cableadas (1-10 Gbps).

Por otro lado, a nivel de coste sí es cierto que en general la tecnología sin hilos es ligeramente más cara. No obstante, en algunos casos es prácticamente inviable utilizar tecnologías con hilos debido a diferentes factores como: Grandes distancias ó problemas físicos.

Podemos clasificar los diferentes tipos de redes inalámbricas según su alcance:

- **WPAN:** Wireless Personal Area Network (redes de área personal).
- **WLAN:** Wireless Local Area Network (redes de área local).
- **WMAN:** Wireless Metropolitan Area Network (redes de área metropolitana).
- **CELULAR**

Tabla 1.1 Tipos de redes inalámbricas según su alcance

WPAN	WLAN	WMAN	CELULAR
<10 metros	Edificio – Campus	Ciudad	Región Global
802.15 Bluetooth IrDA	802.11 WiFi HomeRF	802.16 LMDS MMDS	2G 3G

1.3 Regulación de las comunicaciones inalámbricas

Uno de los aspectos más importantes para el desarrollo de una tecnología inalámbrica es su regulación. En casa país existe un organismo que se encarga de regular el uso del espectro radioeléctrico, es por ello que resulta necesario regular las bandas de frecuencia utilizadas para las comunicaciones.

El organismo que se encarga de regular el espectro asegura que cada servicio que hace uso de él tenga las suficientes garantías y que no existan interferencias con otras comunicaciones. Es por esto que la mayoría de frecuencias no pueden ser utilizadas sin una licencia. También existen

frecuencias libres en las bandas de 2,4GHz y de 5GHz que se pueden utilizar sin licencia.

Dentro de las bandas libres donde, tal como hemos comentado en el párrafo anterior, no es necesario una licencia sí que se requiere cumplir unas determinadas características tales como máxima potencia de emisión, técnica de modulación, etc.

En la siguiente tabla se detallan las características que han de cumplir las comunicaciones dentro de las bandas libres según en el área geográfica donde se establezcan.

Tabla 1.2 Normas y Características de las comunicaciones inalámbricas

Estándar	Área	Frecuencias	Potencia máxima
802.11,11b i 11g	Nord Amèrica	2,4-2,4835 GHz	1.000mW
	Europa	2,4-2,4835 GHz	100 mW
	França	2,4465-2,4835 GHz	100 mW
	Espanya	2,445.2,475 GHz	100mW
	Japó	2,471-2,497 GHz	10 mW/MHz
802.11a	Nord Amèrica	5,15-5,25 GHz	50 mW
		5,25-5,35 GHz	250 mW
		5,725-5,825 GHz	1.000 mW
HiperLAN/2	Europa	5,15-5,25 GHz	200 mW
		5,25-5,35 GHz	200 mW
		5,47-5,725 GHz	1.000 mW
HiSWAN	Japó	5,15-5,35 GHz	200 mW

1.4 WLAN

Este proyecto se centra en el estudio de escenarios propios de redes inalámbricas de área local, en inglés Wireless Local Area Networks (WLAN).

Este tipo de redes están pensadas para cubrir comunicaciones entre terminales u ordenadores en distancias relativamente cortas, por ejemplo una sala, un edificio o grupos de edificios. En las WLAN la comunicación entre los dispositivos puede ser de dos tipos: Ad-Hoc y Modo infraestructura.

En las comunicaciones inalámbricas de tipo ad-hoc los terminales se comunican directamente entre ellos sin utilizar ningún nodo intermedio. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de este tipo de redes:



Fig. 1.2 Ejemplo de comunicación inalámbrica Ad-Hoc

Sin embargo, en las comunicaciones inalámbricas en modo infraestructura los terminales se comunican a través de un nodo central llamado punto de acceso, a partir de ahora AP. Este tipo de redes pueden ser completamente inalámbricas o estar compuestas alguna parte cableada. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de este tipo de redes:



Fig. 1.3 Ejemplo de comunicación inalámbrica en modo infraestructura

La investigación desarrollada en este proyecto se ha realizado en base a comunicaciones WLAN en modo infraestructura.

En este tipo de WLANs los AP transmiten la señal en modo omnidireccional, es decir, repartiendo la misma potencia de señal en todas direcciones. Una de las problemáticas de este tipo de comunicaciones es el alcance de las mismas. En este aspecto, una de las líneas de investigación abiertas en la actualidad consiste en implementar APs con antenas inteligentes capaces de realizar comunicaciones con un mayor alcance [2].

1.5 Antenas inteligentes

La demanda del incremento de la capacidad de las redes inalámbricas ha motivado la reciente búsqueda hacia el desarrollo de algoritmos y estándares que exploten el espacio de manera selectiva. Como consecuencia de esta demanda se está investigando sobre el diseño de antenas inteligentes.

Los sistemas de antenas inteligentes proporcionan oportunidades para incrementar la capacidad del sistema, proporcionando calidad de servicio (QoS), control de potencia y alargar la duración de las baterías de las unidades portátiles

Diversos proyectos y pruebas han reforzado las mejoras de las antenas inteligentes. Con algunas de estas pruebas se ha comprobado que el alcance de las antenas pueden llegar a aumentar en un 40 %.

El funcionamiento de muchos sistemas de ingeniería se entiende realmente cuando son comparados con el funcionamiento de un sistema del cuerpo humano. Por lo tanto, para dar una idea de cómo trabajan estos sistemas vamos a imaginarnos la situación donde dos personas hablan dentro de una habitación a oscuras y una tercera persona escucha lo que dicen tal y como se representa en la siguiente figura. [3]

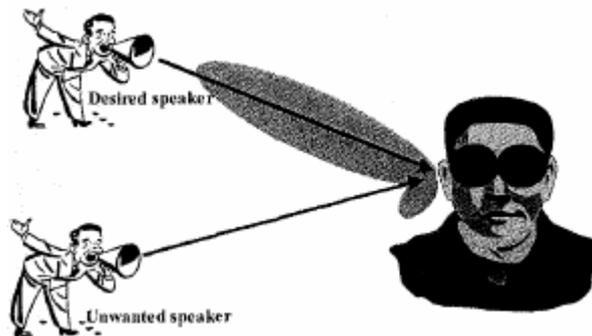


Fig. 1.4 Analogía humana a los sistemas de Antenas Inteligentes

La persona que escucha a una persona que habla es capaz de determinar su localización si este se mueve dentro de la habitación porque la voz llega a cada sensor acústico (la oreja) en un instante de tiempo diferente. Eso es posible ya que el oyente es capaz de calcular la dirección de la persona que habla gracias a las diferencias de retardo recibidas por los dos oídos.

En el caso que la segunda persona también hable, el cerebro del oyente es capaz de ignorar las interferencias no deseadas propias de la segunda persona.

Los sistemas de antenas inteligentes trabajan del mismo modo. En este caso, la antena es el oído humano y el DSP de la antena es el cerebro. Análogamente, ahora el DSP calcula la diferencia de retardo y, por siguiente, la posición del usuario con quien se comunica.

Para este proyecto se han utilizado APs con una única antena inteligente por lo que este no puede calcular la posición de los usuarios al recibir señal de ellos.

Las antenas inteligentes, a diferencia de las antenas convencionales, pueden trabajar de dos modos distintos:

- **Modo omnidireccional.** La antena en este modo funciona exactamente igual que las antenas convencionales es decir, emite señal con la misma intensidad hacia todas direcciones.
- **Modo direccional.** En este modo, la antena emite señal en una sola dirección y con un cierto ángulo de apertura. La consecuencia de transmitir en este modo se traduce en un mayor alcance hacia la dirección donde emite la antena debido a que ésta concentra todo su espectro de potencia en un rango de obertura mucho menor.

1.5.1 Tipos de alcances

Según en el modo en que trabaje la antena, su alcance será uno u otro.

Si la antena trabaja en modo direccional su alcance será mucho mayor que si lo hace en modo omnidireccional ya que, en este caso, concentra toda su potencia en un rango menor.

Definimos **zona**, como la **región donde se encuentran todos los usuarios**. Esta zona se divide en dos subzonas (ver Fig. 1.5):

- **Subzona Broadcast.** Esta zona se corresponde con el rango de alcance de la antena en modo omnidireccional.
- **Subzona Beamforming.** Esta zona esta dividida en n beams. Un beam se define como el rango de alcance de la antena en modo direccional para un cierto ángulo de apertura. Según el ángulo de apertura que se utilice habrá más o menos beams.

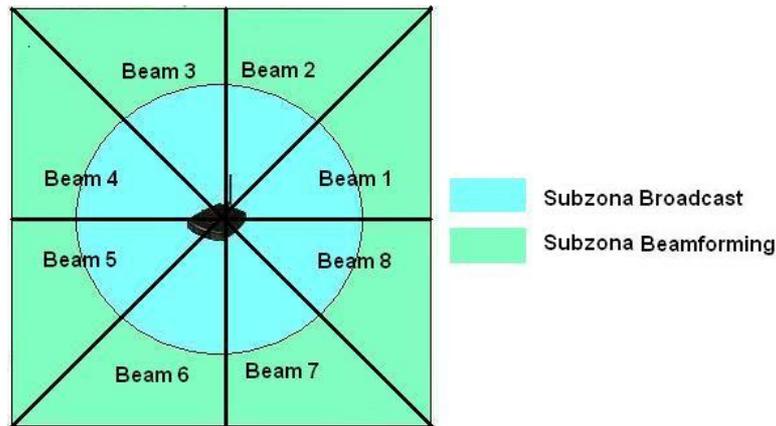


Fig 1.5 Zona y Subzonas

Cabe comentar que pese a que en el dibujo la cobertura direccional (beams) es de forma triangular, en realidad la cobertura es un lóbulo redondeado donde existe una distancia máxima (ver Fig. 1.6).

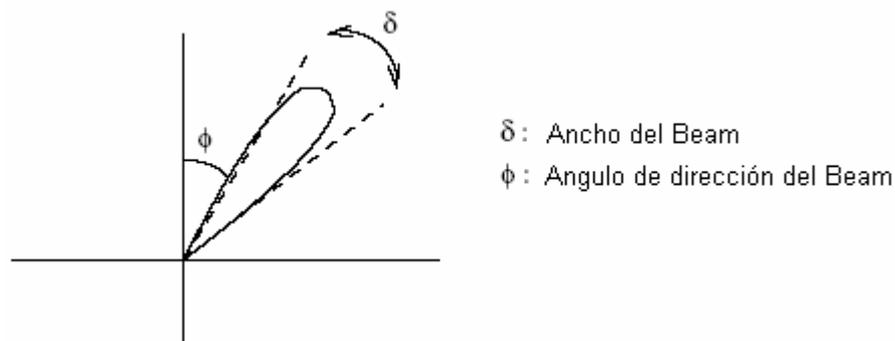


Fig 1.6 Lóbulo del Beam [4]

La característica principal de este tipo de antenas es que pueden orientar la señal que emiten hacia una cierta dirección donde se encuentra el usuario con el que se realiza la comunicación. Para esto, cada usuario debe tener, además de su propio identificador, una firma espacial que indique las coordenadas de la posición dentro de la zona.

El AP utiliza la firma espacial de cada usuario para saber hacia donde debe enfocar la antena en cada caso.

Obviamente, existe una fase previa a la transmisión de datos entre el AP y los usuarios. En esta fase, el AP debe descubrir cuáles son los usuarios que se encuentran dentro de la zona y obtener sus firmas espaciales.

Una vez el AP tiene conocimiento de la firma espacial de todos y cada uno de los usuarios se encuentra en condiciones de iniciar una transferencia de información.

Este proyecto se basa en el análisis de distintos métodos de descubrimiento de usuarios dentro de la fase previa descrita anteriormente.

CAPÍTULO 2. TEORÍA DE RESOLUCIÓN DE USUARIOS

2.1 Métodos de resolución de usuarios

Para el estudio del sistema se han considerado 4 métodos de resolución de usuarios. Como definición previa, se entiende por resolución de usuarios al proceso mediante el cuál el AP obtiene el identificador y la firma espacial de cada uno de los usuarios.

Los métodos pueden tener una o dos fases, además, las segundas fases pueden ser con contienda o sin ella.

Métodos con una fase:

- **Direc/Direc (Sin contienda/Sin contienda):** Una sola fase con la antena del AP en modo direccional y sin contienda.
- **Direc/Direc (Con contienda/Con contienda):** Una sola fase con la antena del AP en modo direccional y con contienda.

Métodos con dos fases:

- **Omni/Direc (Sin contienda/Sin contienda):** Dos fases, la primera con la antena del AP en modo omnidireccional y la segunda en modo direccional. Ambas fases son sin contienda.
- **Omni/Direc (Sin contienda/Con contienda):** Dos fases, la primera con la antena del AP en modo omnidireccional y la segunda en modo direccional. La primera fase sin contienda y la segunda con contienda.

En la página siguiente se detallan cada uno de los cuatro métodos listados anteriormente:

2.2 Descripción de los métodos

2.2.1 Omni/Direc (Sin contienda/Sin contienda)

Este método está compuesto por dos fases, una primera fase en la que la antena trabaja en modo omnidireccional y una segunda en la que trabaja de manera direccional.

En la primera fase, el AP se dedica a encontrar todos los usuarios situados dentro del alcance de la antena en modo omnidireccional. Para ello, el AP emite una pregunta (Polling Message) que contiene el identificador del usuario en cuestión, dicha pregunta tiene una duración de una unidad de tiempo.

En el caso que el usuario no responda, el AP interpreta que no se encuentra dentro de la Subzona broadcast y procede a preguntar por el siguiente usuario.

En cambio, si el usuario se encuentra dentro de la Subzona broadcast, éste responde al AP enviando un mensaje (P_ACK) que contiene su firma espacial, de duración dos unidades de tiempo.

Una vez el AP recibe el P_ACK, contesta al usuario enviándole un mensaje de confirmación (ACK) de duración una unidad de tiempo. Este mensaje indica que el usuario está resuelto.

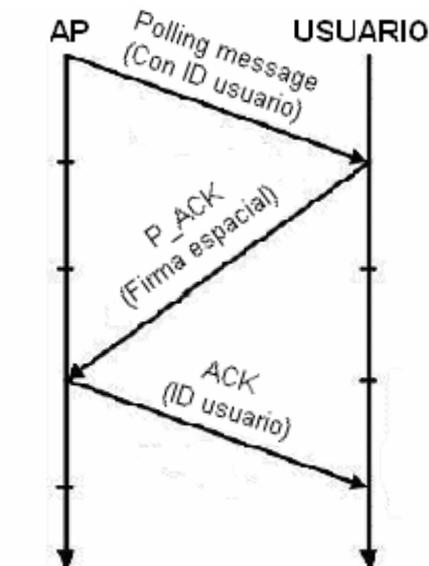


Fig. 2.1 Diálogo AP-Usuario Sin Contienda

El proceso descrito en la Fig. 2.1 se repite de manera secuencial para cada usuario.

En la segunda fase, la antena del AP trabaja en modo direccional. En esta fase, se debe encontrar a los usuarios que quedan por resolver. Para ello, el AP recorre todos los beams de manera secuencial empezando por el primero, preguntado en cada uno de los beams por los usuarios que restan por resolver.

Una vez el AP ha recorrido todos los beams, todos los usuarios han sido resueltos y, por lo tanto, el método finaliza.

Los diálogos entre usuario y AP de esta segunda fase son exactamente iguales que en la primera. En la fig 2.2 podemos ver las dos fases del método.

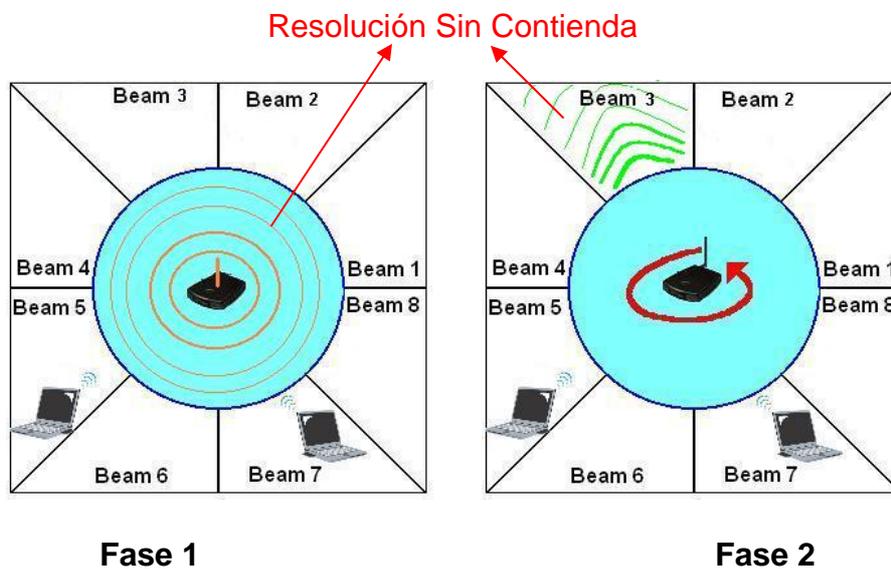


Fig. 2.2 Fases de resolución en Omni/Direc (Sin contienda/Sin Contienda)

2.2.2 Direc/Direc (Sin contienda/Sin contienda)

Este método, a diferencia del anterior, sólo tiene una fase. Durante todo el procedimiento de resolución de usuarios, el AP trabaja en modo direccional.

Del mismo modo que en la segunda fase del método anterior, en este método el AP recorre todos los beams de manera secuencial empezando por el primero, preguntado en cada uno de los beams por los usuarios que restan por resolver.

Una vez el AP ha recorrido todos los beams, todos los usuarios han sido resueltos y, por lo tanto, el método finaliza.

