



Escola Politècnica Superior  
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TRABAJO FINAL DE CARRERA

**TÍTULO DEL TFC:** Análisis de un protocolo de Acceso al Medio para Redes de Comunicaciones Inalámbricas con el uso de antenas inteligentes

**TITULACIÓN:** Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, especialidad en sistemas de Telecomunicación

**AUTOR:** Josep Oriol Riera Rabassa

**DIRECTORES:** Luis Alonso Zárate i Crhistos Verikoukis

**FECHA:** 24 de febrero de 2006



**Título:** Análisis de un protocolo de Acceso al Medio para Redes de Comunicaciones Inalámbricas con el uso de antenas inteligentes

**Autor:** Josep Oriol Riera Rabassa

**Directores:** Luis Alonso Zárate i Crhistos Verikoukis

**Fecha:** 24 de febrero de 2006

## **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. Una característica básica que se busca en el diseño de un sistema basado en el uso de antenas inteligentes es la capacidad de seleccionar espacialmente a los distintos usuarios.

Este tipo de antenas pueden 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 este tipo de antenas implica que los usuarios deben tener una firma espacial que indique cuáles son sus coordenadas en el espacio en cada momento. Por ese motivo, existe una fase previa a la transferencia de información donde el punto de acceso debe descubrir las posiciones de todos los 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. Partimos del estudio ya realizado para el escenario en que el punto de acceso esta formado por un transceptor. Este estudio se ha ampliado y completado de cara a comparar la eficiencia del mismo respecto a escenarios en que el punto de acceso esta formado por dos o tres transceptores.

Para estudiar dichos métodos se ha modificado un simulador capaz de implementar el proceso de descubrimiento de usuarios según varios métodos posibles, adecuándolos para este nuevo propósito. Con el análisis de los resultados se han obtenido una evaluación exhaustiva de las mejoras que pueden obtenerse utilizando dos o tres transceptores en cada punto de acceso, combinado con el uso de antenas inteligentes.

**Title:** Análisis de un protocolo de Acceso al Medio para Redes de Comunicaciones Inalámbricas con el uso de antenas inteligentes

**Author:** Josep Oriol Riera Rabassa

**Directors:** Luis Alonso Zárate i Crhistos Verikoukis

**Date:** February, 24th 2006

## Overview

This project has been developed within the wireless communications environment, specifically focusing in WLAN systems with smart antennas capabilities.

Smart antennas provide a increase in the coverage range in WLANs as well as a remarkable interference reduction. One key design issue of smart antenna-based systems is the capacity of spatially select each one of the communication users.

This kind of antennas are able to generated an oriented radiation beam towards the proper selected direction for the communications, achieving and enhanced transmission range and a significant reduction of the interference generated in the direction where the information is not sent.

Using this kind of antennas implies that each user must have a spatial signature to indicate its coordinates in every moment. Then, an initial information transfer phase is required for the Access Point (AP) to discover the position of all the users.

The main objective of this project consists in the study of a set of algorithms aimed to discover, in the most efficient possible way, the position of all the users, within the phase previous to the data communications. The starting point is an already developed study for a system where APs have a single transceptor. This study has been enhanced and completed in order to compare its performance with respect to systems where APs have two or three transceptors.

In order to study these algorithms, a software simulator has been adapted and modified, including several different discovering methods, properly adjusted for the new study-case scenario. The analysis of the obtained results allows to exhaustively evaluate the potential achievable benefits when using two or three transceptors per AP, as well as taking profit of the smart antennas capabilities.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS .....</b>	<b>3</b>
1.1. <b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
1.2. <b>Redes inalámbricas .....</b>	<b>4</b>
1.3. <b>Regulación de las comunicaciones inalámbricas.....</b>	<b>5</b>
1.4. <b>WLAN .....</b>	<b>6</b>
1.5. <b>Antenas inteligentes .....</b>	<b>7</b>
1.5.1 <b>Tipos de alcances.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE RESOLUCIÓN DE USUARIOS .....</b>	<b>12</b>
2.1. <b>Teoría de resolución de usuarios .....</b>	<b>12</b>
2.2. <b>Información disponible por el AP.....</b>	<b>13</b>
2.3. <b>Descripción de los métodos .....</b>	<b>13</b>
2.3.1 <b>Based Beam Beam (Con Contienda) .....</b>	<b>13</b>
2.3.2 <b>Based Broad Beam (Sin Contienda/Con Contienda) .....</b>	<b>16</b>
2.3.3 <b>Free Beam Beam (Sin Contienda) .....</b>	<b>17</b>
2.3.4 <b>Free Broad Beam (Sin Contienda/Con Contienda) .....</b>	<b>19</b>
2.4. <b>Resolución de contienda.....</b>	<b>20</b>
2.5. <b>Métodos para resolver los beams .....</b>	<b>21</b>
2.5.1 <b>Método M1 .....</b>	<b>22</b>
2.5.2 <b>Método M2.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 3. EL SIMULADOR.....</b>	<b>27</b>
3.1. <b>Introducción .....</b>	<b>27</b>
3.2. <b>Diagrama de flujo de los métodos .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 <b>Free Broad Beam .....</b>	<b>29</b>
3.2.2 <b>Free Beam Beam .....</b>	<b>31</b>
3.2.3 <b>Based Broad Beam .....</b>	<b>32</b>
3.2.4 <b>Based Beam Beam.....</b>	<b>33</b>

<b>CAPÍTULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Definiciones previas escenario de trabajo .....</b>	<b>35</b>
4.1.1 Los usuarios .....	35
4.1.2 Unidades de medida .....	35
<b>4.2 Descripción del escenario .....</b>	<b>35</b>
<b>4.3 Intoducción a los resultados.....</b>	<b>36</b>
<b>4.4 Estudio de los métodos en el caso “Esperando” .....</b>	<b>36</b>
4.4.1 Escenarios sin contienda.....	36
4.4.1.1 Free Beam Beam .....	36
4.4.1.2 Free Broad Beam .....	39
4.4..2 Escenarios con contienda.....	41
4.4.2.1 Based beam Beam.....	41
4.4.2.2 Based Broad Beam .....	44
4.3.1.3 Conclusiones .....	45
<b>4.5 Estudio de los métodos en el caso “ Sin Esperar” .....</b>	<b>47</b>
4.5.1 Escenarios sin contienda.....	47
4.5.1.1 Free Beam Beam .....	47
4.5.1.2 Free Broad Beam .....	48
4.5.2 Escenarios con contienda .....	49
4.5.2.1 Based Beam Beam.....	49
4.5.2.2 Based broad Beam.....	50
4.5.2.3 Conclusiones .....	51
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN ...</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Líneas futuras de investigación.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 6. REFERENCIAS .....</b>	<b>54</b>







## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, las redes inalámbricas han tenido una explosión muy importante. El crecimiento de los usuarios en este tipo de sistemas, es cada vez mayor, esto ha provocado una necesidad de incrementar su capacidad.

La motivación de la sociedad para utilizar redes IP inalámbricas locales, con anchos de banda elevados permitió el desarrollo y expansión de las WLAN, Wireless Local Área Network.

Las WLAN son sistemas de comunicaciones flexibles muy utilizados como alternativa a la LAN cableada o como una extensión de esta. Utiliza tecnología de radio frecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizarse las conexiones cableadas.

El crecimiento y desarrollo de las WLAN tiene limitaciones en lo que se refiere a alcance, eficiencia y capacidad entre otros.

Uno de los aspectos más característicos de estos servicios son las altas tasas binarias que demandan, lo cual, unido al hecho que el número de usuarios no deja de crecer, puede provocar a corto plazo un incremento espectacular del tráfico soportado por estas redes.

Por lo que se refiere al alcance, en un entorno sin cables, si los usuarios se alejan en demasía del punto de acceso (las comunicaciones se comunican a través de un nodo central) pueden llegar a perder todo tipo de comunicación con éste.

En estos aspectos, se ha planteado en diversos colectivos el uso de antenas inteligentes para su utilización dentro de las WLAN.

Una antena inteligente es aquella que, en lugar de disponer de un diagrama de radiación fijo, es capaz de generar o seleccionar haces muy directivos enfocados hacia el usuario deseado, e incluso es capaz de adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento. La característica más importante de estas antenas es por tanto radiar en determinados momentos con una mayor directividad, esto tiene ciertas ventajas como son incremento de la zona de cobertura, reducción del nivel de interferencia o reducción de la potencia transmitida por el punto de acceso, entre otros.