Los diálogos entre usuario y AP en este método son exactamente iguales que en el método anterior (Ver Fig. 2.1). En la Fig. 2.3 podemos ver el funcionamiento del método.

Resolución libre de contienda

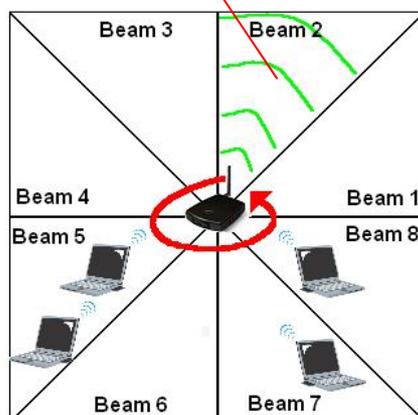


Fig. 2.3 Fase de resolución en Direc/Direc (Sin contienda/Sin Contienda)

2.2.3 Omni/Direc (Sin contienda/Con contienda)

Este método, del mismo modo que el método del apartado 2.2.1, está compuesto por dos fases, una primera fase en la que la antena trabaja en modo omnidireccional y una segunda fase en la que trabaja en modo direccional.

La primera fase de este método es exactamente igual que la primera fase del método del apartado 3.2.1, donde el AP busca de manera secuencial todos los usuarios que se encuentran dentro de la Subzona broadcast.

Una vez finalizada la primera fase, el AP inicia la segunda fase colocando su antena en modo direccional. Esta segunda fase es con contienda y se resuelve tal y como está explicado en el apartado 2.4.

Inicialmente la antena del AP se orienta hacia el primer Beam, y va avanzando de manera secuencial hasta llegar al último beam.

Los mensajes intercambiados entre AP y usuarios se describen en la siguiente figura.

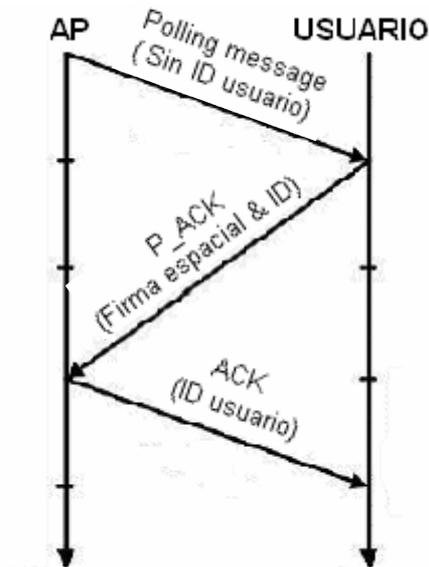


Fig. 2.4 Diálogo AP-Usuario en fase con contienda

En la fig 2.5 podemos ver las dos fases del método.

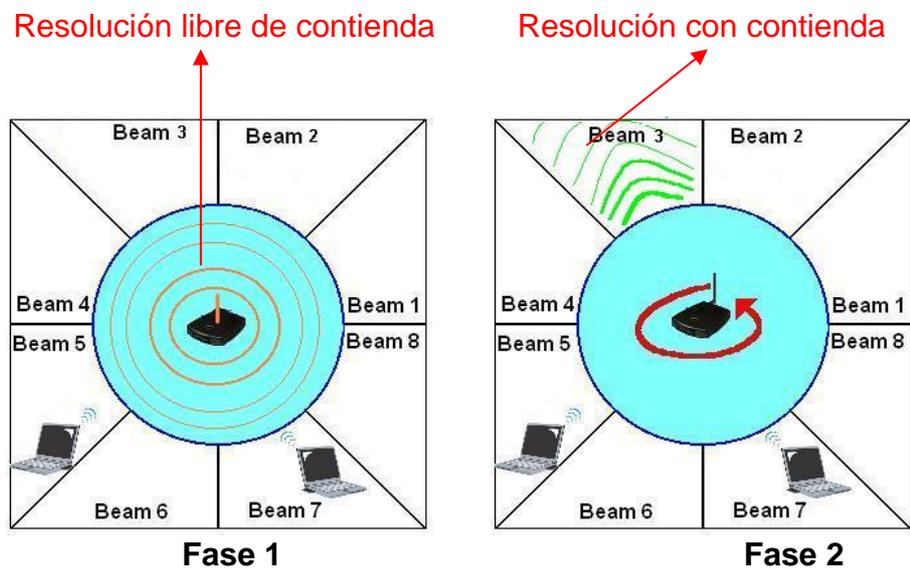


Fig. 2.5 Fases de resolución en Omni/Direc (Sin contienda/Con Contienda)

2.2.4 Direc/Direc (Con contienda/Con contienda)

Este método se desarrolla en una única fase. El funcionamiento de esa fase es exactamente igual que la segunda fase del método anterior, con la salvedad que, en este caso todos los usuarios de la zona se resuelven con la antena en modo direccional y con contienda.

En este método, los diálogos entre el AP y el usuario son exactamente los mismos que en método anterior (ver Fig. 2.4)

Del mismo modo que en el método anterior, en el caso ideal donde el AP conociera la distribución de los usuarios dentro de la zona el tiempo total de resolución de usuarios sería menor.

En la fig. 2.6 podemos ver el funcionamiento del método.

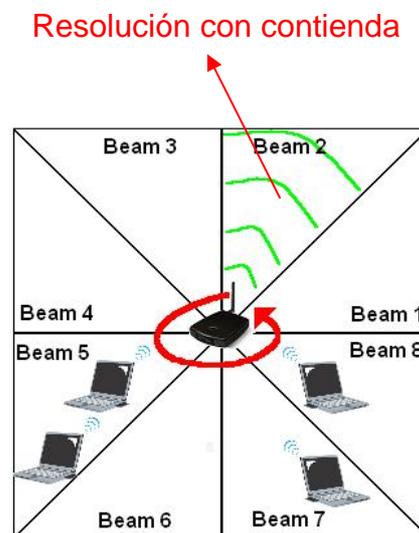


Fig. 2.6 Fase de resolución en Direc/Direc (Sin contienda/Sin Contienda)

2.3 Modelo Analítico

A continuación detallamos una serie de expresiones algebraicas y analíticas utilizadas para estudiar el retardo de resolución de usuarios de manera teórica.

Las expresiones algebraicas utilizadas para estudiar nuestro sistema son las que se muestran a continuación y están basadas en cálculos presentados en [4]:

- Para las zonas sin contienda el retardo para resolver N usuarios es:

$$D'(N, B) = N \times \left(\frac{B+1}{2} + X_p + X_{p-a} + X_a \right) \quad (1)$$

Donde B , X_p , X_{p-a} y X_a significan Numero de Beams, duración del Polling message, duración del P_ACK y duración del ACK respectivamente.

- Para las zonas con contienda el retardo para resolver N usuarios es:

$$D(N, B) = \sum_{i=0}^N q_{i,N,B} [d(i) + D(N-i, B-1)] \quad (2)$$

Donde B significa Número de Beams. Además, $q_{i,N,B}$ y $d(i)$ son expresiones que detallamos a continuación:

$$q_{i,N,B} = \binom{N}{i} \left(\frac{1}{B} \right)^i \left(1 - \frac{1}{B} \right)^{N-i} \quad (3)$$

Donde $q_{i,N,B}$ indica la probabilidad que i de los N usuarios estén dentro del beam.

$$d(n) = \sum_{k=0}^n P_{K,n,L} [X_p + X_{p-a} + L \cdot X_{p-a} + k \cdot X_a + d(n-k)] \quad (4)$$

Donde $d(n)$ y n significan retardo para resolver los n usuarios del beam y L el número de slots del CRI.

Además, $p_{k,n,L}$ indica la probabilidad que i de los n usuarios sean resueltos en los L slots del CRI.

$$p_{i,n,L} = p_s(n) \cdot p_{i-1,n-1,L-1} + (1 - p_s(n)) \cdot p_{i,n,L-1} \quad (5)$$

Donde $p_s(n)$ indica la probabilidad de que el usuario n transmita en un spot y se calcula según la expresión:

$$p_s(n) = n \cdot p(1 - p)^{n-1} \quad (6)$$

Estas expresiones algebraicas reproducen de manera analítica el retardo teórico de resolución de usuarios para un escenario en concreto. Estas expresiones nos son de gran ayuda a la hora de contrastar resultados con nuestro simulador.

2.4 Conocimientos del AP

Según los datos que conozca el AP los métodos de resolución se realizarán de un modo u otro. Para este estudio hemos contemplado 3 posibles casos:

- EL AP sólo sabe el número total de usuarios en la zona (llamaremos a este caso 'AP Usuarios Totales').
- El AP sólo sabe el número de usuarios totales y estima cuál es la distribución de estos en la zona (llamaremos a este caso 'AP Usuarios Totales y Estimación').
- El AP sabe cuantos usuarios hay en la zona y cuál es su distribución espacial (llamaremos a este caso 'AP Usuarios Totales y distribución').

A continuación se detallan más ampliamente las peculiaridades de cada uno de los métodos según sea el conocimiento que tiene el AP respecto a la distribución espacial y/o estimaciones del número de usuarios.

2.4.1 AP Usuarios Totales

En este caso el AP sólo sabe el número total de usuarios que hay dentro de la zona. Para saber el número total de usuarios en la zona existe una fase previa al descubrimiento de usuarios donde los usuarios se asocian al AP.

En las fases sin tienda el AP pregunta por todos los usuarios que quedan por resolver en todos los beams/Subzona Broadcast que recorre ya que desconoce cuantos usuarios debe resolver en cada uno de ellos.

En las fases con contienda el AP sólo está un CRI en cada beam. Si al recorrer todos los beams aún quedan usuarios por resolver, el AP vuelve a empezar por el primer beam hasta que todos los usuarios sean resueltos.

2.4.2 AP Usuarios Totales y Estimación

En este caso el AP sólo sabe el número total de usuarios que hay dentro de la zona. Además el AP realiza una serie de cálculos para estimar cuántos usuarios hay en cada beam.

En las fases sin contienda el AP pregunta por todos los usuarios que quedan por resolver en todos los beams/Subzona Broadcast que recorre ya que desconoce cuántos usuarios debe resolver en cada uno de ellos.

En las fases con contienda, el AP hace una estimación del número de usuarios que hay en cada beam. En cada beam el AP invierte el tiempo necesario para resolver al número de usuarios que ha estimado inicialmente. Sin embargo, si pasado un CRI el AP no ha resuelto tantos usuarios como creía continúa con el siguiente beam.

Si al recorrer todos los beams aún quedan usuarios por resolver, el AP vuelve a empezar por el primer beam hasta que todos los usuarios sean resueltos.

2.4.3 AP Usuarios Totales y Distribución

En este caso el AP sabe el número total de usuarios que hay dentro de la zona y cuál es su distribución espacial, es decir, tiene conocimiento de la cantidad de usuarios que hay en la zona de cobertura de cada beam.

En las fases sin contienda el AP pregunta por los usuarios que quedan por resolver en los beams/Subzona Broadcast. Sin embargo, ahora el AP sabe cuántos usuarios hay en cada beam por lo que si ya ha resuelto tantos usuarios como sabe que hay en el beam, no pregunta por el resto de usuarios que quedan por resolver y pasa al siguiente beam.

En las fases con contienda, el AP invierte en cada beam tantos CRI como sean necesarios hasta resolver a todos los usuarios que hay en él. De este modo al llegar al último beam todos los usuarios estarán resueltos.

2.5 Resolución de contienda

Como se ha descrito en el apartado 2.2, hay dos métodos que tienen fases con contienda: Omni/Direc (Sin Contienda/ Con Contienda) y Direc/Direc (Con contienda/ Con Contienda).

Definimos fase con contienda a la fase donde AP envía mensajes de descubrimiento de usuarios de tipo broadcast, es decir sin especificar ningún usuario en concreto.

Esto implica que se da el caso en que responda más de un usuario y por lo tanto se produzca colisión en el destino.

Para resolver a los usuarios en una fase con contienda definimos un intervalo de tiempo llamado CRI (Contention Resolution Interval) subdividido en L Slots. Este intervalo de resolución se aplica cada vez que el AP envía un Polling Message sin especificar ningún ID de usuario.

En el primer Slot, el AP lanza el mensaje de descubrimiento. A continuación en los Slots restantes los usuarios responden con una probabilidad P . Si en un Slot, solo responde un usuario, este es resuelto por el AP. Lógicamente si en un Slot responde más de un usuario se produce colisión, ninguno se resuelve y vuelven a responder con probabilidad P en el siguiente Slot.

En cada uno de estos slots, los usuarios que quedan por resolver responde al AP con probabilidad P



Fig. 2.7 Esquema del CRI

El primer Slot tiene una duración de una unidad de tiempo, el resto de Slots tienen una duración de tres unidades de tiempo (en el apartado 4.1.2 se habla más ampliamente acerca de las unidades de medida).

Para este estudio, se han definido diferentes criterios para seleccionar la probabilidad P de que los usuarios envíen su respuesta al AP en cada uno de los slots del CRI. Estos criterios se enumeran en la siguiente tabla:

- **P fija (0,3/0,4/0,5):** Valor de P fijo e igual para todos los usuarios (los valores utilizados son 0,3; 0,4 y 0,5).

- **$P = 1/n$:** P independiente para cada usuario y valor de $1/n$ donde n sigue la siguiente serie $\{2,3,4,\dots\}$ y aumenta cada vez que el usuario colisiona. En cada CRI la probabilidad se inicializa a 0,5 y la n a 2.
- **$P = 1/N$:** P fija para todos los usuarios y valor de igual a la inversa del número de usuarios que hay en el beam.
- **$P = Pa/(1+Pa)$:** P independiente para cada usuario y de valor $p(\text{anterior})/1+p(\text{anterior})$ donde P cambia cada vez que el usuario colisiona. Es decir, cada vez que un usuario colisiona recalcula su probabilidad de transmisión para el siguiente Slot del CRI, valiéndose esta la probabilidad anterior partido la suma de uno más la probabilidad anterior. En cada CRI la probabilidad se inicializa a 0,5.
- **$P = 1/Q$:** P variable e igual para todos los usuarios y de valor la inversa del número de usuarios que quedan por resolver en el beam. Este valor se actualiza cada vez que un usuario se resuelve. Por ejemplo, si inicialmente en un beam hay 5 usuarios la probabilidad de transmisión para todos ellos es $1/5$, si al iniciar el CRI uno de ellos se resuelve la probabilidad de transmisión para el resto de usuarios a partir del siguiente slot es igual a $1/4$.

En el Capítulo 4 se estudia la eficiencia y el rendimiento de cada una de estas técnicas.

2.6 Usuarios con movilidad

En un sistema real los usuarios pueden moverse en cualquier dirección y en cualquier instante de tiempo. De este modo, en este apartado se va a describir como es la movilidad de los usuarios y como son resueltos en este caso.

Para más información acerca del modelo de movilidad de los usuarios véase apartado 4.2.2

2.6.1 Sistema de búsqueda

Para resolver a los usuarios de la zona, el AP utiliza los cuatro métodos de resolución explicados en el apartado 2.2.

Durante el tiempo que dura la resolución de los usuarios, estos se están moviendo. Esto implica que, una vez el AP haya resuelto a todos los usuarios de la zona, estos habrán cambiado sus posiciones, por lo tanto el AP no tendrá un conocimiento fiel de las posiciones de los usuarios.

Los cambios de posición de los usuarios, requieren que el AP cada cierto tiempo vuelva a resolverlos a todos con el fin de tener un conocimiento de sus posiciones lo más actualizado posible.

Para estudiar esta situación, se ha definido que una vez el AP ha finalizado el proceso de resolución de usuarios inmediatamente inicia de nuevo el proceso de resolución.

Para realizar la segunda búsqueda (y posteriores) de los usuarios, el AP no utiliza exactamente el mismo método que en la primera. Para realizar la segunda búsqueda el AP utiliza la información de la posición de los usuarios obtenida en la búsqueda anterior (firma espacial y dirección).

De esta manera, los métodos de resolución de usuarios para la segunda búsqueda serán distintos que los de la primera. Se explican a continuación los métodos utilizados para esta segunda búsqueda.

2.6.2 Métodos de segunda búsqueda

Aunque estos métodos tienen el mismo nombre que los de la primera búsqueda, el proceso de resolución de usuarios en todos ellos es muy distinto.

2.6.2.1 Omni/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda)

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, en la segunda búsqueda el AP utiliza la información de la búsqueda anterior. Esto comporta que lo primero que hará el AP es buscar a todos los usuarios allí donde estaban la última vez que se resolvieron.

Evidentemente, esta primera fase se realiza sin contienda es decir, el AP pregunta por cada uno de los usuarios en aquel beam o Subzona broadcast donde se encontró.

Por lo tanto, el primer paso será buscar a todos los usuarios que se encontraban dentro de la Subzona broadcast. Para ello el AP coloca su antena en modo omnidireccional y procede con la búsqueda.

Una vez el AP ha preguntado por todos los usuarios que la última vez se encontraban dentro de la Subzona broadcast procede a buscar a los que se encontraban fuera de esta.

Por lo tanto el segundo paso será recorrer todos los beams preguntando en cada uno de ellos por los usuarios que se encontraban en el la última vez Para ello el AP coloca su antena en modo direccional y procede con la búsqueda.

Una vez el AP finalice los dos pasos descritos anteriormente, únicamente le quedarán por resolver aquellos usuarios que han cambiado de beam o han salido o entrado en la Subzona broadcast.

Para resolver a los usuarios restantes, el AP utiliza el método Omni/Direc(Sin Contienda/Sin Contienda), descrito en el apartado 2.2.1, con la peculiaridad de que al conocer donde se encontraban la última vez, ahora el AP los buscará inicialmente en los beams adyacentes tal y como se muestra en las figuras 2.8 y 2.9.