Una característica básica que se busca en el diseño de un sistema basado en el uso de antenas inteligentes es la capacidad de seleccionar espacialmente a los distintos usuarios. Esto implica que los usuarios deben tener una firma espacial que indique cuáles son sus coordenadas en el espacio de cara a poder configurar adecuadamente las antenas inteligentes en cada momento. Por tanto en una primera fase anterior a la transferencia de información los diversos puntos de acceso deben descubrir la posición de todos los usuarios.

El objetivo final de este proyecto es realizar un estudio del rendimiento de diferentes algoritmos de descubrimiento de usuarios, como fase previa al envío de información propia de los

Para cada algoritmo propuesto se realizarán diversas pruebas con dos y tres puntos de acceso y se compararán con los resultados obtenidos en el caso de utilizar un solo punto de acceso. En cada caso se hará una comparativa de resultados y se llegará a unas conclusiones de aplicación práctica.

Hemos dividido el trabajo en 5 capítulos. En el primero se hace referencia a las comunicaciones inalámbricas y se realiza una introducción a las antenas inteligentes. En un segundo capítulo describimos los métodos y algoritmos utilizados, así como su modelo correspondiente. El tercer capítulo explica como se ha implementado el simulador que nos ha permitido obtener los resultados para el proyecto. Los resultados obtenidos así como su análisis se encuentran documentados en el cuarto capítulo. Para cada resultado se analizan las características de cada método de búsqueda. Finalmente, dentro del quinto y último capítulo se escriben las conclusiones a las que se ha llegado a partir de los resultados. También se hace mención a futuras líneas de investigación para antenas inteligentes aplicadas a las WLAN.

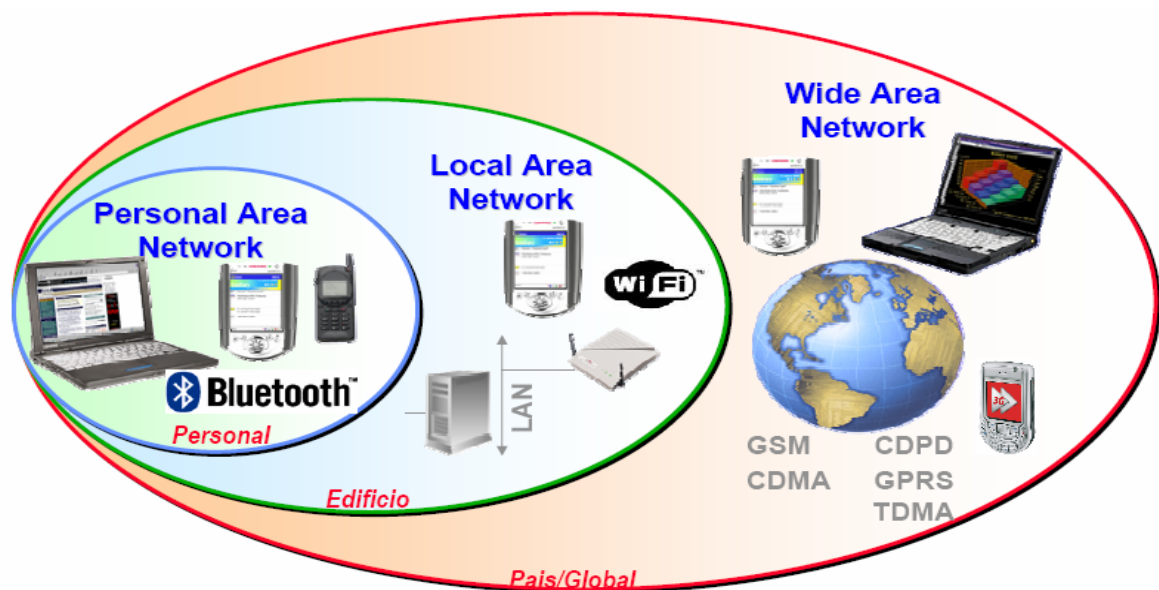
## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

### 1.1 Introducción

Entendemos como comunicación inalámbrica aquel sistema de comunicaciones que transfiere y recibe datos utilizando ondas electromagnéticas, sin necesidad de utilizar par trenzado, coaxial o fibra óptica. Proporcionan conectividad inalámbrica de igual a igual (peer to peer).

El origen de este tipo de comunicaciones inalámbricas se remonta a los años 70, fruto de los resultados al utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local. Podemos considerar este como el punto inicial de la actual tecnología.

En sus inicios las aplicaciones de este tipo de redes, fueron específicas para la industria o grandes almacenes. En la actualidad estas redes son instaladas en universidades, hogares, hospitales o incluso espacios públicos. El espectacular desarrollo de Internet y la introducción de dispositivos informáticos cada vez más personales (ordenadores portátiles, pocketPC, PDA y teléfonos móviles entre otros) hace que los usuarios demanden con urgencia unas comunicaciones de datos más móviles, flexibles y cómodas. En este entorno cada vez son más el número de soluciones inalámbricas: GSM, UMTS, Wi-Fi, Bluetooth, Dect, GPRS, 3G, LMDS, etc. [ Fig. 1.1].



**Fig. 1.1** Tipos de redes según extensión

Aunque no podemos ocultar los problemas existentes para este tipo de tecnología, tales como limitaciones de ancho de banda disponible, interferencias con otras tecnologías o seguridad de la información transmitida. Se están buscando vías para mejorar todos estos inconvenientes

## 1.2 Redes inalámbricas

Una de las tecnologías más prometedoras y discutidas en esta última década es la de poder comunicar computadoras o cualquier dispositivo informático mediante tecnología inalámbrica. La conexión de estos elementos mediante ondas de radio o luz infrarroja, ha sido y está siendo investigado de una manera amplia.

No se espera que estas redes lleguen a remplazar las redes cableadas, aunque por su naturaleza ofrecen una mayor flexibilidad respecto a la red tradicional. Facilitan la creación de redes donde sus elementos no pueden permanecer en un solo lugar, como oficinas que se encuentren en diversos pisos o en lugares donde físicamente no es viable crear redes con cables.

A niveles de implementación, crear una red inalámbrica es mucho más sencillo que crear una red cableada. Por tanto una característica importante es la escalabilidad para este tipo de redes. El cambio de topología de red es sencillo y trata igual pequeñas y grandes redes.

Inicialmente las primeras tienen un costo más elevado que las tecnologías con hilos, aunque cuando se dan cambios frecuentes o el entorno es muy dinámico el costo inicial es significativamente más bajo. Además las redes sin hilos tienen mayor tiempo de vida y menor gasto de instalación.

Otro factor que hay que tener en cuenta al decidir que tipo de red escoger es el ancho de banda que ofrecen y su velocidad de transmisión. Mientras que las redes cableadas ofrecen un ancho de banda de transmisión de 1 a 10 Gbps y una velocidad de transmisión de hasta 10 Mbps, las redes sin cables ofrecen un ancho mucho menor; de 11 a 54Mbps y velocidades de hasta 2 Mbps.

Sin embargo se pueden mezclar estos dos tipos de redes y generar una “Red Híbrida”, esta solución es muy utilizada en la actualidad [ Fig. 1.2] .



**Fig. 1.2** Ejemplo de red híbrida

Según el alcance de la red inalámbrica podemos clasificarlas de la siguiente forma;

- **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

<b>WPAN</b>	<b>WLAN</b>	<b>WMAN</b>	<b>CELULAR</b>
<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

La regulación de la tecnología inalámbrica es un aspecto muy importante para su correcto desarrollo. En cada región existe un organismo que se encarga de regular el espectro radioeléctrico, así como las bandas de frecuencia utilizadas en sus comunicaciones.

Estos organismos son los encargados de crear unas reglas o estándares para asegurar que las comunicaciones tengan suficientes garantías de éxito y no existan interferencias con otras comunicaciones. Es por eso que la mayoría de frecuencias no pueden ser utilizadas sin una licencia.

Estos organismos son reconocidos internacionalmente, tal es el caso de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) o la ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Una vez desarrollados estos estándares, estos se convierten en la base de los fabricantes para desarrollar sus productos, que deben ser compatibles con estas normas para un buen funcionamiento de la red.

También existen frecuencias libres en las bandas de 900MHz, 2,4GHz y de 5GHz que se pueden utilizar sin licencia.