Tal como se describe a continuación existen dos posibilidades:

- A: Si el usuario se encontraba en la Subzona broadcast la última vez que se encontró pero en la búsqueda actual éste no se encuentra en esa misma Subzona el AP busca al usuario en cuestión dentro de las Subzonas beamforming. Para ello, primero empieza buscando en la Subzona beamforming correspondiente a la situación dentro de la Subzona broadcast donde se encontraba y, posteriormente, continua por los beams adyacentes. Así hasta encontrar al usuario.

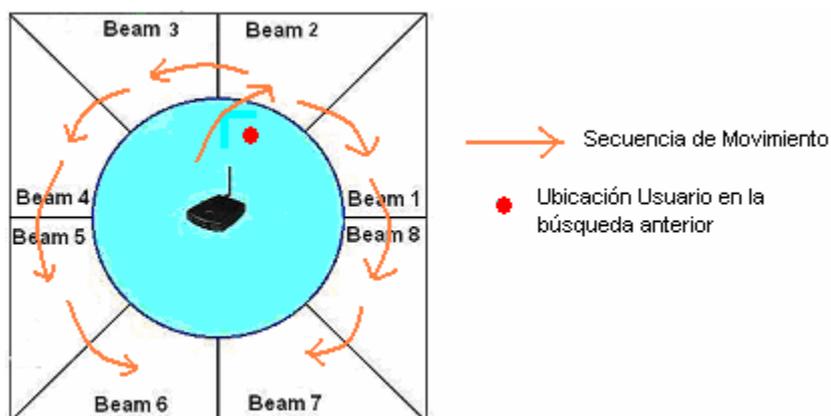


Fig. 2.8 Secuencia A1 de Movimiento del AP

- B: Si por el contrario, el usuario se encontraba dentro de un beam la última vez que se encontró pero en esta búsqueda éste no se encuentra en ese beam entonces el AP procede de la siguiente manera: Primero busca al usuario en los beams adyacentes, en el caso de no encontrarlo lo busca en la Subzona broadcast, si aún así el AP todavía no ha encontrado al usuario procede la búsqueda por el restante de beams adyacentes que le quedan para buscar al usuario.

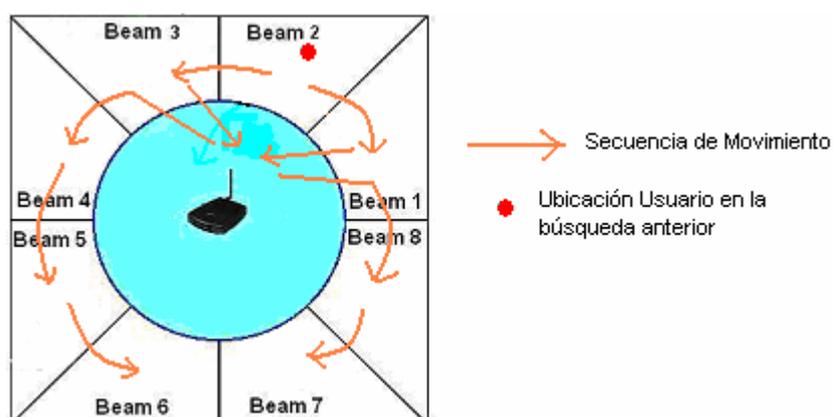


Fig. 2.9 Secuencia B de Movimiento del AP

De esta manera todos los usuarios de la zona son nuevamente resueltos.

2.6.2.2 Direc/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda)

Del mismo modo que el método anterior, este realiza una primera fase en la que pregunta por todos los usuarios (sin contienda) allí donde estaban la última vez que se resolvieron.

Sin embargo, al tratarse de un método en el cuál la antena siempre trabaja en modo direccional no realizará la búsqueda omnidireccional en la Subzona broadcast.

Por lo tanto el primer paso será recorrer todos los beams preguntando en cada uno de ellos por los usuarios que se encontraban en el la última vez. Para ello el AP coloca su antena en modo direccional y procede con la búsqueda.

Una vez el AP finalice el paso descrito anteriormente, únicamente le quedarán por resolver aquellos usuarios que han cambiado de beam.

Para resolver a los usuarios restantes, el AP utiliza el método Direc/Direc(Sin Contienda/Sin Contienda), descrito en el apartado 2.2.2. con la peculiaridad de que al conocer donde se encontraban la última vez, ahora el AP los buscará inicialmente en los beams adyacentes tal y como se muestra en las Fig 2.8 y 2.9

A diferencia del método descrito en el apartado anterior, en este caso no existe Subzona broadcast por lo cual sólo existe la posibilidad de que el usuario se encontraba dentro de un beam la última vez que se encontró pero en esta búsqueda éste no se encuentra en ese beam, es decir, en este caso únicamente tiene vigor la Fig. 2.9

De esta manera todos los usuarios de la zona son nuevamente resueltos.

2.6.2.3 Omni/Direc (sin contienda/con contienda)

Del mismo modo que los métodos anteriores, este realiza una primera fase en la que pregunta por todos los usuarios (sin contienda) allí donde estaban la última vez que se resolvieron.

Por lo tanto, el primer paso será buscar a todos los usuarios que se encontraban dentro de la Subzona broadcast. Para ello el AP coloca su antena en modo omnidireccional y procede con la búsqueda.

El segundo paso será recorrer todos los beams preguntando en cada uno de ellos por los usuarios que se encontraban en el la última vez Para ello el AP coloca su antena en modo direccional y procede con la búsqueda.

Una vez el AP finalice los dos pasos descritos anteriormente, únicamente le quedarán por resolver aquellos usuarios que han cambiado de beam o han salido o entrado en la Subzona broadcast.

Para resolver a los usuarios restantes, el AP utiliza el método Omni/Direc(Sin Contienda/Con Contienda), descrito en el apartado 2.2.3, con la peculiaridad de que al conocer donde se encontraban la última vez, ahora el AP los buscará inicialmente en los beams adyacentes tal y como se muestra en las Fig. 2.8 y 2.9

De esta manera todos los usuarios de la zona son nuevamente resueltos.

2.6.2.4 Direc/Direc (con contienda/con contienda)

Del mismo modo que en los métodos anteriores, este realiza una primera fase en la que pregunta por todos los usuarios (sin contienda) allí donde estaban la última vez que se resolvieron.

Sin embargo, al tratarse de un método en el cuál la antena siempre trabaja en modo direccional no realizará la búsqueda omnidireccional en la Subzona broadcast.

Por lo tanto el primer paso será recorrer todos los beams preguntando en cada uno de ellos por los usuarios que se encontraban en el la última vez. Para ello el AP coloca su antena en modo direccional y procede con la búsqueda.

Una vez el AP finalice el paso descrito anteriormente, únicamente le quedarán por resolver aquellos usuarios que han cambiado de beam.

Para resolver a los usuarios restantes, el AP utiliza el método Direc/Direc(Con Contienda/Con Contienda), descrito en el apartado 2.2.4. con la peculiaridad de que al conocer donde se encontraban la última vez, ahora el AP los buscará inicialmente en los beams adyacentes tal y como se muestra en la Fig. 2.8 y 2.9

De esta manera todos los usuarios de la zona son nuevamente resueltos.

CAPÍTULO 3. EL SIMULADOR

3.1 Introducción a nuestro simulador

Una vez hemos descrito cuáles son los métodos que vamos a utilizar para realizar el descubrimiento de usuarios, el siguiente paso consiste en implementar una herramienta capaz de simular el comportamiento de nuestro sistema de comunicaciones inalámbricas.

Dicha herramienta está implementada en C y nos permite obtener resultados del retardo de resolución de usuarios en función de una serie de parámetros.

El código implementado esta formado por funciones y una estructura que contiene información sobre los usuarios. La estructura utilizada se llama usuario y contiene los siguientes campos:

- **x**: Número entero que contiene la coordenada abcisa del usuario
- **y**: Número entero que contiene la coordenada ordenada del usuario
- **Dirección**: Número entero que identifica al usuario
- **Firma**: Par de números enteros que indican la firma del usuario.
- **Encontrado**: Número entero que indica si el usuario está encontrado o no.
- **ContestoSLOT**: Número entero que indica si el usuario contesta en el Slot del CRI.
- **Angulo**: Número entero decimal que indica el ángulo del usuario respecto el AP.
- **Angulo_mov**: Número entero decimal que indica el ángulo de movimiento respecto el AP.
- **ID_Zona**: Número entero que indica el identificador de zona donde el usuario ha sido encontrado la última vez.

Además, el simulador tiene definidas una serie de variables globales:

- **RANGO**: Número entero que indica el radio de cobertura del AP en modo Omnidireccional.
- **Users**: Número entero que indica el número de usuarios totales en la zona.
- **Xp**: Número entero que indica la duración del Polling Message.
- **Xp_a**: Número entero que indica la duración del P_ACK.
- **Xa**: Número entero que indica la duración del ACK.
- **VEL**: Valor decimal que indica el módulo de la velocidad del usuario.
- **Alto**: Número entero que indica la longitud vertical de la zona.
- **Ancho**: Número entero que indica la longitud horizontal de la zona.
- **L**: Número entero que indica el número de slots del CRI.

Cada uno de los métodos explicados en el capítulo anterior está implementado con una función independiente.

Las funciones de los métodos utilizan el usuario, el número de usuarios totales y el número de beams, además de las variables globales del simulador y sus propias variables locales.

Estas cuatro funciones realizan llamadas a funciones comunes que detallamos a continuación:

- **Movimiento:** Función que realiza el movimiento de todos los usuario en cada unidad de tiempo.
- **Dentro_broad:** Función que indica si un usuario se encuentra dentro de la zona broadcast.
- **Dentro_beam:** Función que indica si un usuario se encuentra dentro de un beam determinado.
- **ResolverContienda:** Función que realiza el proceso de resolución de usuarios en un CRI.

Con todo ello, la estructura del bucle principal del programa (main) sigue el siguiente diagrama de flujo:

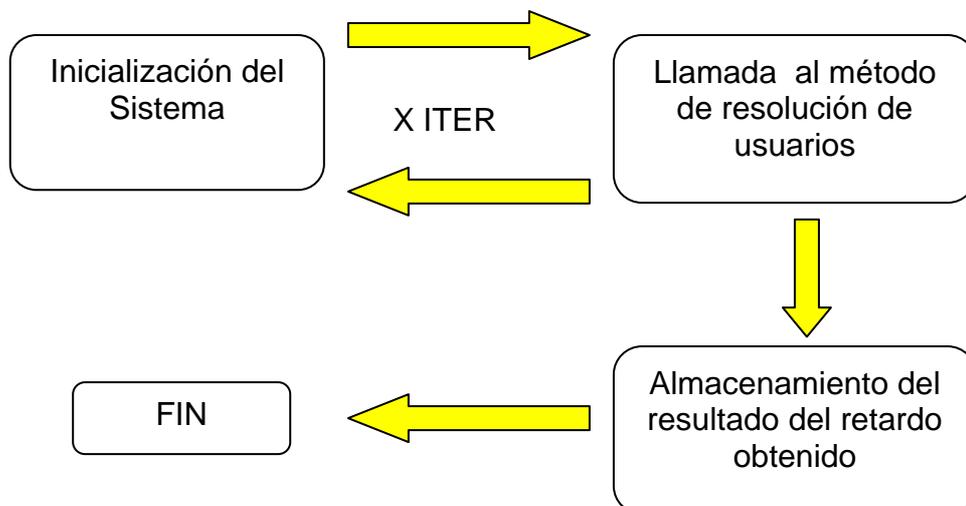
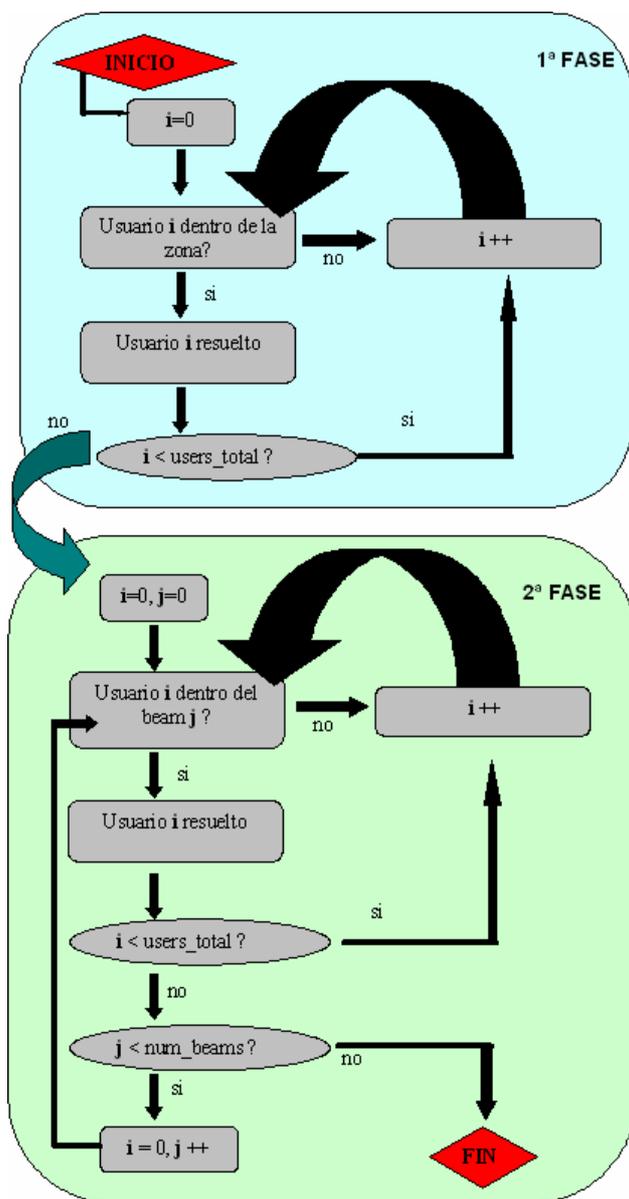


Fig. 3.1 Diagramas de flujo del programa principal del Simulador

Tal como vemos en la Fig. 3.1 llamada al método de resolución de usuarios se repite ITER veces, en nuestro caso 50.000 veces para los resultados obtenidos y descritos en el capítulo 4. Con todos los resultados obtenidos se hace la media aritmética y de este modo obtenemos un valor medio de todas las iteraciones.

3.2 Detalle de los distintos Métodos de Resolución

3.2.1 Omni/Direc (Sin contienda/Sin contienda)



La primera fase simula la resolución de usuarios dentro de la Subzona broadcast. Tal como vemos en la figura XX, el método pregunta usuario a usuario si se encuentra dentro de la Subzona broadcast. Si el usuario en cuestión se encuentra dentro el AP lo resuelve. Si no se encuentra, el AP pregunta por el siguiente usuario. Así hasta preguntar por todos los usuarios.

Una vez se ha preguntado por todos los usuarios se procede a realizar la segunda fase. Para ello, se recorre beam a beam preguntando usuario a usuario, del mismo modo que en la primera fase. Una vez el AP ha recorrido todos los beams, todos los usuarios han sido resueltos y, por lo tanto, el método finaliza.

Fig. 3.2 Diagramas del Omni/Direc (Sin contienda/Sin contienda)

3.2.2 Direc/Direc (Sin contienda/Sin contienda)

Tal como vemos en la figura XX, en esta primera y única fase se recorre beam a beam preguntando usuario a usuario. Si el usuario en cuestión se encuentra dentro del beam, el AP lo resuelve. Si no se encuentra, el AP pregunta por el siguiente usuario. Así hasta preguntar por todos los usuarios. Este proceso se repite para cada beam hasta llegar al último.

Una vez el AP ha recorrido todos los beams, todos los usuarios han sido resueltos y, por lo tanto, el método finaliza.