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

**Tabla 1.2** Normas y Características estándar 802.11,11b y 11g

Estándar	Área	Frecuencias	Potencia máxima
802.11,11b y 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

## 1.4 WLAN

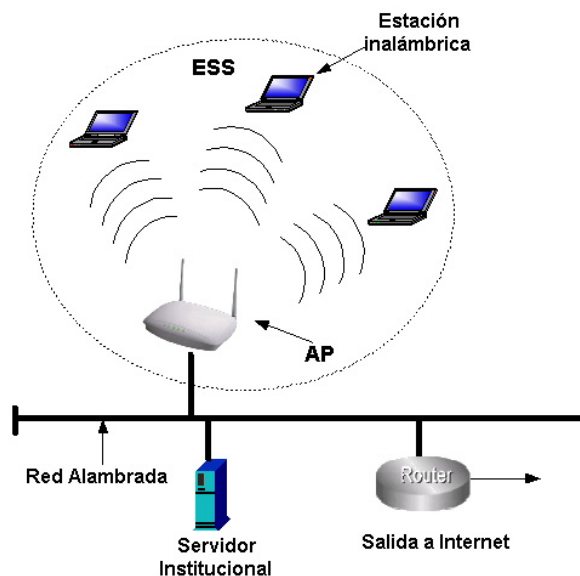
Definimos como WLAN, una red inalámbrica que establece comunicación entre sus dispositivos dentro de un área local, tal como un edificio o un campus.

El escenario de nuestro estudio se basa en este tipo de redes sin cables, en inglés Wireless Local Area Networks (WLAN).

El gran éxito de las WLAN es que utilizan frecuencias de uso libre, es decir no hace falta pedir permiso alguno par utilizarlas. Como ya hemos comentado anteriormente los anchos se sitúan en 900 MHz, 2,4GHz y de 5GHz.

Estas redes están pensadas para establecer comunicaciones entre dispositivos informáticos o terminales en distancias relativamente cortas. La comunicación entre estos elementos puede definirse de dos modos; Modo infraestructura y Ad-Hoc.

En el modo infraestructura, las comunicaciones se comunican a través de al menos un nodo central, llamado punto de acceso. Utilizaremos la abreviación AP a partir de ahora. Este AP puede estar conectado o no a una red alámbrica. Mostramos este tipo de redes en la siguiente figura[ Fig. 1.3] :

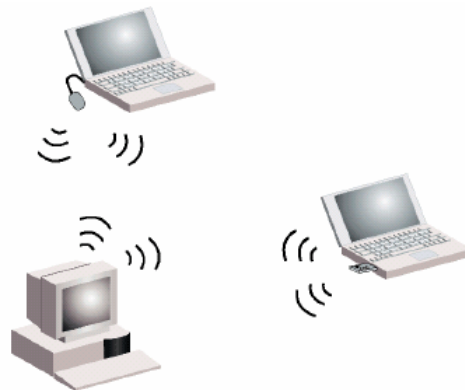


**Fig. 1.3** Ejemplo de comunicación inalámbrica en modo infraestructura

El modo Ad-Hoc es simplemente una configuración de estaciones que se comunican directamente unas con otras sin utilizar un AP o cualquier conexión a la red cableada.

Este modo es útil para una rápida y fácil puesta en marcha de una red inalámbrica en cualquier lugar donde no exista infraestructura wireless como en un cuarto de hotel, un centro de convenciones, un aeropuerto o donde el acceso a la red alámbrica este restringido.

En la siguiente figura podemos apreciar este tipo de redes [ Fig. 1.4 ] .



**Fig. 1.4** Ejemplo de comunicación inalámbrica Ad-Hoc

La investigación desarrollada en este trabajo se ha realizado basándose en las comunicaciones WLAN en modo infraestructura. Utilizaremos hasta 3 AP en la simulación de nuestro estudio.

En este tipo de WLANs, actualmente 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.

## 1.5 Antenas inteligentes

Durante los últimos años, el crecimiento continuado del número de usuarios en los sistemas de comunicaciones inalámbricos ha provocado una necesidad cada vez mayor de incrementar su capacidad y alcance. Como consecuencia de esta demanda se esta investigando sobre desarrollo de algoritmos y estándares que exploten el espacio de una manera eficiente. Se está investigando sobre el uso de antenas inteligentes para paliar esta demanda.

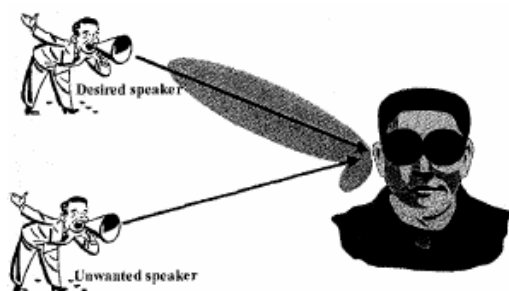
La característica de las antenas inteligentes de tener unos haces de radiación con mayor directividad (mayor ganancia y mayor selectividad angular), hace

pensar en diversas ventajas potenciales de estos sistemas, las más significativas se detallan a continuación:

- **Incremento de la zona de cobertura:** Dado que la ganancia es mayor que en el caso de antenas omnidireccionales, para igual potencia transmitida, la señal se podría recibir a mayor distancia.
- **Reducción de la potencia transmitida:** La mayor ganancia de la antena permitirá incrementar la sensibilidad de la misma, por lo que los equipos móviles podrán transmitir con menor potencia.
- **Reducción de nivel de interferencia:** La mejor selectividad espacial de la antena permitirá discriminar las señales de los equipos interferentes.

Diversos estudios y pruebas realizadas hasta el momento han reforzado estas características y en algunos casos se ha comprobado que el alcance de las antenas puede llegar a aumentar un 40%.

Podríamos representar un sistema de antena inteligente haciendo una analogía con el cuerpo humano. 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. [ Fig. 1.5]



**Fig. 1.5** 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.

En nuestro proyecto vamos a comparar los resultados de utilizar una sola antena inteligente con los resultados de utilizar dos o tres.

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

- **Modo omnidireccional.** La antena, 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. Por tanto tiene mayor alcance que el modo omnidireccional.

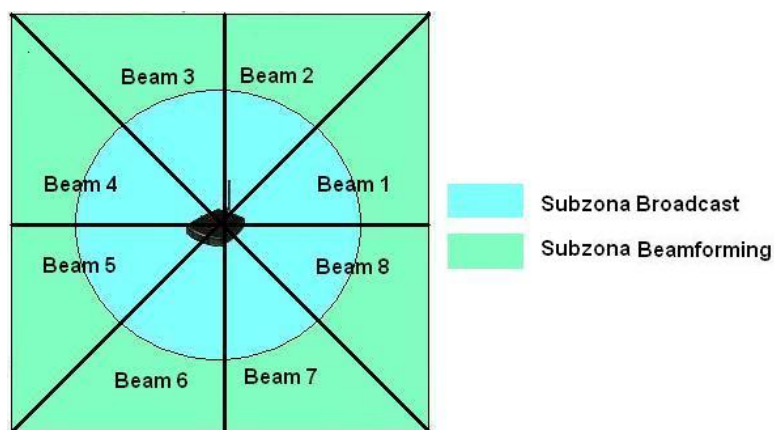
### 1.5.1 Tipos de alcances

El alcance de una antena viene definido por el modo en que trabaje la misma. Como hemos comentado en el apartado anterior hay dos tipos de modos de trabajo.

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

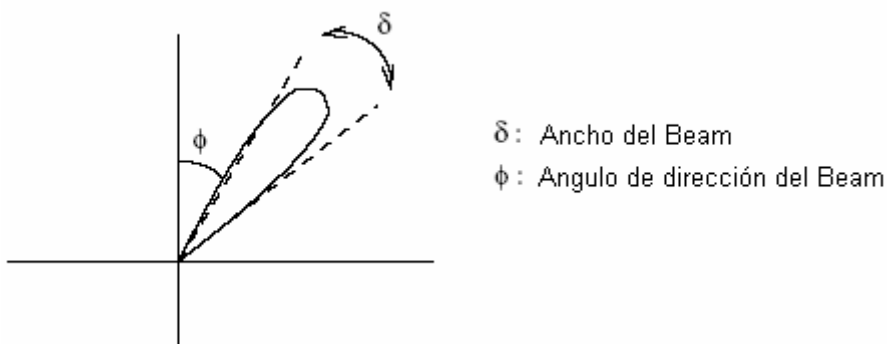
Definimos **zona**, como la **región donde se encuentran todos los usuarios**. Esta zona se divide en dos subzonas (Fig. 1.6):

- **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 1.6** 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 ( Fig. 1.7) .