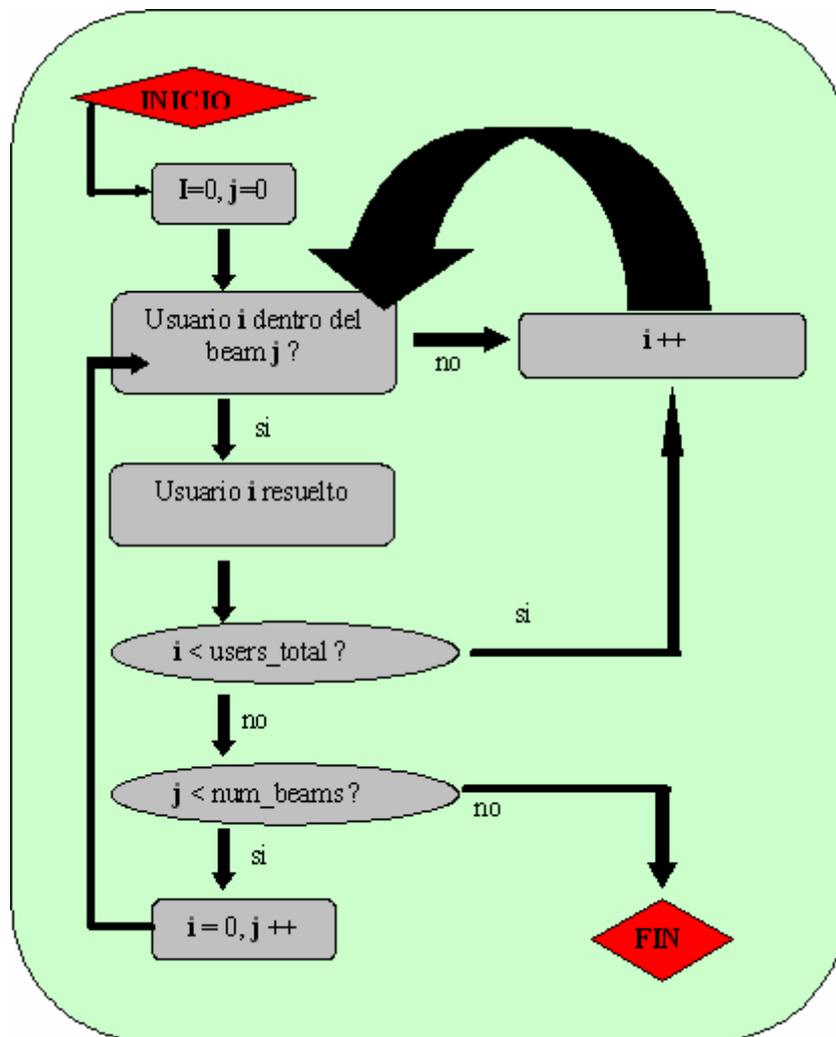
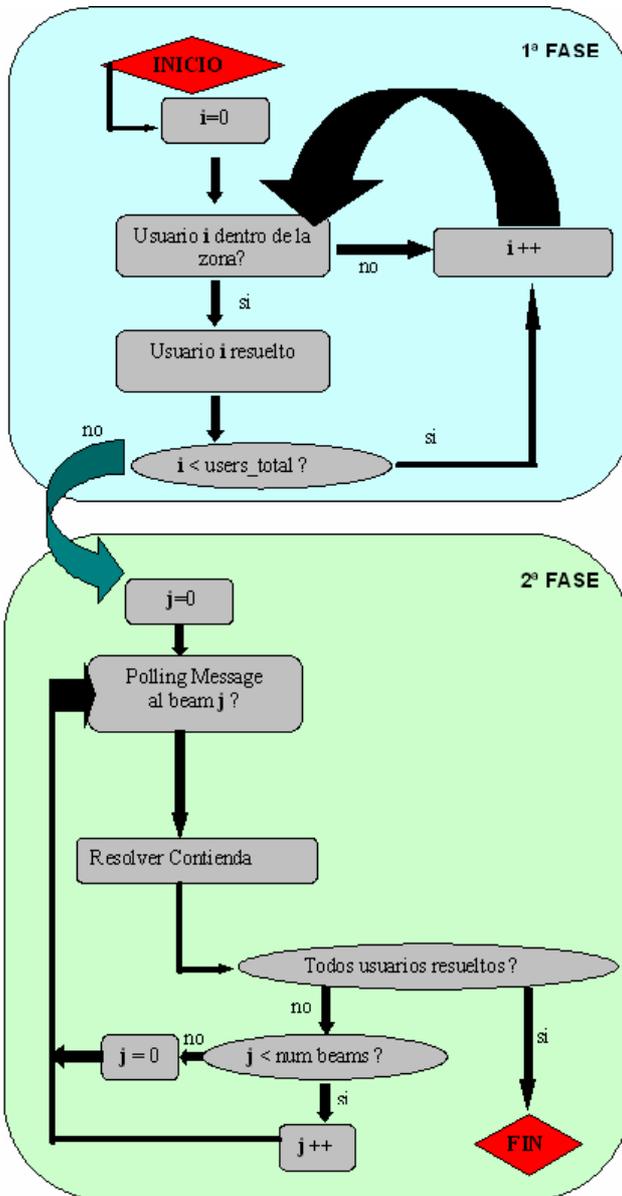


Fig. 3.3 Diagramas del Direc/Direc (Sin contienda/Sin contienda)

3.2.3 Omni/Direc (Sin contienda/Con contienda)



La primera fase simula la resolución de usuarios dentro de la Subzona broadcast. Tal como vemos en la figura XX, el método pregunta usuario a usuario si se encuentra dentro de la Subzona broadcast. Si el usuario en cuestión se encuentra dentro el AP lo resuelve. Si no se encuentra, el AP pregunta por el siguiente usuario. Así hasta preguntar por todos los usuarios.

Una vez se ha preguntado por todos los usuarios se procede a realizar la segunda fase. Para ello, se recorre beam a beam y en cada uno de ellos se lanza un Polling message en el primer Slot del CRI. Seguidamente se inicia el proceso de resolución de contienda. Si una vez recorridos todos los beams restan usuarios por resolver se vuelven a recorrer los beams hasta que todos los usuarios se resuelvan.

Fig. 3.4 Diagramas del Omni/Direc (Sin contienda/Con contienda)

Una vez todos los usuarios se resuelven, el método finaliza.

A continuación describimos de manera detallada como se realiza el proceso de resolución de contienda.

Después de que el AP envíe el Polling Message en el primer Slot del CRI, en el siguiente Slot todos los usuarios que hay en el beam y aún no están resueltos transmiten su P_ACK con probabilidad P . Si sólo transmite un usuario, este es resuelto y en el siguiente Slot los usuarios restantes volverán a transmitir con probabilidad P . Si por el contrario transmite más de un usuario, se produce colisión, ninguno se resuelve y en el siguiente Slot vuelven a transmitir con probabilidad P . Este proceso se repite hasta que finaliza el CRI, en este caso 6 Slots.

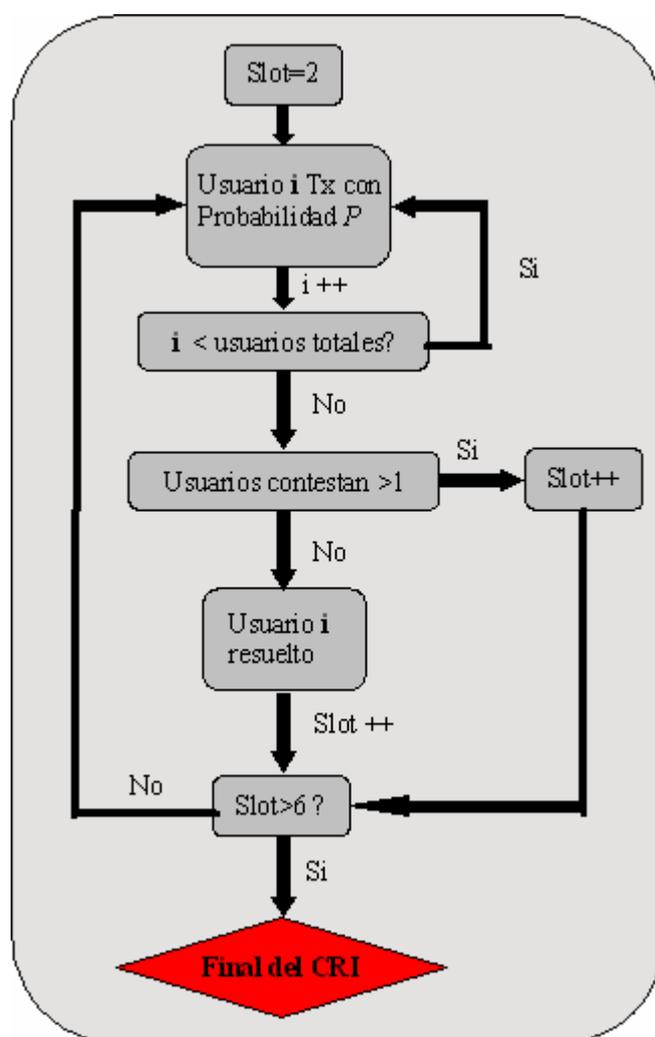


Fig. 3.5 Diagramas del CRI

3.2.4 Direc/Direc (Con contienda/Con contienda)

Tal como vemos en la figura XX, en esta primera y única fase se recorre beam a beam y en cada uno de ellos se lanza un Polling Message en el primer Slot del CRI. Seguidamente se inicia el proceso de resolución de contienda (ver Fig 3.5). Si una vez recorridos todos los beams restan usuarios por resolver se vuelven a recorrer los beams hasta que todos los usuarios se resuelvan.

Una vez todos los usuarios se resuelven, el método finaliza.

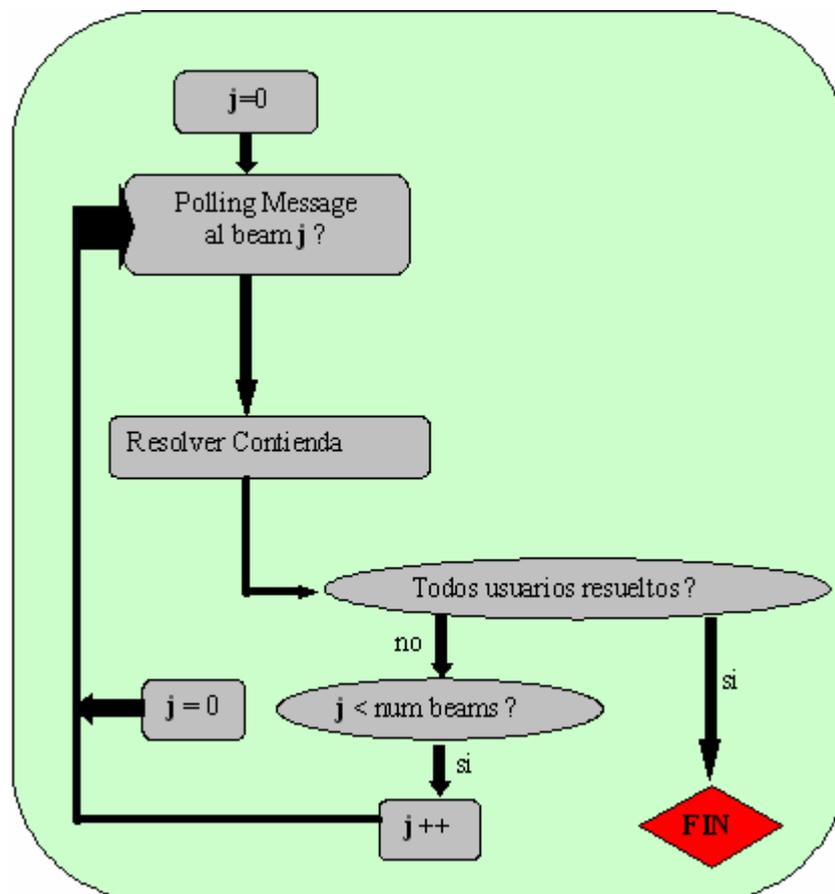


Fig. 3.6 Diagramas del Direc/Direc (Con contienda/Con contienda)

CAPÍTULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Definiciones previas

4.1.1 Los usuarios

Llamamos N al número de usuarios que se encuentran dentro de la zona, y llamaremos N_{IN} al número de usuarios ubicados en la Subzona Broadcast (Véase 4.1.2, referencia interna de la memoria) y N_{OUT} al número de usuarios ubicados en la Subzona beamforming.

Cada usuario esta caracterizado por tener una dirección y una firma espacial la cuál indica las coordenadas de posición del usuario dentro de la zona.

Una vez el AP conoce la dirección y la firma espacial de un usuario, este se considera como resuelto.

4.1.2 Unidades de medida

Para poder llevar a cabo un estudio cuantitativo del sistema a tratar en este proyecto deben definirse una serie de parámetros físicos:

- El tiempo: Para poder cuantificar el tiempo definimos como unidades de medida una *unidad de tiempo*.
- El espacio: Del mismo modo, para poder cuantificar el espacio definimos como unidad de medida una *unidad de espacio*.

A la hora de adaptar las unidades definidas anteriormente a un sistema concreto, éstas pueden convertirse a las unidades que se requieran, aplicando en cada caso, el factor de conversión oportuno. De este modo el estudio realizado es totalmente general y aplicable a cualquier entorno.

4.2 Descripción del escenario

Para estudiar un escenario estándar de comunicaciones inalámbricas, utilizando antenas direccionales, se ha definido un entorno de trabajo representativo.

4.2.1 Parámetros del escenario

Nuestra zona de trabajo tiene las siguientes características:

- Espacio físico cuadrado de 500x500 unidades de longitud (u.l).
- Canal de transmisión ideal.

- Un AP situado en el punto central de la zona cuadrada.
- Un número variable de usuarios repartidos uniformemente de manera aleatoria por toda la zona con una relación $N_{OUT} / N_{IN} = \frac{1}{2}$.
- Se ha considerado un canal de transmisión ideal.

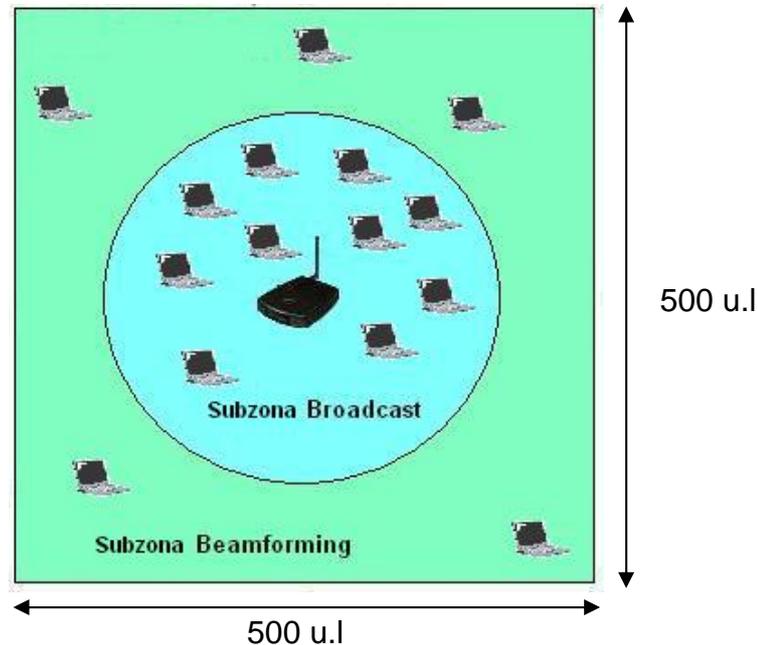


Fig. 4.1 Zona del escenario de trabajo

4.2.2 Movilidad de los usuarios

Para poder estudiar el movimiento de los usuarios, este ha sido definido como un movimiento rectilíneo uniforme con dirección aleatoria y módulo constante de valor 0,01 (unidades de longitud/unidades de tiempo).

Tal y como se muestra en la Fig. 4.2, en el caso que un usuario llegue a alguno de los límites de la zona, este rebota hacia dentro de la zona con el mismo ángulo de incidencia que llevaba.

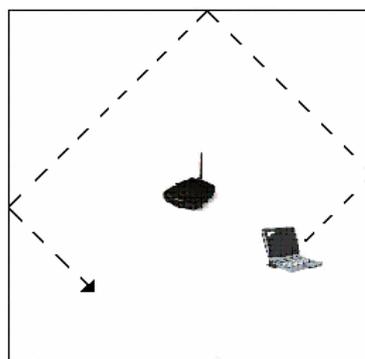


Fig. 4.2 Esquema de la movilidad de los usuarios

4.3 Resultados

4.3.1 Resultados Sin Movilidad

Una vez definido el escenario a estudiar e implementado el simulador descrito en el capítulo 3, el siguiente paso consiste en simular una serie de situaciones con la finalidad de obtener el retardo de resolución de usuarios en cada caso, es decir, el tiempo total que el AP invierte en resolver a todos los usuarios de la zona. Este es el único parámetro que va a ser analizado y con el que se van a realizar las comparaciones de las prestaciones de cada uno de los mecanismos propuestos.

A continuación, como punto de partida y para tener unos valores de referencia, mostramos una gráfica realizada en base a las expresiones algebraicas detalladas en el apartado 2.3. Es decir, es el rendimiento teórico según el modelo analítico aplicable en casos simples. En esta gráfica se observa como evoluciona el retardo en función del número de usuarios para los 4 métodos. [4]

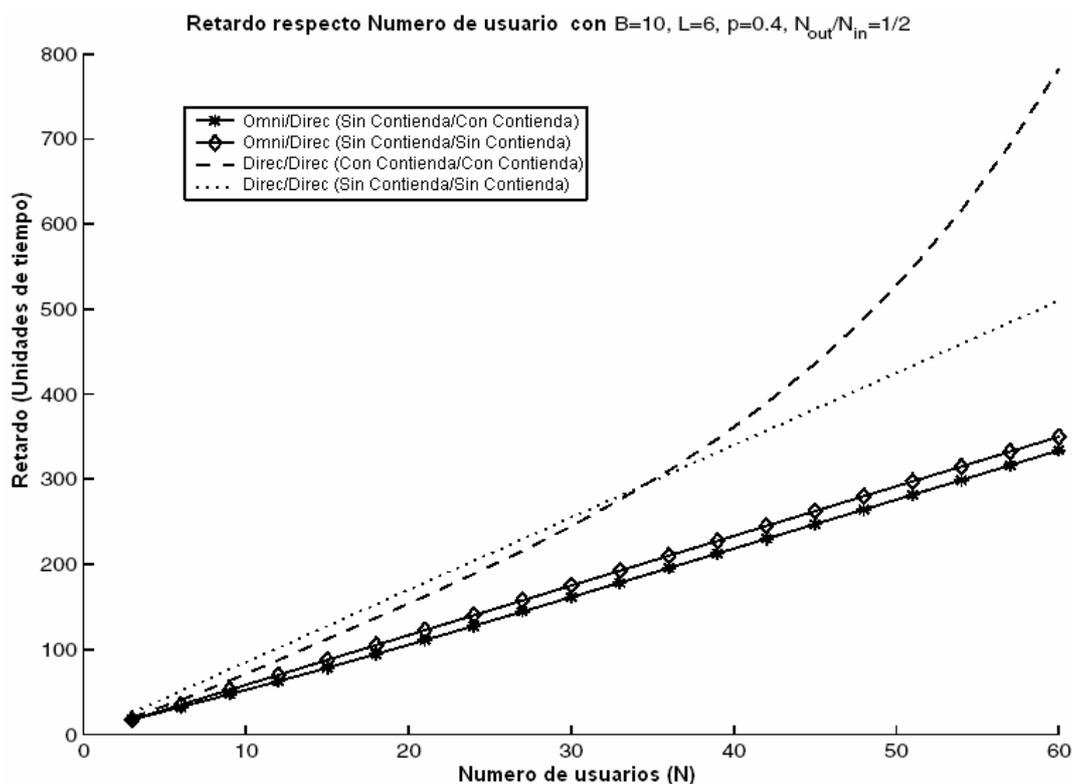


Fig. 4.3 Retardo respecto Número de usuarios según expresiones algebraicas

En la siguiente gráfica mostramos los resultados obtenidos con el simulador para la misma situación que la gráfica anterior. De este modo se pretende validar tanto el simulador como los resultados analíticos, al obtener de dos modos independientes los mismos resultados de referencia.