**Fig 1.7** Lóbulo del Beam [4]

La característica principal de este tipo de antenas es que pueden orientar la señal que emiten en haces muy directos enfocados hacia el usuario deseado para realizar 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.

Esta firma espacial es utilizada por el AP para enfocar la antena para cada usuario en un instante determinado.

No obstante antes de realizarse el intercambio de información entre usuario y antena, existe una fase donde el AP debe descubrir donde se hallan los usuarios dentro de la zona. Dependiendo del método utilizado veremos que se pueden encontrar tanto dentro de la zona de broadcast como en la zona de beamforming. En esta primera fase el objetivo del AP es obtener las firmas espaciales de todos los usuarios.

Acto seguido a que el AP tiene localizados los usuarios, ya puede disponer a empezar a realizar el intercambio de información.

Este trabajo se basa en el análisis de distintos métodos de descubrimiento de usuarios dentro de la fase previa descrita anteriormente. Se comparan los resultados de utilizar un Ap con 1 transceptor a la utilización de 2 y 3 transceptores. Supondremos que en todo momento los AP conocen la distribución de los usuarios en cada beam, esto es; cada AP sabe el número de usuarios que hay en cada beam.

## CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE RESOLUCION DE USUARIOS

### 2.1 Teoría de resolución de usuarios

Se han considerado 4 métodos de resolución de usuarios. Para resolver un usuario cada transceptor debe obtener el identificador y la firma espacial de dicho usuario. La simulación acaba cuando los diferentes transceptores que forman el AP resuelven todos los usuarios

Para el estudio se ha supuesto que en todo momento que los diferentes transceptores del AP conocen la distribución de los usuarios en cada beam.

En este punto debemos señalar que el estándar 802.11 permite utilizar los anchos de banda que se sitúan en los 900 MHz, 2,4GHz y de 5GHz. En la banda de 2,4 GHz se pueden utilizar hasta 3 canales de 11MHz simultáneos para evitar interferencias. Es por este hecho que se pueden utilizar hasta 3 transceptores para realizar la simulación.

Los métodos anteriormente anunciados pueden tener una o dos fases, además las segundas fases pueden tener o no tener contienda.

Métodos con una fase:

- **Based Beam Beam (con contienda):** Una sola fase con los diferentes transceptores del AP trabajando en modo direccional con contienda.
- **Free Beam Beam (sin contienda):** Una sola fase con los diferentes transceptores en modo direccional y sin contienda.

Métodos con dos fases:

- **Based Broad Beam (sin contienda/ con contienda):** Este método consta de dos fases. En una primera fase solo utilizamos un transceptor para resolver los usuarios en modo omnidireccional. Si utilizásemos más de uno, entre ellos provocarían colisiones y esto perjudicaría el retardo total.  
En la segunda fase los diferentes transceptores trabajan en modo direccional y con contienda.
- **Free Broad Beam (sin contienda/ sin contienda):** Como el método anterior consta de dos fases. En una primera fase utilizamos un transceptor para resolver los usuarios en modo omnidireccional.  
En una segunda fase los diferentes transceptores del AP trabajan en modo direccional sin contienda.

En los siguientes apartados explicamos estos métodos con más detalle.

## 2.2 Información disponible por el AP

Se ha de mencionar que los transceptores que utiliza el AP conocen el número total de usuarios que hay dentro de la zona y como están distribuidos en el espacio.

En las fases sin contienda los transceptores preguntan por los usuarios que quedan por resolver en cada beam. Sin embargo, saben cuántos usuarios hay en cada beam por lo que cuando han resuelto los usuarios que hay en el beam, pasan al siguiente.

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

## 2.3 Descripción de los métodos

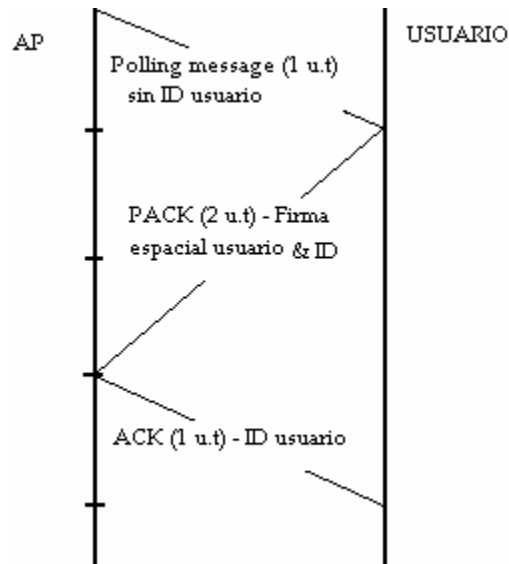
Nuestro trabajo parte del estudio realizado con anterioridad por otros compañeros en otro TFC. En ese trabajo el AP estaba formado por un solo transceptor.

Nuestro objetivo es seguir con el estudio realizado, teniendo en cuenta que el AP puede estar formado por 2 o 3 transceptores y evaluar las ventajas que esta modificación del sistema puede reportar.

### 2.3.1 Based Beam Beam

El método consta de 1 sola fase. Para un transceptor el AP trabaja en forma direccional. La antena recorre el espacio de manera secuencial resolviendo los usuarios. 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.

Los mensajes intercambiados entre el transceptor y un usuario se puede observar en la figura 2.1.



**Fig. 2.1** Diálogo AP-Usuario en fase con contienda

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

Este método utiliza contienda para resolver los usuarios, es decir, pueden producirse colisiones en las respuestas de los nodos a localizar.

La duración de los mensajes se detalla a continuación:

- Polling message: Mensaje de duración una unidad de tiempo.
- P\_ACK: Mensaje de duración dos unidades de tiempo.
- ACK: Mensaje de duración una unidad de tiempo.

La fase de resolución, se detalla a continuación.

El transceptor envía el Polling message sin ID usuario en el Beam específico y espera respuesta. En cada transmisión de un mensaje de Polling puede ocurrir uno de los siguientes casos:

- Responde un usuario con la firma y la ID espacial del usuario (P\_ACK) . Cuando el transceptor recibe este mensaje, contesta al usuario (ya conoce su ID) con un ACK. En este momento hemos resuelto el usuario.
- Responde más de un usuario a la vez. En ese instante se ha producido colisión. Al transceptor le llegan los diferentes P\_ACK de los distintos usuarios. En ese momento el transceptor no distingue la firma espacial de los usuarios que le responden a la vez, por tanto no sabe a quién contestar y no lo hace.

Los usuarios no reciben el ACK del transceptor dejando expirar una unidad de tiempo.

Como hemos dicho, cada usuario espera la respuesta al P\_ACK. Al no recibirla pasamos a resolver contienda en dicho Beam.

En nuestro trabajo hemos implementado el método anteriormente descrito teniendo en cuenta que el AP esta formado por 2 o 3 transceptores.

Este método consta de una sola fase en la que los transceptores trabajan en modo direccional.

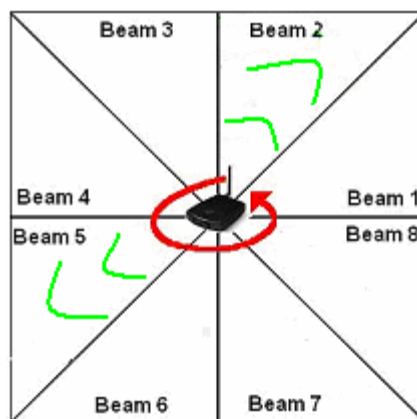
Para ello los transceptores trabajan desfasados un ángulo determinado que corresponde en dividir 360 grados por los número de transceptores que intervienen en la simulación.

Por ejemplo al utilizar dos transceptores, el primer transceptor respecto al segundo estan desfasados 180 grados al iniciar la búsqueda.

Los diferentes transceptores recorren el espacio de manera secuencial resolviendo los usuarios (con contienda), hasta resolverlos todos. Durante la resolución de estos usuarios se calcula el retardo total para resolverlos todos.

Como hemos dicho anteriormente, cada transceptor conoce la distribución de los distintos usuarios en cada Beam, por lo que solo intentaran resolver los usuarios en las zonas donde realmente existen.