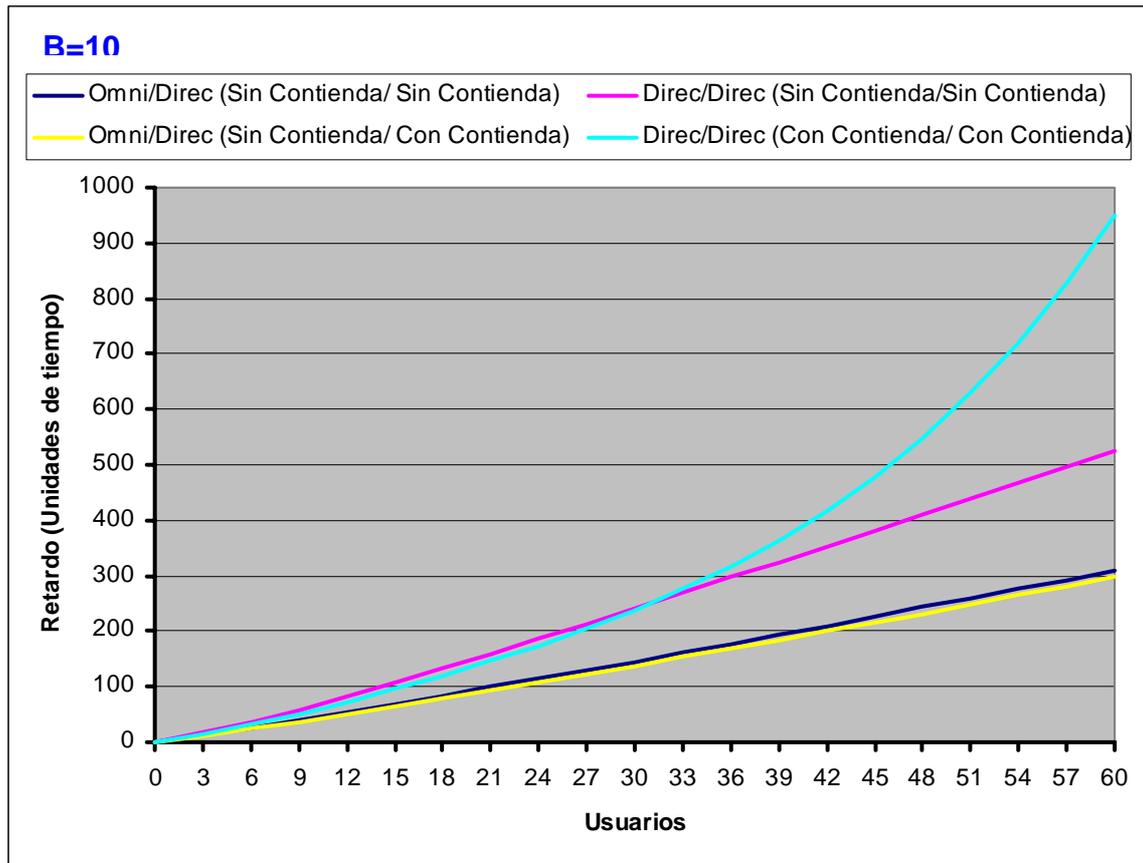


Fig. 4.4 Retardo respecto Número de usuarios según el simulador Sin movilidad

Como podemos observar en la Fig. 4.4, los resultados obtenidos en nuestra simulación se ajustan con fidelidad a los resultados del estudio analítico, por lo tanto, confirmamos que nuestro simulador funciona correctamente.

Cabe aclarar que esta simulación ha sido realizada teniendo en cuenta que el AP conoce cuantos usuarios hay en la zona y además cuál es su distribución, que son hechos asumidos implícitamente en el cálculo analítico.

En el siguiente apartado, para cada uno de los cuatro métodos vamos a analizar una serie de situaciones con la finalidad de caracterizar cada método y comparar sus prestaciones.

4.3.1.1 Omni/Direc (Sin Contianda/Sin Contianda)

Para este método, al tratarse de un método sin contianda, él único parámetro que modificaremos además del número de usuarios es el número de beams.

En la siguiente gráfica mostramos la evolución del retardo en función del número de usuarios para los distintos valores de B (Numero de beams) en el caso de que el AP tenga conocimiento de la distribución de los usuarios a lo largo de la zona.

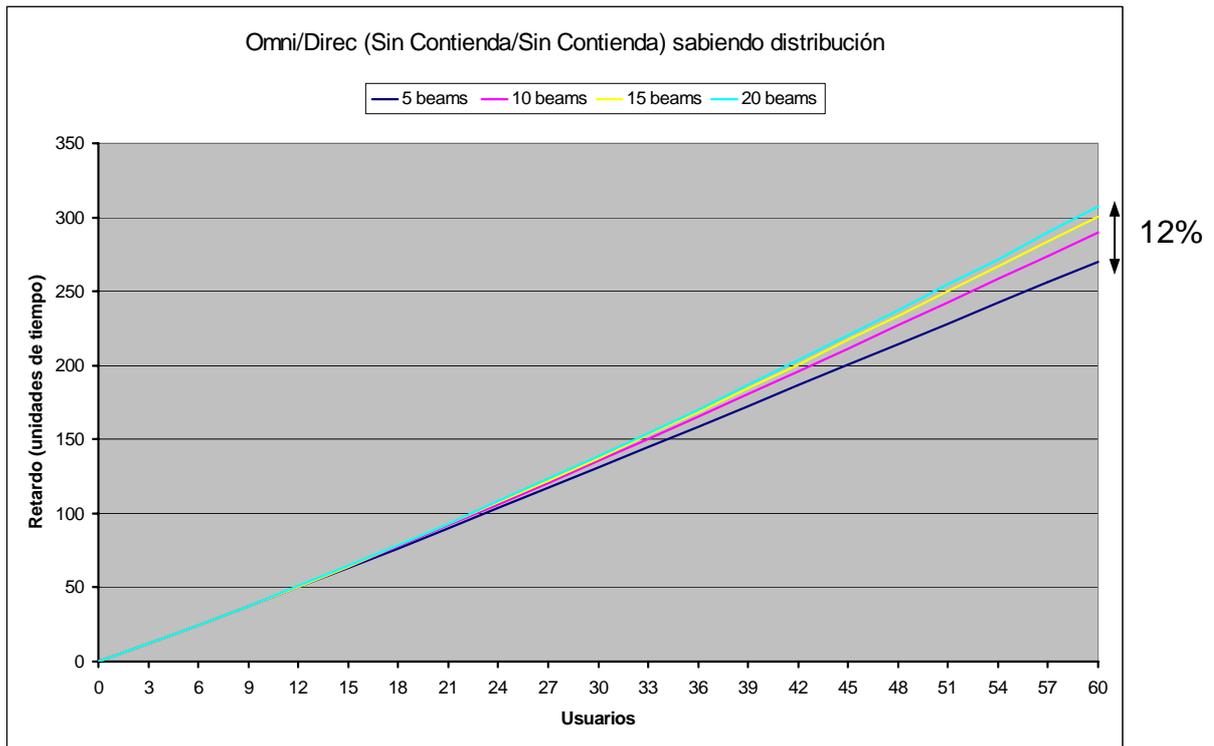


Fig. 4.5 Omni/Direc (Sin contianda/Sin contianda) Sabiendo distribución – Sin movilidad

Como podemos observar, el hecho de modificar el número de beams no altera sustancialmente el retardo de resolución de usuarios.

Viendo la gráfica se puede observar que el retardo en función del número de usuarios aumenta de manera aproximadamente lineal con una pendiente aproximada de entre 4 y 5.

Como hemos comentado al principio, en el mejor de los casos, es decir con 5 beams, la mejora respecto al peor caso (20 beams) con 60 usuarios es únicamente de un 12% aproximadamente.

En la siguiente gráfica repetimos las mismas situaciones que en la gráfica anterior pero en este caso el AP sólo conoce el número de usuarios totales de la zona.

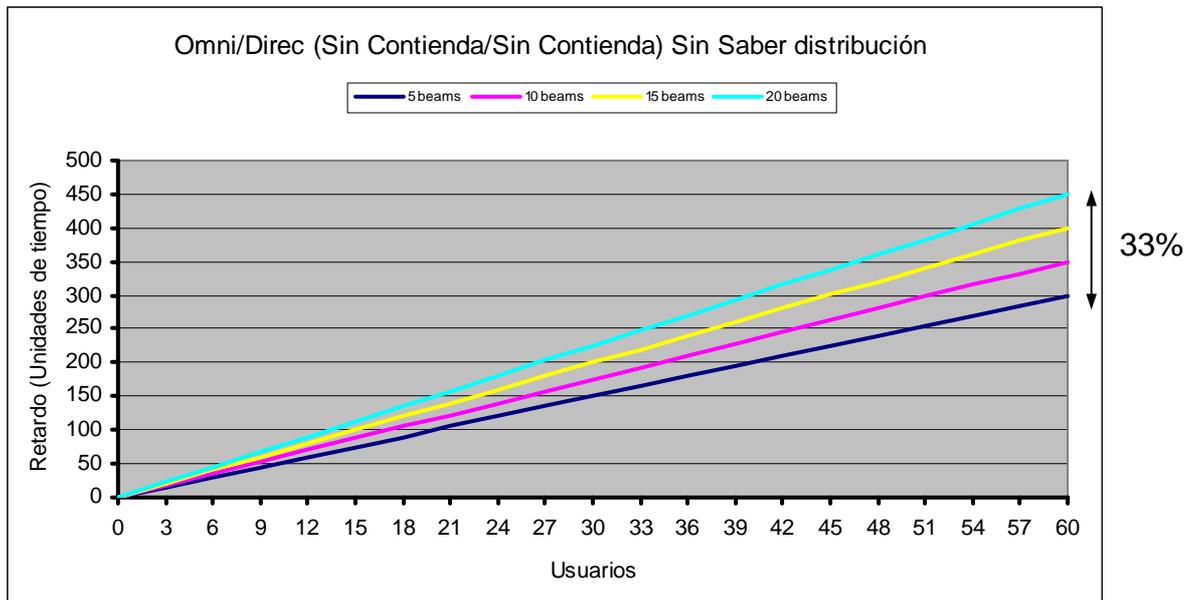


Fig. 4.6 Omni/Direc (Sin contienda/Sin contienda) Sin Saber distribución – Sin movilidad

Como podemos observar, al contrario que en el caso anterior el hecho de modificar el valor de B varía considerablemente el retardo final de resolución de los usuarios.

En este caso, podemos ver que rápidamente las rectas del retardo empiezan a separarse de manera considerable donde en el punto final (60 usuarios) las diferencias de retardo entre 5, 10, 15 y 20 beams es de 50 unidades de tiempo respectivamente.

De este modo, el mejor caso (5 beams) mejora aproximadamente en un 33% al peor caso (20 beams) con 60 usuarios.

Una vez analizado este método para sus dos casos, podemos concluir que:

- El hecho de conocer la situación de los usuarios mejora el retardo. Como el AP conoce el número de usuarios que debe resolver en cada beam, no es necesario que siga enviando Polling Message si éste ya ha resuelto todos los que había en él (Ver Fig. 4.5).
- La diferencia de retardos al cambiar el número de beams es prácticamente despreciable. Esto se debe a que aunque aumente el número de beams el AP no envía más Pollings de los necesarios ya que conoce la distribución de los usuarios (Ver Fig. 4.5).

- Si el AP desconoce cuantos usuarios hay en cada beam, siempre pregunta por todos (aun no resueltos) en todos los beams y por lo tanto esto aumenta notablemente el retardo.
- En este caso, lógicamente hay una diferencia notable al aumentar el valor de B ya que el AP envía muchos más Polling Messages donde cada Polling Message aumenta el retardo en una unidad de tiempo (Ver Fig. 4.6).

Los resultados obtenidos eran los esperados, cuantos más datos conoce el AP, menor es el retardo de resolución. Por otro lado, es interesante destacar que un aumento en el número de beams de búsqueda no mejora el rendimiento en términos de retardo.

Cabe destacar que aunque el hecho de aumentar el número de beams no mejore el tiempo de resolución de usuarios sí es cierto que, al tener más beams, éstos son más estrechos, y por tanto más 'largos' (con más ganancia). Por lo tanto, el hecho de aumentar el número de beams sí da un beneficio, y es que aumenta el área de cobertura. Sin embargo, en este estudio no tendremos en cuenta este efecto a la hora de medir el rendimiento de los mecanismos propuestos, nos centraremos únicamente en los beneficios en términos de retardo de resolución.

4.3.1.2 Direc/Direc (Sin Contianda/Sin Contianda)

Para este método, al tratarse de un método sin contianda, él único parámetro que modificaremos además del número de usuarios es el número de beams.

En la gráfica de la siguiente página mostramos la evolución del retardo en función del número de usuarios para los distintos valores de B (Numero de beams) en el caso de que el AP tenga conocimiento total sobre los usuarios, es decir, sabe cuantos usuarios hay en cada beam.

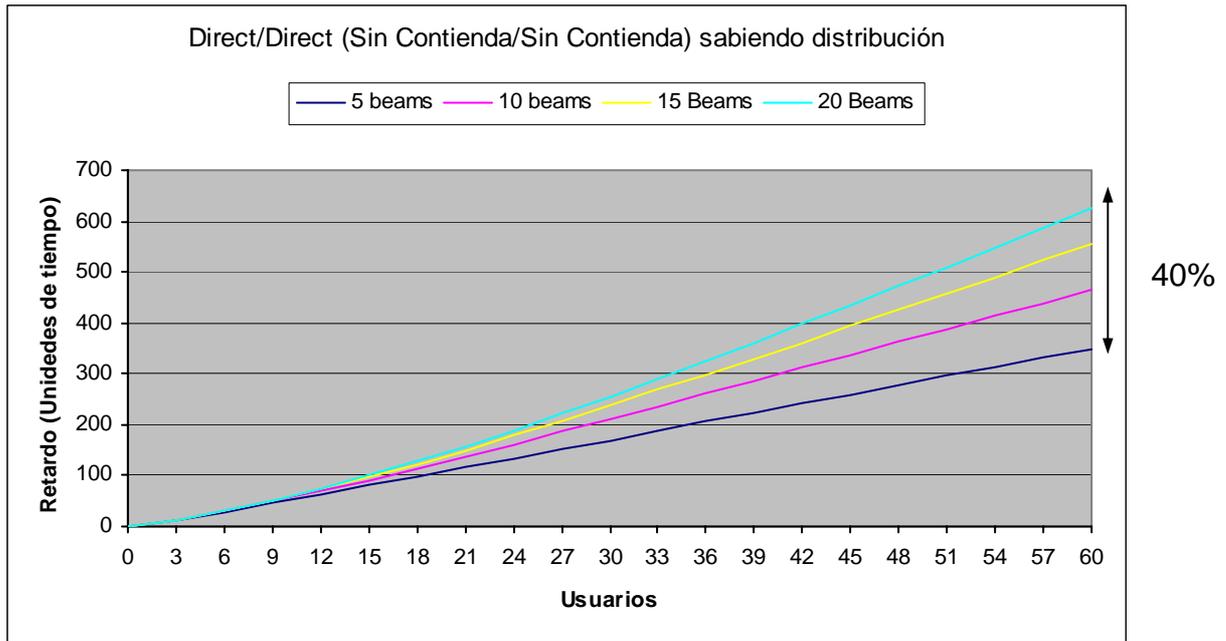


Fig. 4.7 Direc/Direc (Sin contienda/Sin contienda) Sabiendo distribución – Sin movilidad

Como podemos observar, el hecho de modificar el número de beams modifica notablemente el retardo de resolución de usuarios a medida que se va aumentando el número de usuarios.

Viendo la gráfica se puede observar que el retardo en función del número de usuarios aumenta de manera aproximadamente lineal.

Ahora, no hay una primera fase de resolución omnidireccional donde se resuelven 2/3 del total de los usuarios, que son los que hay en la Subzona broadcast tal y como se ha definido en el capítulo 4. Por lo tanto, aunque el AP sabe cuantos usuarios hay en cada beam la diferencia de retardo al cambiar el valor de B es considerable, esto se debe a que en este caso el AP envía más Polling Message.

En el mejor de los casos, es decir con 5 beams, la mejora respecto al peor caso (20 beams) con 60 usuarios es de un 40% aproximadamente

A continuación repetimos las mismas situaciones que en la gráfica anterior pero en este caso el AP sólo conoce el número de usuarios totales en la zona.

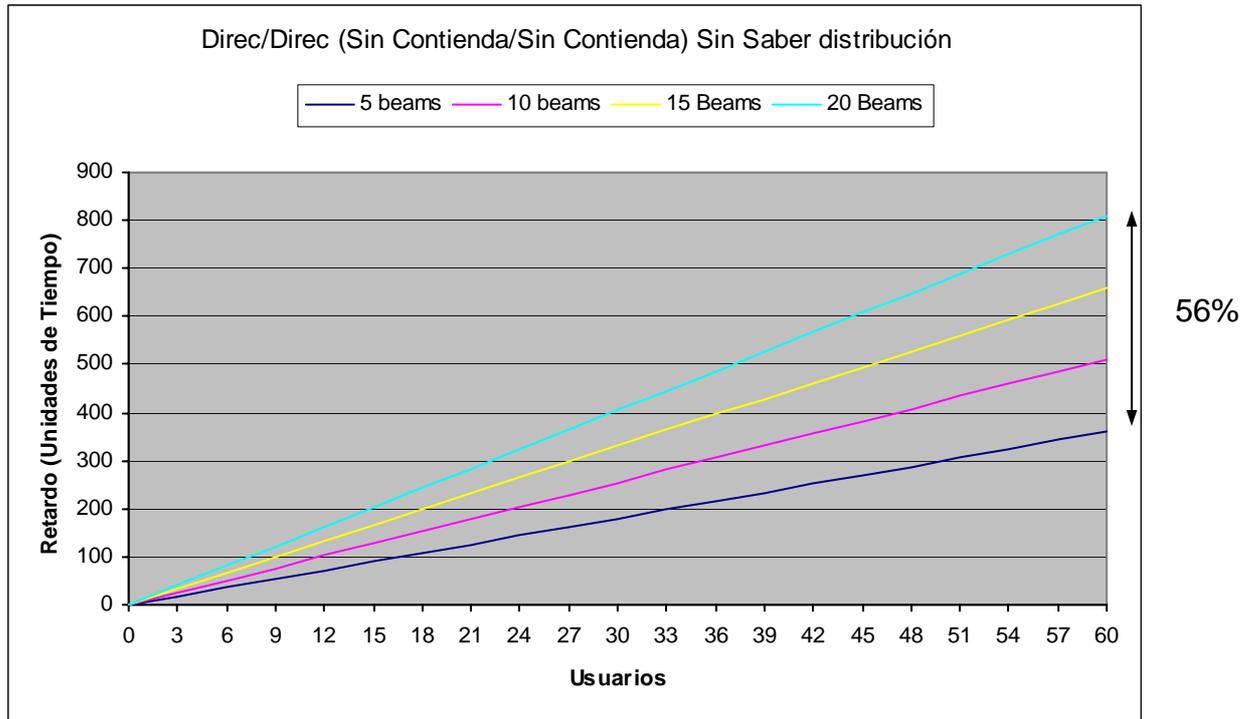


Fig. 4.8 Direc/Direc (Sin contienda/Sin contienda) Sin Saber distribución – Sin movilidad

Como podemos observar en la fig. 4.8, el hecho de modificar el valor de B aumenta el retardo final de resolución de los usuarios respecto al caso anterior.

Aquí la diferencia entre retardos para distintos número de beams es mayor que en el caso anterior porque además de no haber una primera fase de resolución omnidireccional donde se resuelven $2/3$ del total de los usuarios, el AP no sabe cuántos usuarios hay en cada beam lo cual supone tener que preguntar por todos los usuarios (aún no resueltos) en cada uno de los beams.

De este modo, el mejor caso (5 beams) mejora aproximadamente en un 56% al peor caso (20 beams) con 60 usuarios, una diferencia mayor a la encontrada en el caso anterior.

Una vez analizado este método para sus dos casos, podemos concluir que:

- El hecho de conocer cuántos usuarios hay en cada beam mejora los resultados. Como el AP conoce el número de usuarios que debe resolver en cada beam, no es necesario que

siga preguntando si ya ha resuelto todos los que había en el (Ver Fig. 4.7).

- Aunque el AP conozca la distribución de los usuarios, este método no mejora el método anterior con conocimiento de la distribución de los usuarios ya que en este último, inicialmente se resuelven 2/3 partes de los usuarios totales y esto disminuye mucho el retardo (Ver Fig. 4.5)
- Si el AP desconoce cuantos usuarios hay en cada beam, siempre preguntará por todos los que quedan por resolver en todos los beams y, por lo tanto, esto aumentara notablemente el retardo (Ver Fig. 4.8).
- Este caso es el peor de los casos sin contienda, ya que además de no saber cuántos usuarios hay en cada beam, no hay una primera fase de resolución omnidireccional.

Los resultados obtenidos eran los esperados, es decir, cuántos más datos conoce el AP, menor es el retardo de resolución.

4.3.1.3 Omni-Direc (Sin Contienda/Con Contienda)

Para este método, al tratarse de un método con contienda los parámetros que modificaremos serán el número de beams y la probabilidad de transmisión de los usuarios dentro del CRI.

En la Figura 4.9 mostramos la evolución del retardo en función del número de usuarios para distintos valores de P con 10 Beams y $L=6$ en el caso de que el AP conozca la distribución de los usuarios, es decir, sabe cuantos usuarios hay en cada beam. El significado de la leyenda de esta figura está descrito en el apartado 2.5.

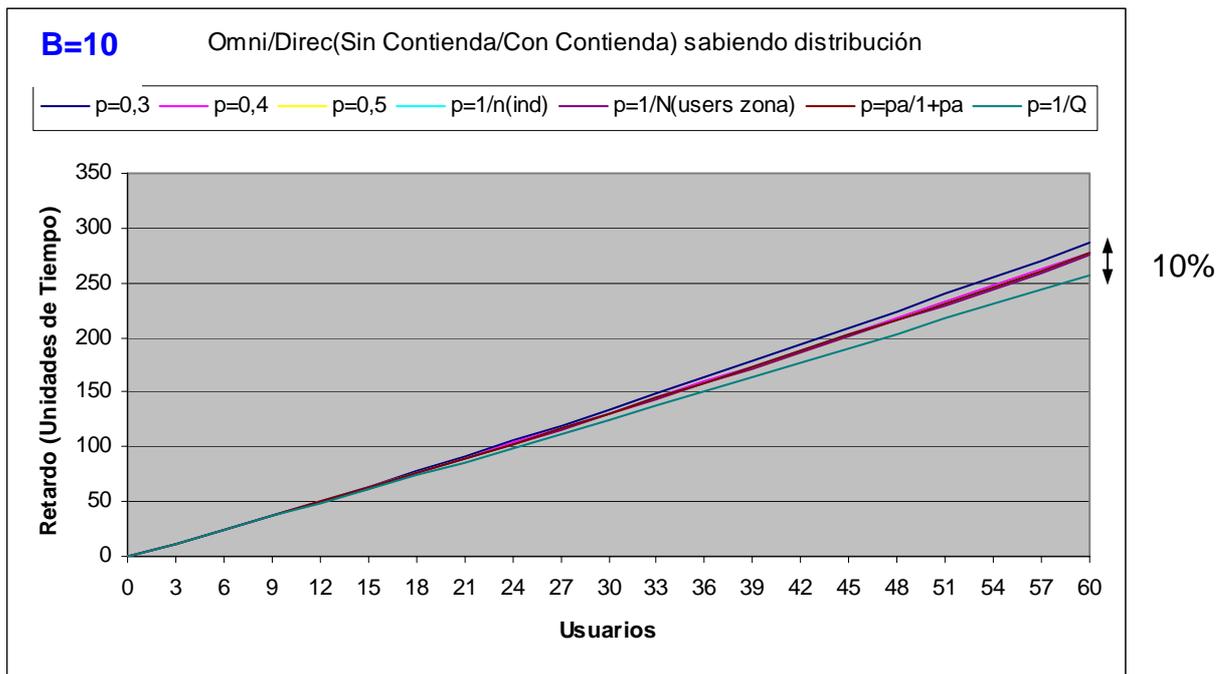


Fig. 4.9 Omni/Direc (Sin contienda/Con contienda) Sabiendo distribución – Sin movilidad

Antes de todo decir que esta misma gráfica ha sido obtenida también con 20 beams donde los resultados eran parecidos pero ligeramente peores.

Tal y como podemos observar, el hecho de modificar el valor de P no influye sustancialmente en el retardo de resolución de usuarios. Cabe destacar que el mejor caso se produce cuando la probabilidad toma el valor de la inversa del número de usuarios que quedan por resolver en el beam ya que para ese valor de P se producen menos colisiones ya que estadísticamente es la probabilidad óptima para que no se produzca colisión.

Tal como se observa en la Fig. 4.9, el mejor caso ($P=1/Q$) mejora aproximadamente en un 10% al peor caso ($P=0,3$) con 60 usuarios.

A continuación repetimos las mismas situaciones que en la gráfica anterior pero en este caso el AP sólo conoce el número de usuarios totales de la zona.

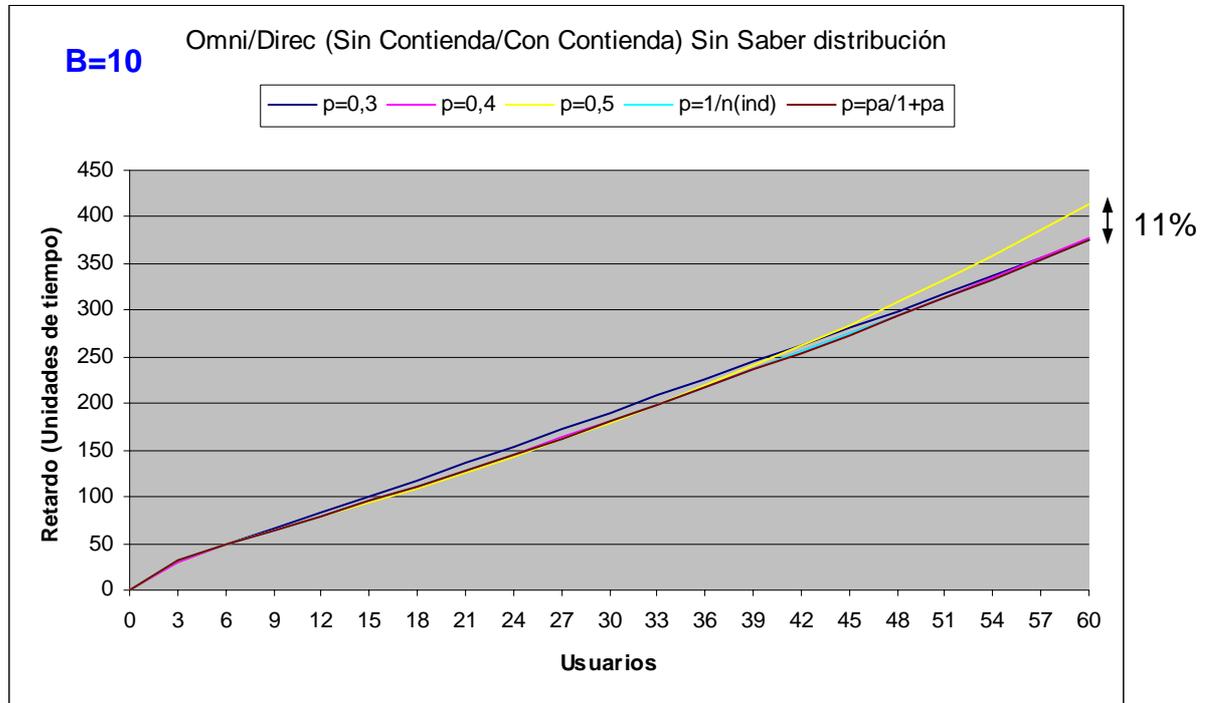


Fig. 4.10 Omni/Direc (Sin contienda/Con contienda) Sin Saber distribución – Sin movilidad

Como podemos observar en la Fig. 4.10 hay dos valores de P que no se han estudiado ya que si el AP desconoce el número de usuarios que hay en cada beam no puede calcular una P que dependa del número de usuarios que hay en el.

Además, igual que en el caso de conocer la distribución de los usuarios, el hecho de modificar el valor de P no influye mucho en el retardo final. Como era de esperar, al desconocer la distribución de los usuarios, el retardo es sustancialmente mayor que en el caso anterior.

En esta situación, la diferencia entre el peor caso ($P=0,5$) y el mejor caso ($P=P_a/1+P_a$) con 60 usuarios es de un 11%.

En la siguiente gráfica repetimos las mismas situaciones que en las anteriores para el caso en que el AP estima cuantos usuarios hay en cada beam.

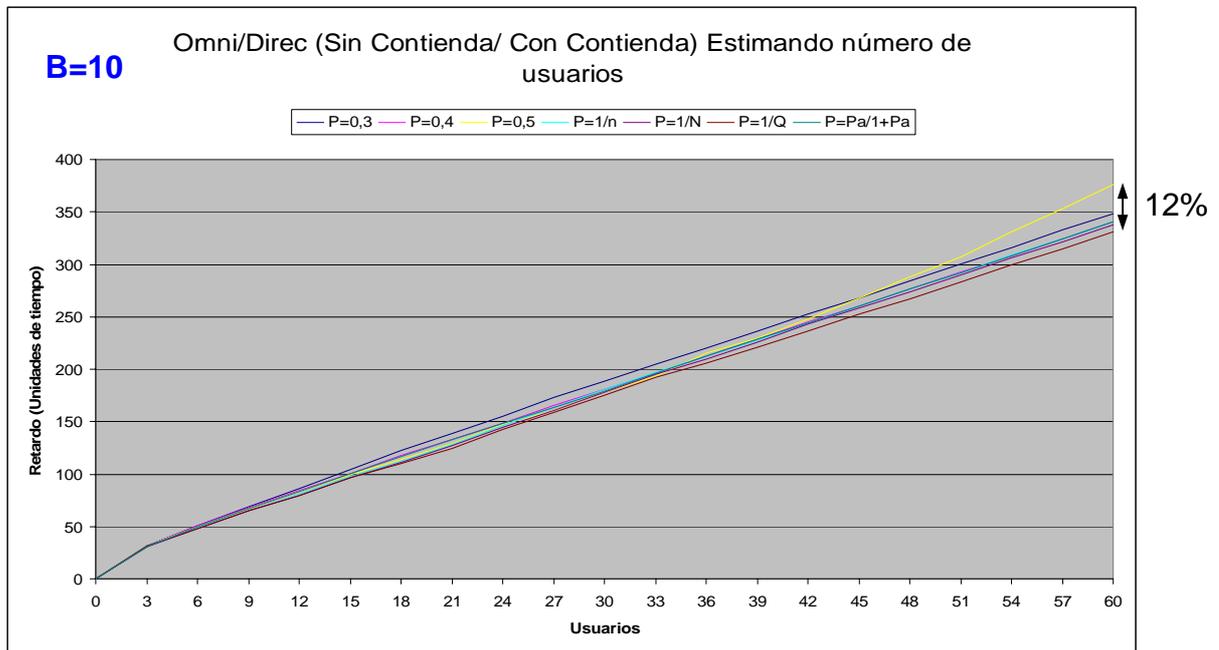


Fig. 4.11 Omni/Direc (Sin contienda/Con contienda) Estimando N° Usuarios – Sin Movilidad

Como podemos observar en la figura anterior el hecho de modificar el valor de P no modifica sustancialmente el retardo de resolución de usuarios. Análogamente al caso en que el AP conoce la distribución de los usuarios, el mejor caso se produce cuando la probabilidad de transmisión de los usuarios es igual a la inversa de los usuarios que quedan por resolver en el beam ($P=1/Q$).

Como se puede observar, para el caso en que el AP estima el número de usuarios que hay en cada beam, la diferencia entre el mejor caso ($P=1/Q$) y el peor caso ($P=0,5$) para 60 usuarios es de un 12%.

Para finalizar, en la siguiente gráfica se muestra una comparativa de la evolución del retardo en función del número de usuarios para los distintos tipos de conocimientos del AP con $P=1/n$.

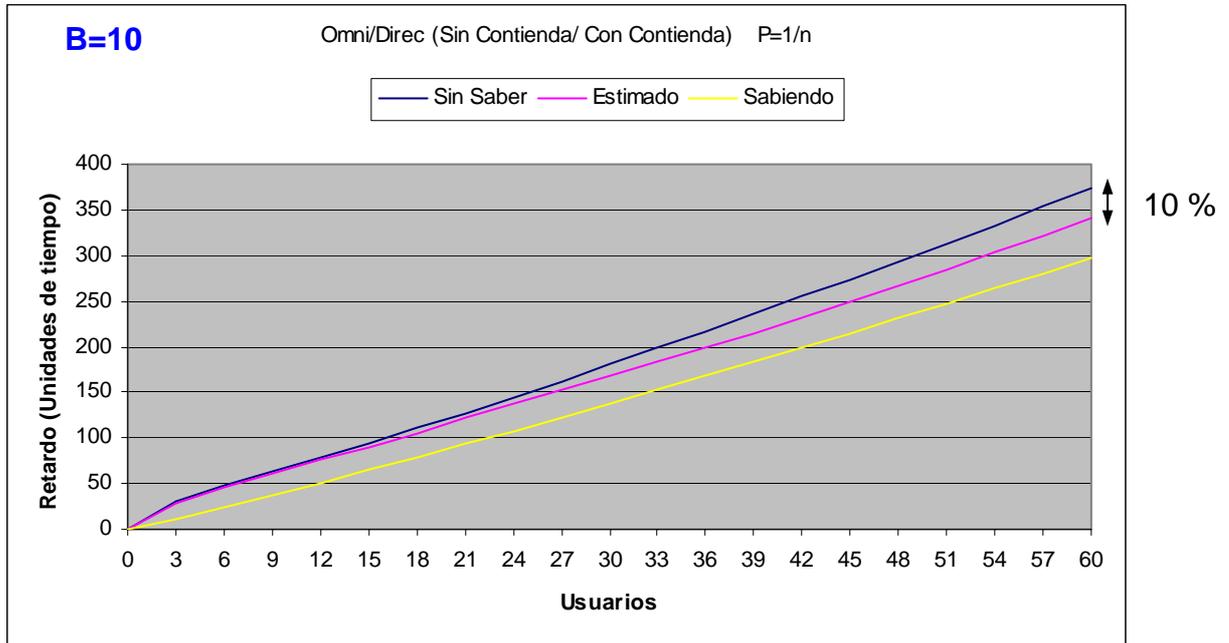


Fig. 4.12 Retardo en Onmi/Direc (Sin contienda/con contienda) según conocimiento del AP – Sin movilidad

Como se observa en la gráfica anterior, el caso en que el AP invierte un menor tiempo para resolver a los usuarios se produce obviamente cuando conoce el número de usuarios totales y su distribución en la zona.