Los mensajes intercambiados entre un transceptor y un usuario se puede observar en la figura 2.1. Asimismo los tiempos son los anteriormente descritos.



**Fig. 2.2** Fases de resolución Based Beam Beam, dos transceptores

### 2.3.2 Based Broad Beam

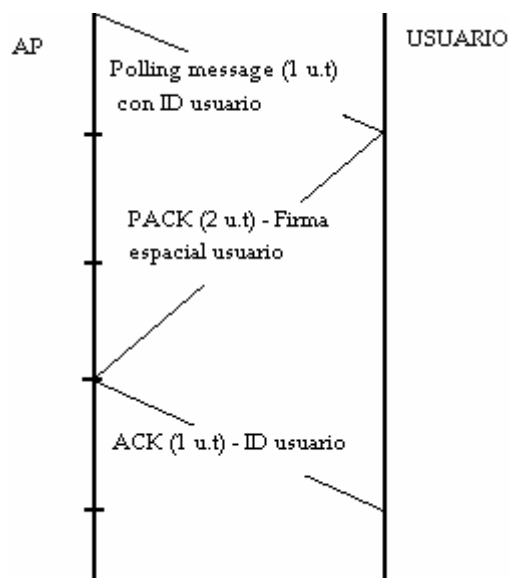
El método consta de 2 fases. Para un transceptor el AP busca de manera secuencial todos los usuarios que se encuentran dentro de la Subzona broadcast.

Para ello, el transceptor emite una Polling Message que contiene el identificador del usuario en cuestión.

En el caso que el usuario no responda, el transceptor 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 transceptor enviando un mensaje (P\_ACK) que contiene su firma espacial.

Una vez el transceptor recibe el P\_ACK, contesta al usuario enviándole un mensaje de confirmación (ACK) . Este mensaje indica que el usuario esta resuelto.



**Fig. 2.3** Diálogo AP-Usuario en la primera fase omnidireccional

En la segunda fase el transceptor trabaja en modo direccional. Esta segunda fase es con contienda y se resuelve tal y como esta explicado en el apartado anterior(2.3.1).

Pasamos a detallar el método para mas de un transceptor. En una primera fase solo se utiliza un transceptor que transmite en modo omnidireccional y en una segunda fase los diferentes transceptores del AP trabajan en modo direccional y en el caso de haber colisión se resuelve la contienda.

La resolución de esta primera fase sólo la debe realizar un transceptor.

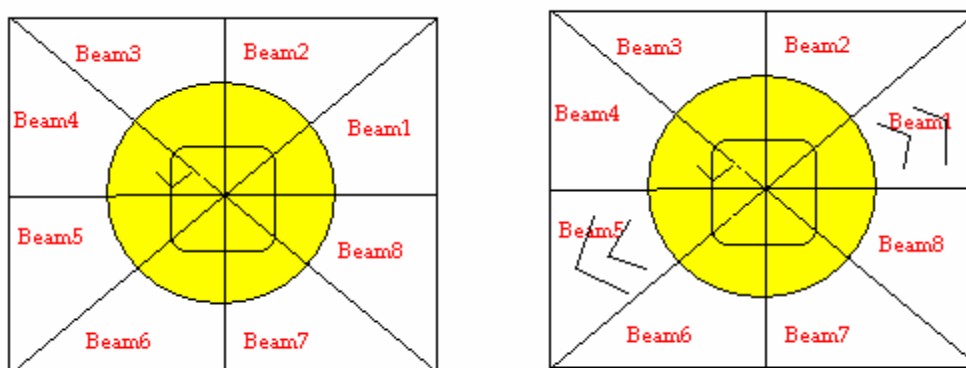


En el caso de utilizar mas de uno para resolver la primera fase, los diferentes mensajes de los transceptores colisionarían entre ellos. Por tanto sólo transmite una antena.

Por tanto en la primera fase, un transceptor se dedica a encontrar todos los usuarios situados dentro del alcance del mismo en modo omnidireccional.

La segunda fase del método se describe en el apartado anterior.

A continuación presentamos una figura con las fases de resolución para este método.



**Fig. 2.4** Fases de resolución Based Broad Beam

La figura de la izquierda (Fig 2.4) representa la primera fase del método descrito. Como ya hemos comentado anteriormente solo se utiliza un solo transceptor.

La figura de la derecha (Fig 2.4) representa los diferentes transceptores recorriendo el espacio de manera secuencial y resolviendo los usuarios (con contienda si procede), hasta resolverlos todos.

### 2.3.3 Free Beam Beam

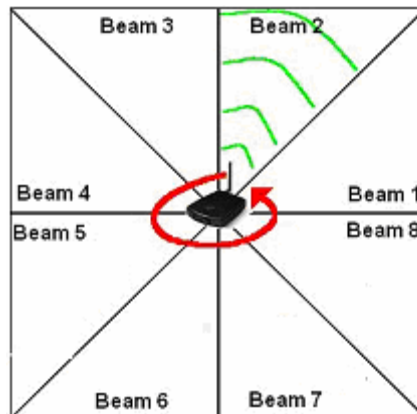
Este método sólo tiene una fase. Para 1 transceptor y durante todo el procedimiento de resolución de usuarios, la antena trabaja en modo direccional.

La antena 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 la antena ha recorrido todos los beams, todos los usuarios han sido resueltos y, por lo tanto, el método finaliza.

En la figura 2.3 esta descrito los mensajes intercambiados entre la antena y un usuario

En la Fig. 2.5 podemos ver el funcionamiento del método.



**Fig. 2.5** Fase de resolución en Free Beam Beam (sin contienda)

Para más de un transceptor y durante todo el proceso de resolución de usuarios, los transceptores trabajan en modo direccional. Para ello los diferentes transceptores trabajan desfasados un ángulo determinado que corresponde a dividir 360 por el número de antenas que intervienen en la simulación.

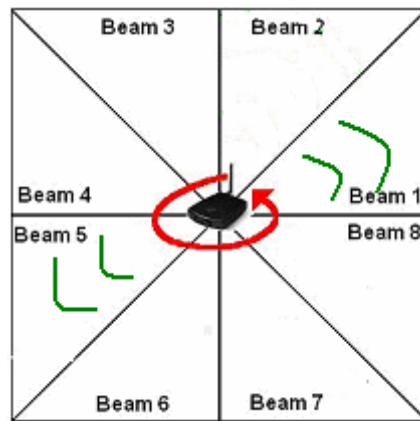
Los transceptores recorren los Beams de manera secuencial. Cada transceptor pregunta en cada uno de los beams por los usuarios que quedan por resolver. Para ello, el transceptor emite un Polling Message, que contiene el identificador del usuario en cuestión.

En el caso que el usuario no responda, el transceptor 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 transceptor enviando un mensaje (P\_ACK) que contiene su firma espacial.

Una vez el transceptor recibe el P\_ACK, contesta al usuario enviándole un mensaje de confirmación (ACK). Este mensaje indica que el usuario está resuelto.

Este proceso se repite hasta resolver todos los usuarios (Fig 2.6).



**Fig. 2.6** Fases de resolución Free Beam Beam. Resolución libre de contienda. Caso para dos transceptores.

### 2.3.4 Free Broad Beam

Este método está compuesto por dos fases. Para un transceptor en la primera fase la antena trabaja en modo omnidireccional (Fig 2.7 izquierda) y una segunda fase en la que trabaja en modo direccional y sin contienda.

Para más de un transceptor consta de una primera fase en la que un solo transceptor trabaja en modo omnidireccional y una segunda en la que los diferentes transceptores trabajan de manera direccional.

La primera fase de este método es análoga a la primera fase del método Based Broad Beam (ver Fig 2.3).