En el caso en el cuál el AP realiza una estimación de la distribución de los usuarios, hasta aproximadamente 30 usuarios, el retardo de resolución es muy similar al caso en que sólo sabe el número total de usuarios. A partir de este número de usuarios el retardo para el caso estimado empieza a ser ligeramente menor que en el caso de sin saber. Concretamente, para 60 usuarios el retardo cuando el AP estima cuántos usuarios hay en cada beam es un 10% mejor que en el caso donde sólo conoce el número de usuarios totales de la zona.

Una vez analizado este método para sus tres casos, podemos concluir que:

- El hecho de conocer cuántos usuarios hay en cada beam mejora el retardo. Como el AP conoce el número de usuarios que debe resolver en cada beam, no es necesario que siga preguntando si este ya ha resuelto todos los que había en él.
- Además, el caso en el que el retardo es menor se produce cuando la probabilidad de transmisión se escoge como el valor igual a la inversa de los usuarios que quedan por resolver en el beam. (Ver Fig. 4.9).

- Si el AP desconoce cuantos usuarios hay en cada beam, siempre pregunta por todos los que quedan por resolver en todos los beams y por lo tanto esto aumenta notablemente el retardo (Ver Fig. 4.10)
- Hasta aproximadamente 30 usuarios, el caso de estimar no mejora al caso sin saber ya que con pocos usuarios el error al realizar la estimación es muy grande. En la mayoría de los casos se estima que hay un usuario en cada beam cuando en realidad no hay ninguno (Ver Fig. 4.10 y Fig. 4.11).

4.3.1.4 Direc/Direc (Con Contienda/Con Contienda)

Para este método, al tratarse de un método con contienda los parámetros que modificaremos serán el número de beams y la probabilidad de transmisión de los usuarios dentro del CRI.

En la siguiente gráfica mostramos la evolución del retardo en función del número de usuarios para distintos valores de P con 20 Beams y $L=6$ en el caso de que el AP conozca la distribución de los usuarios, es decir, sabe cuantos usuarios hay en cada beam. Esta misma gráfica se ha realizado con 10 beams pero los retardos obtenidos son mayores.

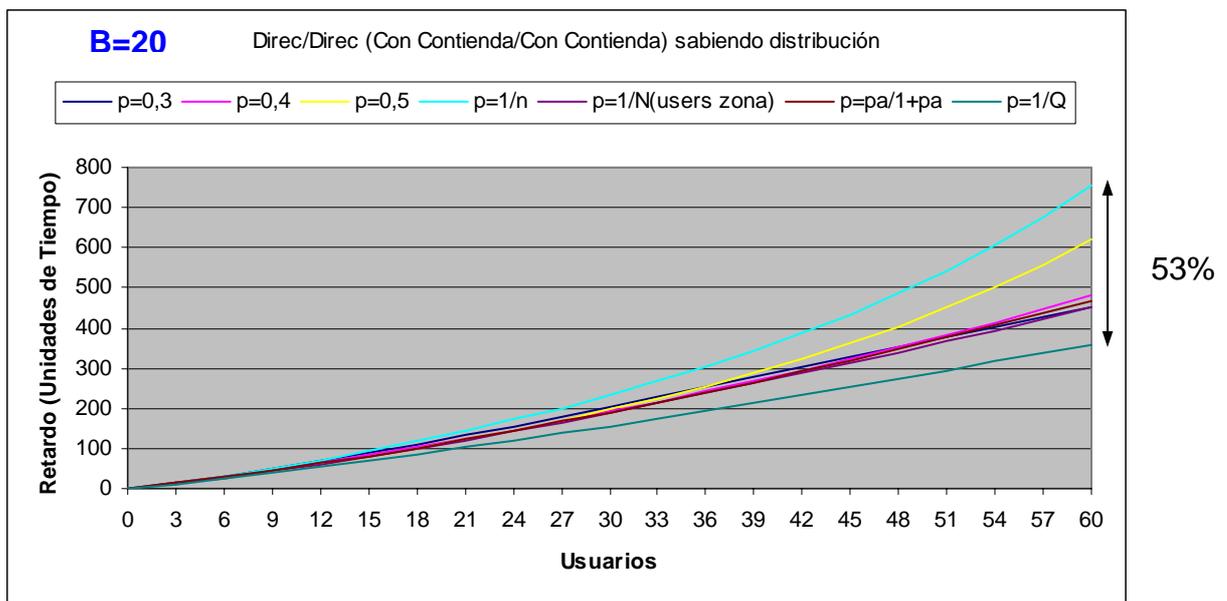


Fig. 4.13 Direc/Direc (Sin contienda/Con contienda) Sabiendo distribución – Sin Movilidad

Como podemos apreciar en la Fig. 4.13, y a diferencia de lo ocurrido en el método anterior, en este método el hecho de modificar el valor de P varía notablemente los retardos finales.

Una vez más, el mejor caso se produce cuando la probabilidad toma el valor de la inversa del número de usuarios que quedan por resolver.

El peor caso se diferencia, de un modo más marcado, ya que los usuarios colisionan en mayor medida y por lo tanto n aumenta mucho de valor lo que supone una probabilidad de transmisión muy pequeña y, por lo tanto, un mayor retardo de transmisión.

En el mejor de los casos, es decir con $P=1/Q$, la mejora respecto al peor caso ($p=1/n$) con 60 usuarios es de un 53% aproximadamente.

A continuación repetimos las mismas situaciones que en la gráfica anterior pero en este caso el AP sólo conoce el número de usuarios totales de la zona.

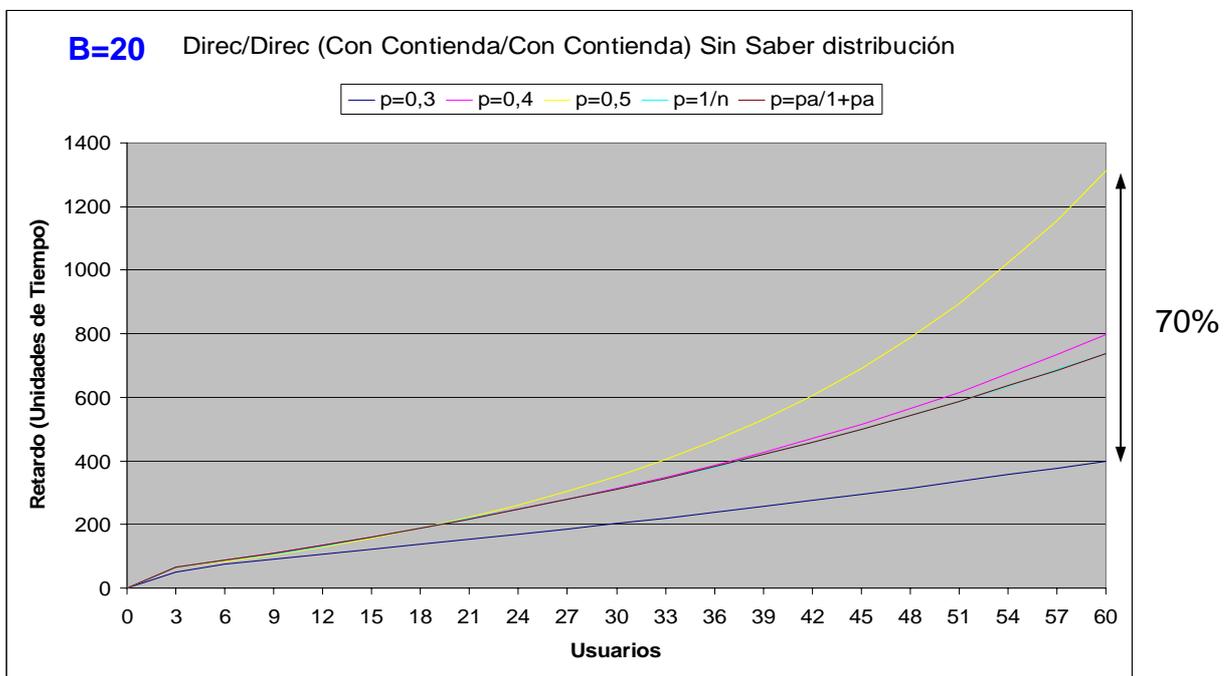


Fig. 4.14 Direc/Direc (Con contienda/Con contienda) Sin saber distribución – Sin Movilidad

Del mismo modo que en el caso del método Omni/Direc (Sin contienda/Con contienda) en la Fig 4.14, hay dos valores de P que no se han estudiado ya que si el AP desconoce el número de usuarios que hay en cada beam no puede calcular una P que dependa del número de usuarios que hay en él.

En este método el hecho de modificar el valor de P varía de forma muy significativa los retardos finales.

En este caso, los retardos son mayores que en el caso anterior ya que aquí además de no haber Subzona broadcast donde se resuelven inicialmente 2/3 de los usuarios totales, el AP no sabe cuantos usuarios hay en cada beam lo cual supone tener que preguntar por todos los usuarios (aun no resueltos) en cada una de las beam.

De este modo, el retardo con 60 usuarios del mejor caso es aproximadamente un 70% menor que el peor.

En la siguiente gráfica repetimos las mismas situaciones que en las anteriores para el caso en que el AP estima cuantos usuarios hay en cada beam.

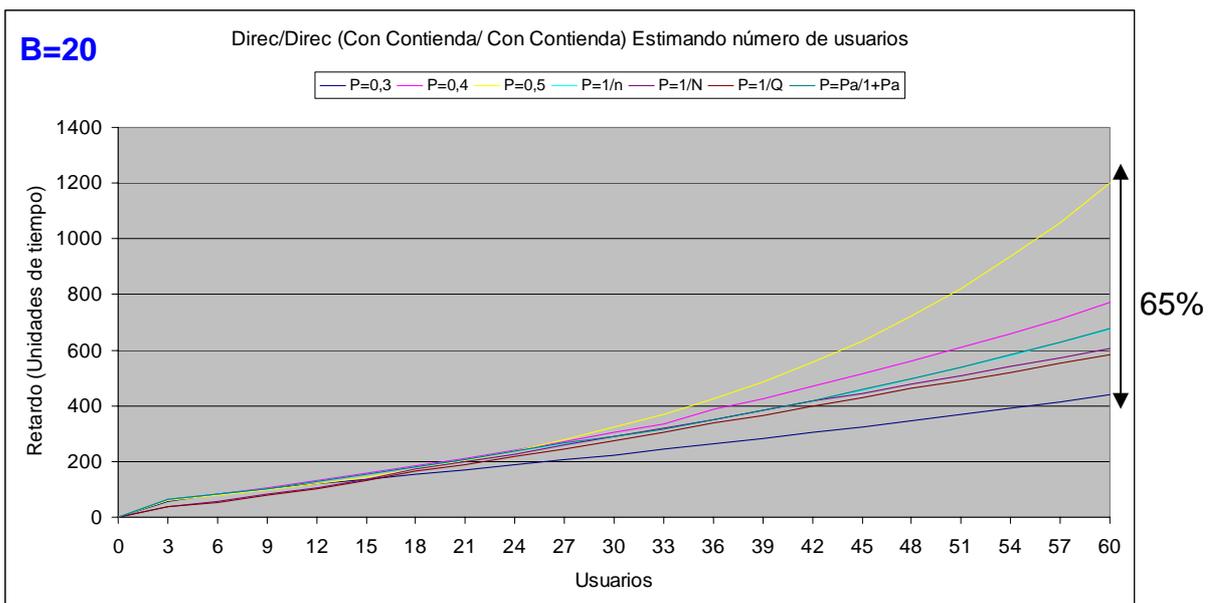


Fig. 4.15 Direc/Direc (Con contienda/Con contienda) Estimando N° Usuarios - Sin Movilidad

Como vemos en la Fig. 4.15, tal y como ocurría en los casos anteriores, el hecho de modificar la probabilidad de transmisión modifica sustancialmente el retardo de resolución.

Tal y como vemos en la gráfica, el retardo con 60 usuarios en el mejor de los casos ($P=0,3$) es un aproximadamente un 65% menor que el peor ($P=0,5$).

Por último, en la siguiente gráfica se muestra comparativamente la evolución del retardo en función del número de usuarios para los distintos tipos de conocimientos del AP con $P=Pa/1+Pa$.

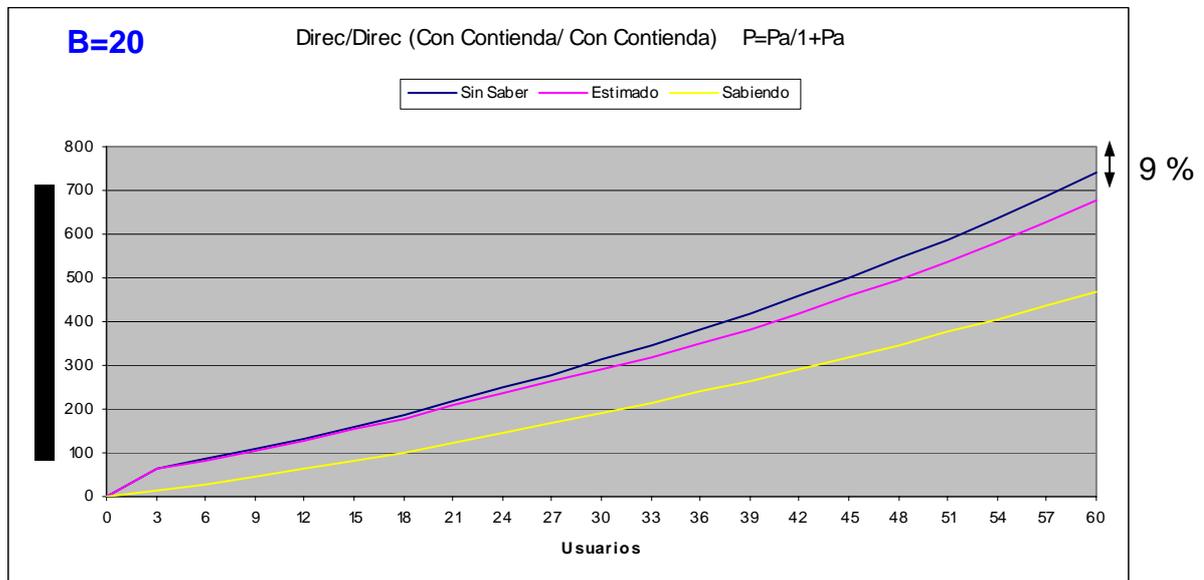


Fig. 4.16 Retardo en Direc/Direc (Con contienda/con contienda) según conocimiento del AP - Sin Movilidad

Del mismo modo que en el método Omni/Direc (Sin Contienda/ Con Contienda) el retardo de resolución de usuarios para el caso en el que el AP estima cuantos usuarios hay en cada beam es ligeramente menor que el caso en que solo conoce el número de usuarios, concretamente un 9 % menor. De igual modo, el retardo para el caso en que el AP conoce la distribución de los usuarios es menor que los otros dos.

Una vez analizado este método para sus dos casos, podemos concluir que:

- El hecho de conocer cuantos usuarios hay en cada beam mejora los resultados. Como el AP conoce el número de usuarios que debe resolver en cada beam, no es necesario que siga preguntando si éste ya ha resuelto todos los que había en él.
- Aún sabiendo la distribución de los usuarios, este método no mejora los retardos del método Omni/Direc (Sin Contienda/Con Contienda) (Ver Fig. 4.9).
- Si el AP desconoce cuantos usuarios hay en cada beam, siempre preguntará por todos los usuarios que quedan por resolver en todos los beams y, por lo tanto, esto aumenta notablemente el retardo. (Ver Fig. 4.14).

Los resultados obtenidos eran los esperados, cuantos más datos conoce el AP, menor es el retardo de resolución.

4.3.1.5 Conclusiones

Una vez analizados los cuatro métodos de resolución de usuarios podemos afirmar que:

- En el caso ideal donde el AP conoce además del número total de usuarios, cuál es su distribución el retardo de resolución de usuarios es menor.
- En el caso donde el AP estima el número de usuarios que hay en cada beam, el retardo de resolución de usuarios es menor que en el caso sin saber pero mayor que el caso de saber la distribución (Ver Fig. 4.16).
- El método que resuelve a todos los usuarios de la zona en el menor tiempo sin saber su distribución (caso realista) es el Omni/Direc (Sin Contienda/ Sin Contienda) con 5 beams (Ver Fig. 4.6).
- Para los métodos sin contienda, el hecho de subdividir la zona en pocos beams reduce el retardo de resolución de usuarios de manera considerable (Ver Fig. 4.5).
- Para los métodos con contienda, el hecho de subdividir la zona en más beams disminuye el retardo de resolución ya que en media hay menos usuarios por beam y por lo tanto se producen menos colisiones (Ver Fig. 4.13).
- En el caso ideal donde el AP conoce además del número total de usuarios, cuál es su distribución, la probabilidad óptima de transmisión para que se produzcan el menor número de colisiones es igual a la inversa del número de usuarios que quedan por resolver en el beam (Ver Fig. 4.9).

4.3.2 Resultados Con Movilidad

A continuación vamos a analizar varias situaciones, donde veremos cuál es la mejora del retardo de resolución de usuarios de la segunda búsqueda respecto a la primera.

Cabe destacar que para caracterizar los retardos de resolución de usuarios en la segunda búsqueda y posteriores se ha decidido que en la primera búsqueda el AP sólo conozca el número de usuarios totales de la zona.