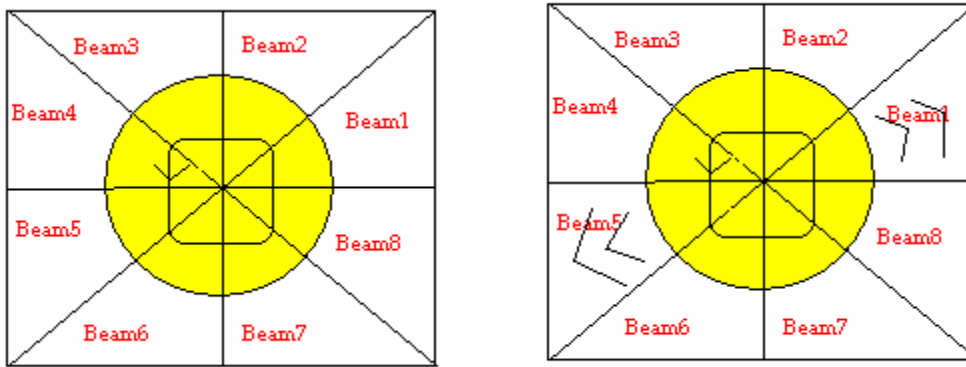
En la segunda fase, los diferentes transceptores trabajan en modo direccional. En esta fase, se debe encontrar a los usuarios que faltan por resolver. Para ello, los transceptores recorren todos los haces de manera secuencial y desfasados un ángulo determinado que corresponde a dividir 360 por el número de antenas que intervienen en la simulación.

Cuando un transceptor encuentra a todos los usuarios de un haz, pasa a realizar la búsqueda en el siguiente (Fig 2.7 derecha).

Una vez los transceptores han recorrido todos los haces, todos los usuarios han sido resueltos y, por lo tanto, el método finaliza.

Los diálogos entre usuario y un transceptor de esta segunda fase son exactamente iguales que en la primera fase (ver Fig 2.3).

En la Fig 2.7 podemos ver las dos fases del método.



**Fig. 2.7** Fases de resolución Free Broad Beam. Resolución libre de colisiones.

## 2.4 Resolución de colisiones

Como se ha descrito en el apartado 2.2, hay dos métodos que tienen fases con colisiones: Based Broad Beam (Sin Colisiones/ Con Colisiones) y Based Beam Beam (Con colisiones).

Definimos fase con colisiones a la fase donde el transceptor envía mensajes de descubrimiento de usuarios sin especificar ningún usuario en concreto (ver Fig 2.1).

Esto implica que se dé el caso en que responda más de un usuario a la vez y por tanto se produzca colisión.

Para resolver a los usuarios en una fase con colisiones 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.

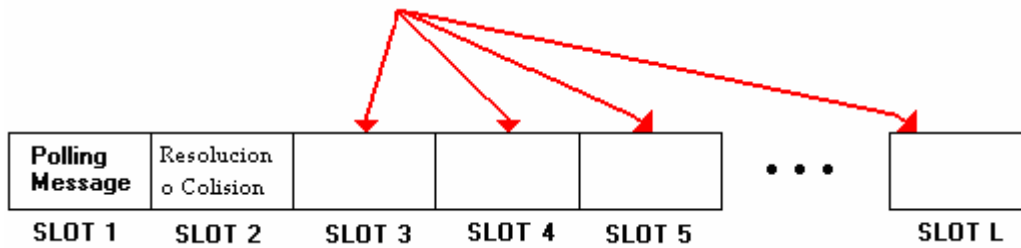
En el primer Slot, el AP lanza el mensaje de descubrimiento.

Si en un Slot, solo responde un usuario, este es resuelto por el AP.

Lógicamente si en un Slot responde más de un usuario a la vez se produce colisión, ninguno se resuelve.

A continuación, en los Slots restantes los usuarios responden con una probabilidad  $P$ . Estamos por tanto resolviendo colisiones.

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



**Fig. 2.8** 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.

El transceptor no cambiará de Beam hasta que no se resuelvan todos los usuarios del mismo (recordemos que cada transceptor conoce distribución de los usuarios en cada Beam) .

Se ejecutan tantos CRI como sea necesario hasta que los resolvamos todos.

## 2.5 Métodos para resolver los Beams

La simulación para cada uno de los métodos anteriormente descritos se ha realizado teniendo en cuenta que el AP utiliza 1, 2 o 3 transceptores. Tal como hemos puntualizado anteriormente, podemos utilizar 3 frecuencias libres para solucionar la búsqueda de los distintos usuarios. Por tanto podemos utilizar hasta 3 transceptores.

En este trabajo se ha simulado la búsqueda de los usuarios de 2 formas distintas para la simulación para mas de 1 transceptor. Estas dos formas se han aplicado para cada uno de los cuatro métodos. Primero vamos a detallar como recorreremos los beams para 1 transceptor y para mas de uno.

- Para 1 transceptor recorreremos todos los beams de manera secuencial empezando por el primer beam. Preguntamos en cada uno de ellos por los usuarios que restan por resolver, si estan todos resueltos el método finaliza.

No obstante una vez el transceptor ha recorrido todos los beams, todos los usuarios han sido resueltos y, por lo tanto, el método finaliza.

- Si disponemos de mas de un transceptor (n transceptores), dividimos el espacio en n subespacios y cada transceptor inicia su búsqueda desde el primer beam de su subespacio. Cada transceptor busca todos los usuarios en cada Beam que recorre . Una vez los transceptores han recorrido todos los Beams, termina la simulación (han encontrado todos los usuarios).

Pasamos a detallar los métodos para recorrer los beams cuando utilizamos mas de un transceptor para resolver los usuarios. Esta es una de las partes importantes de la modificación del estudio inicial para 1 solo transceptor.

### 2.5.1 Método M1

Si disponemos de  $n$  transceptores, dividimos el espacio en  $n$  subespacios y cada transceptor inicia su búsqueda desde el primer beam de su subespacio.

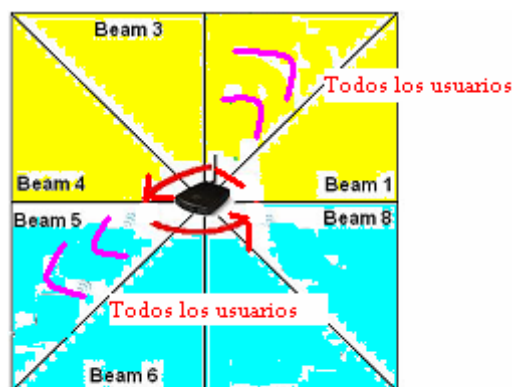
Poniendo el ejemplo de dos transceptores y 10 beams, el primer transceptor empieza la búsqueda en el primer beam y el segundo en el sexto beam (desfase 180 grados).

Cada transceptor busca todos los usuarios en cada Beam que recorre .

Una vez los transceptores han recorrido todos los Beams, termina la simulación (han encontrado todos los usuarios).

En cada beam se realiza la búsqueda de todos los usuarios.

Llamaremos M1 a este método de resolución de usuarios.



**Fig. 3.2** Método M1 para el ejemplo de 2 transceptores.

Distinguimos dos casos que se deben tener en cuenta para calcular el retardo total.

Estos dos casos se han aplicado en cada uno de los cuatro métodos explicados en el apartado 2.3 y concretamente para el método M1. Se basan en la sincronización de los transceptores para calcular dicho delay.

- Método M1 “Transceptores sincronizados” o “Esperando”: Supongamos que hay  $n$  transceptores realizando la búsqueda de los usuarios. Cada uno busca los usuarios en un beam determinado. En este caso los diferentes transceptores están sincronizados temporalmente realizando la búsqueda de los usuarios. Esto es, un transceptor no cambia de beam hasta que los  $n-1$  restantes han encontrado los usuarios que están buscando en el beam. Esto implica que el retardo total (de los  $n$  transceptores) es igual al mayor retardo de los  $n$  transceptores antes de pasar al siguiente beam.

Por poner un ejemplo, si tenemos 2 transceptores y el número total de beams es 10. Los dos transceptores inician la búsqueda cada uno en un beam determinado (desfasados 180).

Si el primer transceptor ha terminado de encontrar todos los usuarios que hay en su beam pero el segundo no lo ha hecho, el primer transceptor se espera a que el segundo termine.

Una vez hecho esto, los dos transceptors cambian sincronizadamente de beam y pasan a buscar los usuarios en los beams siguientes.

Al ejecutarse la búsqueda en el mismo momento, el retardo total es igual al máximo retardo de los dos transceptores antes de cambiar de beam. En el ejemplo propuesto el retardo del segundo transceptor sería el retardo total. El retardo se calcula beam a beam.

Por tanto tendremos los siguientes casos con contienda:

M1 Based Beam Beam 2Tx "Esperando".  
M1 Based Beam Beam 3Tx "Esperando".  
M1 Based Broad Beam 2Tx "Esperando".  
M1 Based Broad Beam 3Tx "Esperando".

Y los siguientes casos sin contienda:

M1 Free Beam Beam 2Tx "Esperando".  
M1 Free Beam Beam 3Tx "Esperando".  
M1 Free Broad Beam 2Tx "Esperando".  
M1 Free Broad Beam 3Tx "Esperando".

- Método M1 "Transceptores no sincronizados" o "Sin esperar":  
Supongamos que hay  $n$  transceptores realizando la búsqueda de los usuarios y cada uno busca los usuarios en un beam determinado.

En este caso los transceptores no están sincronizados en el tiempo, por tanto no esperan a que los otros transceptores terminen su búsqueda para cambiar de beam. Cada transceptor es independiente en tiempo de los otros en lo que se refiere a cambiar de zona de búsqueda.

El retardo total por tanto se calcula en conjunto. Si nos ponemos en el caso de dos transceptores puede ser que en un mismo retardo calculado el primer transceptor haya resuelto los usuarios de sus 3 primeros beams y el segundo solo haya resuelto los usuarios de sus dos primeros.

Por tanto tendremos los siguientes casos con contienda:

M1 Based Beam Beam 2Tx " Sin esperar".  
M1 Based Beam Beam 3Tx " Sin esperar".  
M1 Based Broad Beam 2Tx " Sin esperar".  
M1 Based Broad Beam 3Tx " Sin esperar".

Y los siguientes casos sin contienda:

M1 Free Beam Beam 2Tx " Sin esperar".

M1 Free Beam Beam 3Tx “ Sin esperar”.  
 M1 Free Broad Beam 2Tx “ Sin esperar”.  
 M1 Free Broad Beam 3Tx “ Sin esperar”.

## 2.5.2 Método M2

Para este segundo método dividimos el espacio en  $n$  subespacios y cada transceptor inicia su búsqueda desde el primer beam de su subespacio.

Dividimos los usuarios totales en  $n$  grupos (tantos como transceptores) para realizar la búsqueda. Para el caso de 2 transceptores los grupos serian los siguientes.

A1 ( $S_1, S_2, \dots, S_{j/2}$ )  
 A2( $S_{(j/2)+1}, S_{(j/2)+2}, \dots, S_j$ )

Suponemos que en cada transceptor estan asignados el mismo número de usuarios que corresponden al número total de usuarios dividido por el número de beams . Esta búsqueda se realiza en cada Beam. Si se recorren todos los Beams y no se han solucionado todos los usuarios volvemos a iniciar el método buscando los siguientes usuarios. Esto se repite tantas veces como  $n$  transceptores.

Pongamos un ejemplo de  $j$  usuarios , 2 transceptores y  $X$  beams;

El primer transceptor buscará la primera mitad de los usuarios (A1) empezando por el primer beam y el segundo, la segunda mitad (A2) empezando por el beam que esta desfasado 180 grados respecto al primero. Se recorreran los beams de forma secuencial a partir del primer beam de cada subzona.

Si se recorren todos los Beams y se han resuelto todos los usuarios obtenemos el retardo total y finalizamos la simulación.

En caso de no ser así, no se han resuelto todos los usuarios, se vuelve a empezar la búsqueda.

Ahora el primer transceptor buscará los usuarios que corresponden a A2 y el segundo usuarios de A1 (en los mismos beams anteriormente descritos).

Cuando finaliza el recorrido de todos los beams se han resuelto todos los usuarios (Fig 3.3).





**Fig. 3.3** Método M2 para el ejemplo de 2 transceptores.

La aplicación con 3 transceptores es similar a la anteriormente descrita. Vamos a explicarla a continuación.

Para empezar dividimos los usuarios en 3 grupos.

$A1(S_1, S_2, \dots, S_{j/3})$

$A2(S_{(j/3)+1}, S_{(j/3)+2}, \dots, S_{j(2/3)})$

$A3(S_{j(2/3)+1}, S_{j(2/3)+2}, \dots, S_j)$

Dividimos la zona de búsqueda en 3 subzonas (el primer beam de cada zona esta desfasada 120 grados respecto al siguiente). Por ejemplo zonas B1, B2 y B3.

El primer transceptor buscará A1 en zona B1.

El segundo transceptor buscará A2 en zona B2.

El tercero buscará A3 en zona B3.

Si al finalizar la búsqueda no se han resuelto los usuarios totales, volvemos a empezar la búsqueda de la siguiente forma.

El primer transceptor buscará A3 en zona B1.

El segundo transceptor buscará A1 en zona B2.

El tercero buscará A2 en zona B3.

Si hemos resuelto los usuarios finalizamos el método. Sinó realizamos la última búsqueda.

Finalmente el primer transceptor buscará A2 en zona B1.

El segundo transceptor buscará A3 en zona B2.

El tercero buscará A1 en zona B3

Al finalizar esta tercera búsqueda se han resuelto todos los usuarios.

A este método lo llamaremos métodoM2.

Como hemos descrito en el apartado 2.5.1 hemos distinguido dos casos que se deben tener en cuenta para calcular el retardo total para cada uno de los métodos M2. Tiene relación con la sincronización de los transceptores que forman el AP.

- Método M2 “Transceptores sincronizados” o “Esperando”: En este caso los diferentes transceptores están sincronizados temporalmente realizando la búsqueda de los usuarios. Esto es, un transceptor no cambia de beam hasta que los n-1 restantes han encontrado los usuarios que están buscando en el beam.

Podemos distinguir los siguientes casos con contienda:

M2 Based Beam Beam 2Tx “Esperando”.  
M2 Based Beam Beam 3Tx “Esperando”.  
M2 Based Broad Beam 2Tx “Esperando”.  
M2 Based Broad Beam 3Tx “Esperando”.

Y los siguientes casos sin contienda:

M2 Free Beam Beam 2Tx “Esperando”.  
M2 Free Beam Beam 3Tx “Esperando”.  
M2 Free Broad Beam 2Tx “Esperando”.  
M2 Free Broad Beam 3Tx “Esperando”.

- Método M2 “Transceptores no sincronizados” o “Sin esperar”: Como hemos descrito, en este caso los transceptores no están sincronizados en el tiempo, por tanto no esperan a que los otros transceptores terminen su búsqueda para cambiar de beam.

Podemos distinguir los siguientes casos con contienda:

M2 Based Beam Beam 2Tx “Sin esperar”.  
M2 Based Beam Beam 3Tx “Sin esperar”.  
M2 Based Broad Beam 2Tx “Sin esperar”.  
M2 Based Broad Beam 3Tx “Sin esperar”.

Y los siguientes casos sin contienda:

M2 Free Beam Beam 2Tx “Sin esperar”.  
M2 Free Beam Beam 3Tx “Sin esperar”.  
M2 Free Broad Beam 2Tx “Sin esperar”.  
M2 Free Broad Beam 3Tx “Sin esperar”.

Veremos en el apartado de los resultados que la forma de recorrer los Beams es muy importante para el resultado final. Dependiendo de una forma o otra el retardo total puede variar de manera considerable.

## CAPÍTULO 3. EL SIMULADOR

### 3.1 Introducción

Una vez descritos los métodos con sus varias modalidades que vamos a utilizar para realizar el descubrimiento de los usuarios, debemos ser capaces de implementar un código capaz de simular el comportamiento de nuestro sistema de comunicaciones WLAN.

La base de este código lo tenemos implementado en lenguaje de programación C y nos permite obtener los resultados de retardo deseados para 1 transceptor. A partir de este código y realizando los cambios oportunos debemos ser capaces de obtener estos mismos resultados para 2 y 3 transceptores, con las distintas modalidades descritas anteriormente; según el método para recorrer los beams y según la sincronización de los n transceptores utilizados.

El simulador 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. La firma son las coordenadas del usuario.
- **Encontrado**: Número entero que indica si el usuario está encontrado o no. Inicialmente este campo lo inicializamos a 0. Una vez un transceptor encuentra un usuario cambia el valor de este campo a 1. Desde este instante todos los transceptores saben que este usuario esta resuelto
- **ContestoSLOT**: Número entero que indica si el usuario contesta en el Slot del CRI. Se inicializa a zero antes de cada CRI. Si el usuario se resuelve este valor pasa a 1.
- **Angulo**: Número entero decimal que indica el ángulo del usuario respecto el AP

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

- **RANGO**: Número entero que indica el máximo radio de cobertura del AP en modo Omnidireccional. En nuestro simulador este número entero, su valor es100.
- **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.
- **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.
- **Beams:** Indica número total de beams utilizado en el método simulado.
- **P:** Indica valor de la probabilidad fijada, utilizada para resolver contienda.