Sólo hemos escogido este caso ya que además de ser el más realista el hecho de que el AP tenga más conocimiento en la primera búsqueda no influye en los retardos de las búsquedas posteriores.

4.3.2.1 Omni/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda)

A continuación vemos la gráfica donde se visualiza los diferentes valores de retardo de resolución de usuarios. Tal y como se puede observar en la leyenda, se ha distinguido tanto el número de beams como si se trata de primera ó segunda búsqueda, es decir, para cada valor de la leyenda tenemos un primer número que indica si se trata de la primera o posteriores búsquedas (1-2) y un segundo valor que indica el número de beams (5-10-15-20B).

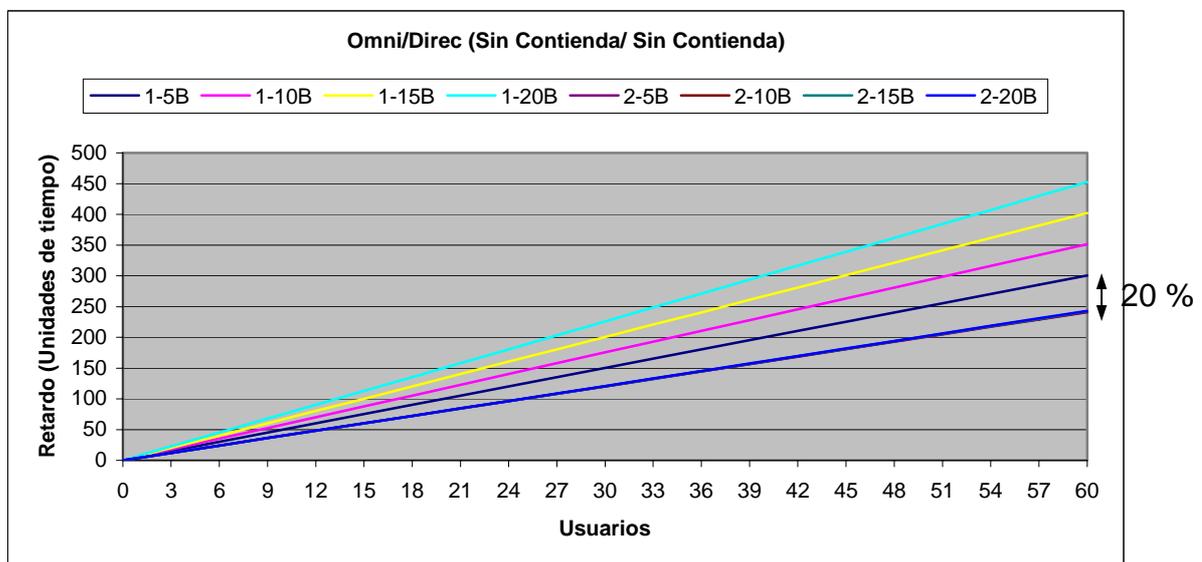


Fig. 4.17 Retardo en Omni/Direc (Con contienda/Sin contienda) Con Movilidad

Tal y como podemos observar en la gráfica anterior, los retardos de resolución de usuarios para las segundas búsquedas son menores que en las primeras búsquedas. Sin embargo, el tiempo que invierte el AP en resolver a los usuarios en la segunda búsqueda no varía mucho al cambiar el número de beams.

La razón por la cuál los retardos en la segunda búsqueda son tan similares entre sí, se debe a que el AP busca a los usuarios en el beam/Subzona broadcast donde se encontraban la última vez y la gran mayoría de ellos se siguen encontrando en ese mismo beam/Subzona broadcast o en beams adyacentes.

Esto conlleva que aumentar el número de beams no aumente de manera sustancial el retardo de resolución de usuarios.

4.3.2.2 Direc/Direc (Sin Contienda/Sin Contienda)

Para este segundo método se repiten las mismas situaciones que en el método anterior, es decir, se calcula el retardo de resolución de usuarios para los distintos valores de B , tanto para la primera como para la segunda.

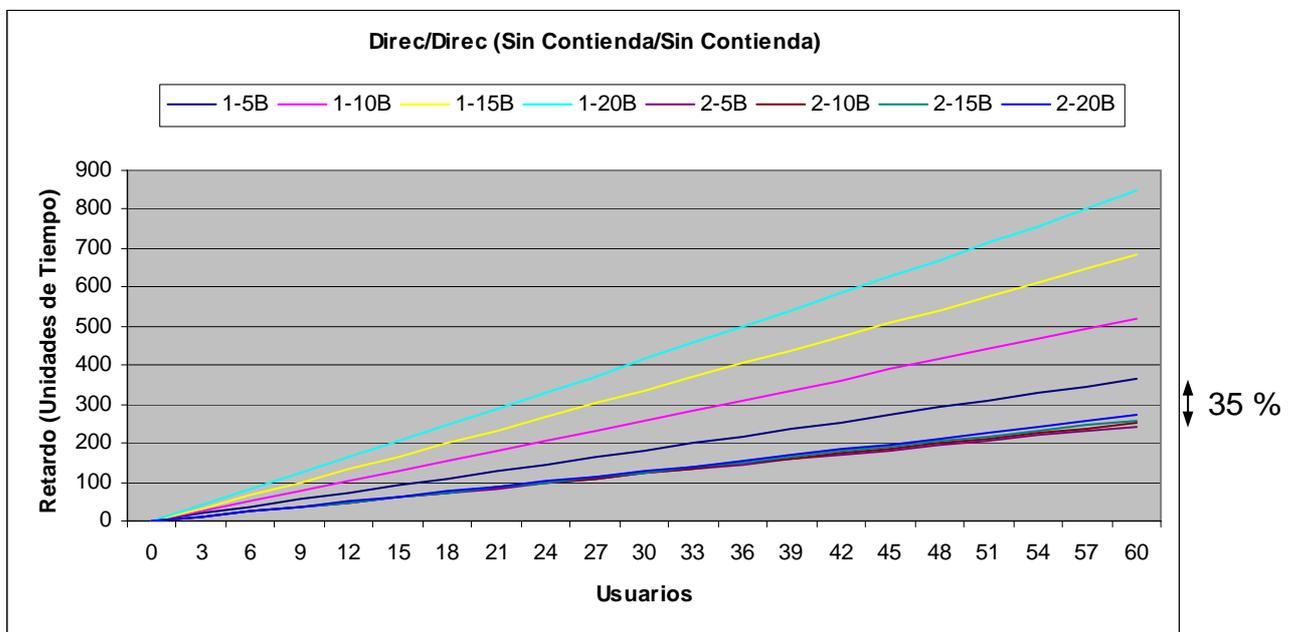


Fig. 4.18 Retardo en Direc/Direc (Sin contienda/Sin contienda) Con Movilidad

Tal y como se observa en la Fig. 4.18, del mismo modo que en el método anterior, los retardos de resolución de usuarios para las segundas búsquedas son menores que en las primeras búsquedas. Como vemos en la gráfica, tenemos una mejora de un 35% en las segundas búsquedas respecto al mejor caso de la primera búsqueda, es decir, con 5 beams.

De igual forma, el tiempo que invierte el AP en resolver a los usuarios en la segunda búsqueda no varía mucho al cambiar el número de beams.

4.3.2.3 Omni/Direc (sin contienda/con contienda)

Para este tercer método, al tratarse de un método con contienda se analiza el retardo de resolución de usuarios variando la probabilidad de transmisión de estos.

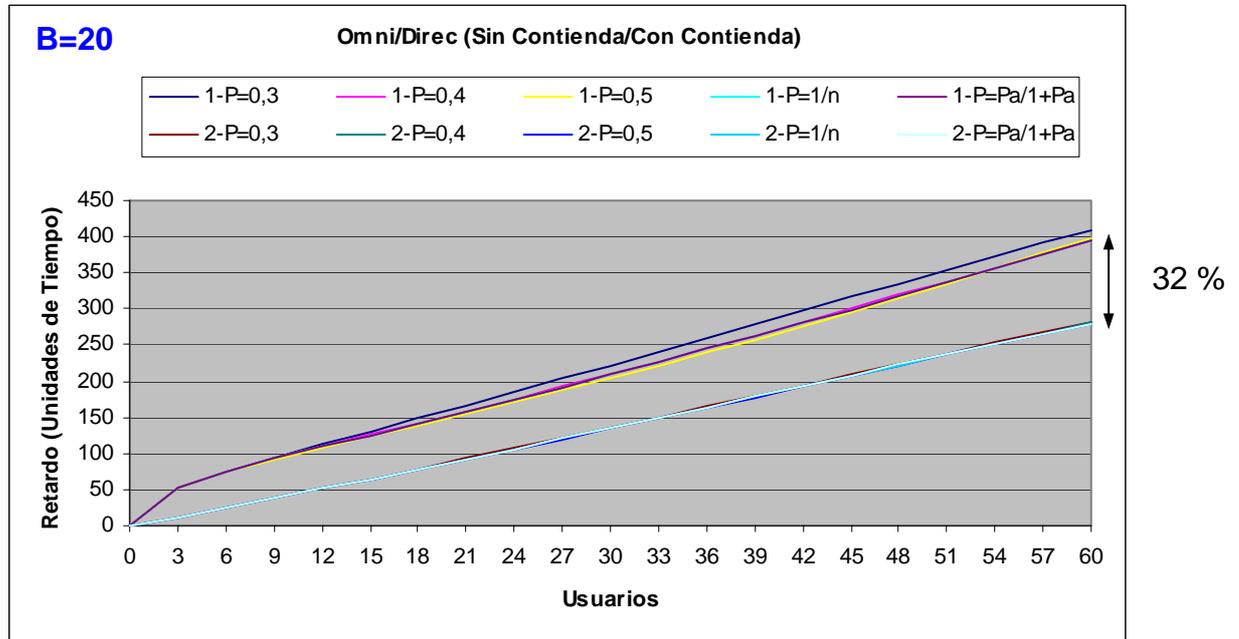


Fig. 4.19 Retardo en Omni/Direc (Sin contienda/Sin contienda) Con Movilidad

Tal y como se observa en la Fig. 4.19, del mismo modo que en los métodos anteriores, los retardos de resolución de usuarios para las segundas búsquedas son menores que en las primeras búsquedas. De igual forma, el tiempo que invierte el AP en resolver a los usuarios en la segunda búsqueda no varía mucho al cambiar el número de beams.

Como podemos ver en la gráfica, el retardo de resolución de usuarios de las segundas búsquedas para 60 usuarios es aproximadamente un 32% menor que para las primeras.

4.3.2.4 Direc/Direc (con contienda/con contienda)

Para este cuarto método se repiten las mismas situaciones que en el método anterior.

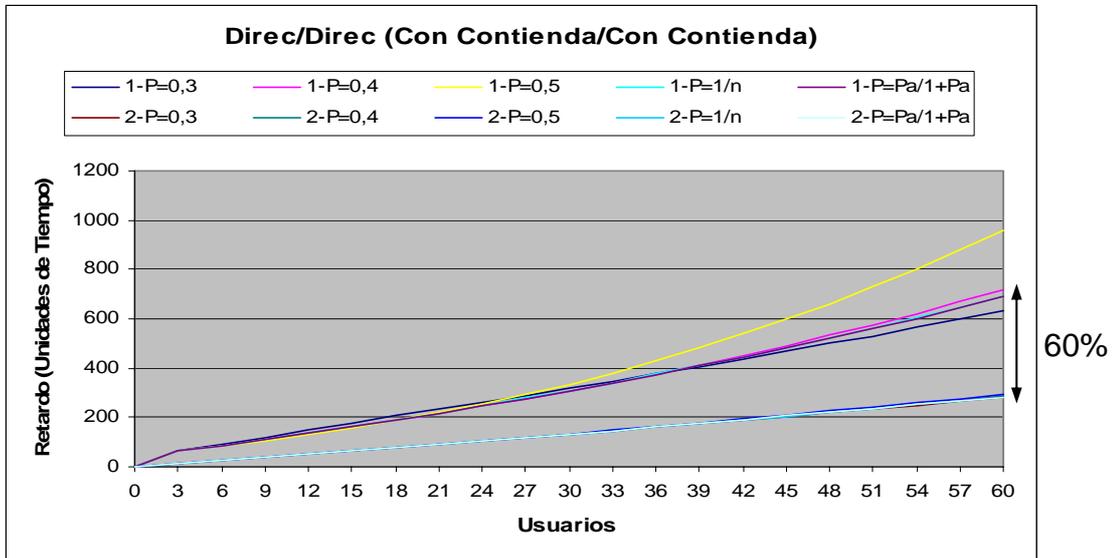


Fig. 4.20 Retardo en Direc/Direc (Con contienda/Sin contienda) Con Movilidad

Tal y como se observa en la Fig. 4.20, del mismo modo que en los métodos anteriores, los retardos de resolución de usuarios para las segundas búsquedas son menores que en las primeras búsquedas. De igual forma, el tiempo que invierte el AP en resolver a los usuarios en la segunda búsqueda no varía mucho al cambiar el número de beams.

Como podemos ver en la gráfica, el retardo de resolución de usuarios de las segundas búsquedas para 60 usuarios es aproximadamente un 60% menor que para las primeras. Esto se ha considerado sin tener en cuenta el caso aislado donde la P toma el valor 0,5.

4.3.2.5 Conclusiones

Una vez analizados los cuatro métodos para usuarios con movilidad podemos concluir que:

- El hecho de que los usuarios tengan movilidad prácticamente no modifica el retardo de resolución de usuarios en la primera búsqueda. Esto se debe a que la reducida velocidad con la que se mueven los usuarios junto al reducido tiempo que requiere el AP para resolver a todos los usuarios de la zona provocan poco desplazamiento, es decir, en ese periodo de tiempo los usuarios cambian poco de beam/zona omnidireccional.

- El hecho de modificar el número de beams, aumenta el retardo de resolución de usuarios ya que, aunque el desplazamiento de los usuarios sea mínimo, cuantos más beams hay, más pequeño es el espacio que cubren y por lo tanto mayor es la probabilidad de que un usuario pueda salirse de él.
- Para la segunda búsqueda y posteriores, el retardo de resolución de usuarios disminuye considerablemente. Esto ocurre ya que el AP utiliza información sobre la distribución de los usuarios en la búsqueda anterior.
- El método que requiere un menor tiempo para resolver a todos los usuarios de la zona tanto para la primera búsqueda como para las posteriores es el Omni/Direc (Sin Contienda/ Sin contienda) con 5 beams. Para este método, en la segunda búsqueda y posteriores el AP requiere, en media 241,04 unidades de tiempo para resolver a 60 usuarios. Esto es prácticamente un tiempo de resolución ideal ya que cada usuario requiere un mínimo de 4 unidades de tiempo (Polling Message(1), P_ACK(2), ACK(1)) para ser resuelto. Esto para 60 usuarios son 240 unidades de tiempo. De este modo y para este caso, el retardo de resolución para la segunda búsqueda es un 20 % mejor que el mismo en la primera búsqueda (Ver Fig. 4.17).

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

5.1 Conclusiones

Una vez analizados todos métodos de resolución de usuarios para los diferentes conocimientos del AP, tanto en la situación donde los usuarios son fijos como en la que tienen cierta movilidad, podemos concluir con las siguientes ideas generales sobre los mecanismos estudiados:

- La utilización de antenas inteligentes aumenta el rango de cobertura.
- En el caso de que el AP pudiera conocer, además del número total de usuarios, la distribución de ellos a lo largo de la zona, el tiempo que emplea el AP para resolverlos es mucho menor que el caso donde éste únicamente conoce el número de usuarios totales.
- El hecho de que el AP estime de manera inteligente el número de usuarios que hay en cada beam mejora el tiempo de resolución respecto al caso en que no realiza ningún tipo de estimación.
- En un escenario donde los usuarios tengan cierta movilidad es necesario que cada cierto tiempo el AP resuelva de nuevo a los usuarios. El hecho de aprovechar información acerca de la localización de los usuarios de la búsqueda anterior mejora considerablemente el tiempo de resolución.

5.2 Líneas futuras de investigación

Este proyecto queda englobado dentro del ámbito de las redes de área local inalámbricas en las que se utilizan puntos de accesos con antenas inteligentes. Sin embargo, al tratarse de un estudio de investigación abre diversas líneas indagación tales como:

- Posibilidad de que el punto de acceso esté dotado de **dos ó más antenas inteligentes** que trabajen simultáneamente. Además, las antenas pueden estar controladas por un mismo chip o que cada antena tenga un chip independiente.
- Posibilidad de que durante el transcurso de la fase de resolución de usuarios el **AP recalcule la cantidad de beams** en que debe dividir la zona. Este cambio supone una mejora en la eficiencia de la resolución de usuarios para el caso en que el rango de los beams no sean apropiados al número de usuarios que hay en la zona.

- Una vez finalizada la fase de descubrimiento de usuarios debe aplicarse una serie de **políticas que establezcan qué usuario puede transmitir** en cada instante de tiempo.
- Cabe destacar que este proyecto se ha realizado bajo unas condiciones de canal ideal, es decir, considerando en todo momento que el canal no introduce ningún error en las comunicaciones entre el AP y los usuarios. Sin embargo, en un caso más real se pueden producir errores en las transmisiones debido a interferencias en el canal, desvanecimientos de señal, etc.

6 REFERENCIAS

[1] <http://www.wi-fi.org>

[2] <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>

[3] Salvatore Bellofiore, Constantine A. Balanis, Jeffrey Foutz, Andreas S. Spanias. "Smart-Antenna Systems for Mobile Communication Network. Part 1: Overview And Antenna Design". IEEE Antenna's and Propagation Magazine, Vol. 44, No. 3, June 2002.

[4] Tianmin Ren, Iordanis Koutsopoulos, Leandros Tassiulas. "Efficient Media Access Protocols for Wireless LANs with Smart Antenas". 2003 IEEE