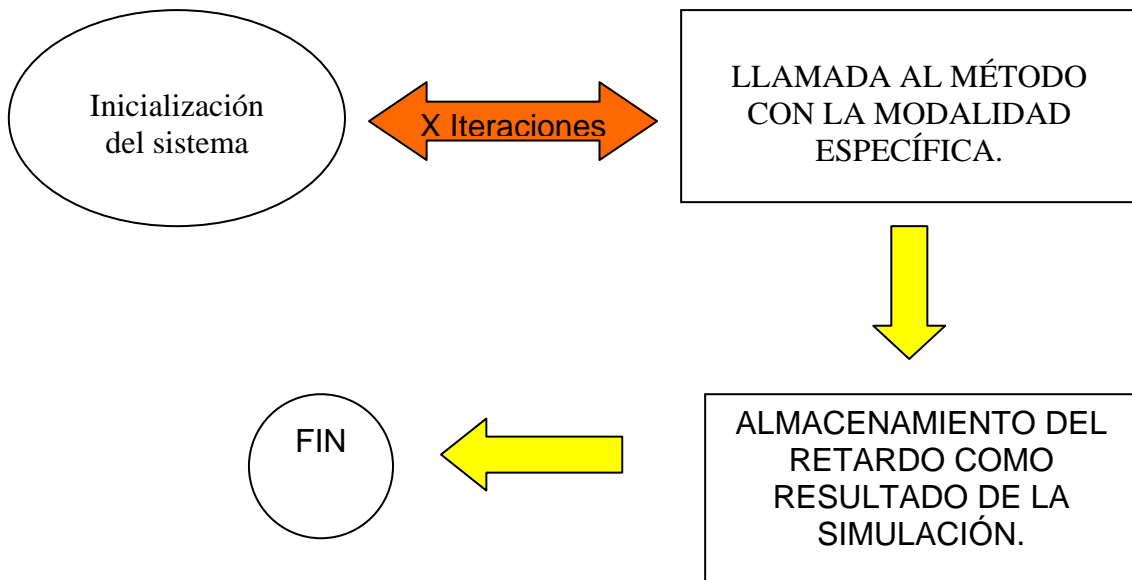
Cada método con sus modalidades está implementado con su función correspondiente. El valor de P en toda la simulación será 0,4.

Las funciones 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 funciones realizan llamadas a funciones comunes que detallamos a continuación:

- **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.

La estructura principal de nuestro simulador sería el siguiente;



**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 X veces. Se ejecutan X iteraciones, en nuestro caso 50.000 veces para que los resultados obtenidos y descritos en el capítulo 4 sean fiables.

Este valor es configurable. Podemos variar este valor antes de empezar la simulación de cada método.

Con todos los resultados simulados se realiza hace la media aritmética y de este modo obtenemos un valor medio de todas las 50.000 iteraciones.

## 3.2 Diagramas de flujo de los métodos

A continuación presentamos los flujos de nuestros métodos. Se han realizado los diagramas para el caso en que utilizamos 2 transceptores en el AP.

### 3.2.1 Free Broad Beam

La primera fase simula la resolución de los usuarios dentro la zona de broadcast. Utilizamos 1 solo transceptor. Éste pregunta usuario a usuario si se encuentra dentro de la subzona de broadcast. Si el usuario se encuentra dentro, se resuelve. Sinó se encuentra, la antena pregunta por el siguiente. Esto se repite hasta que ha encontrado todos los usuarios de la fase1.

En la segunda fase los 2 transceptores al conocer la distribución de los usuarios en cada beam saben si en un beam específico hay algún usuario para resolver.

En el caso que esto sea cierto cada transceptor pregunta por los usuarios que quedan por resolver en el beam en que se encuentra. En caso que el usuario no responda procede a preguntar por el siguiente. Este proceso se repite hasta que ha resuelto todos los usuarios del beam.

Seguidamente compara el beam actual con el último de sus beams.

Si se encuentra en el último beam y no se han resuelto todos los usuarios, significa que el otro transceptor todavía no ha acabado con la búsqueda.

Cuando los dos transceptores han acabado la búsqueda en el último beam, ya han hallado todos los usuarios y la simulación finaliza.

A continuación presentamos el diagrama que describe este comportamiento (fig 3.4).

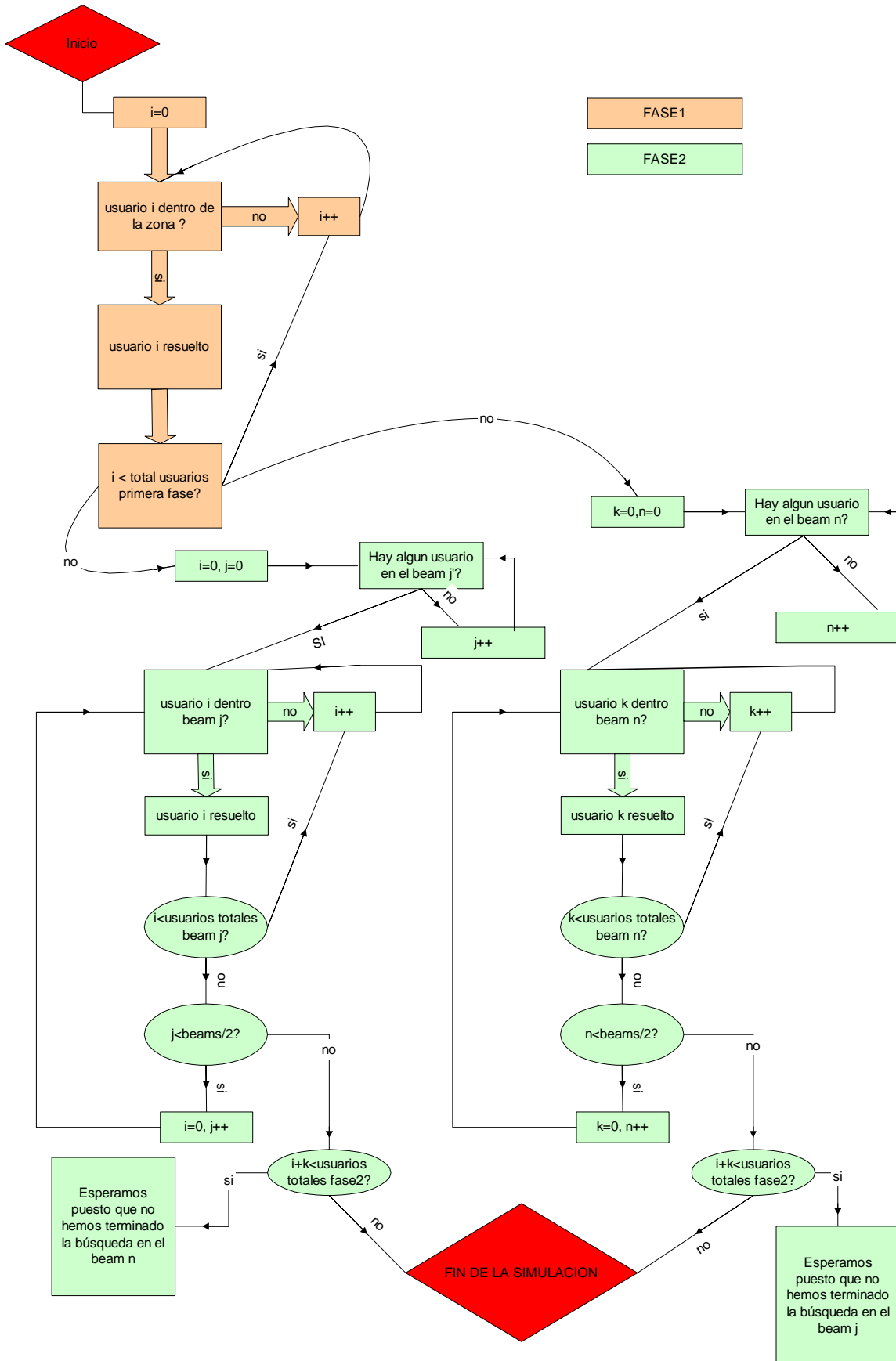


Fig. 3.4 Diagramas del Free Broad Beam (sin contienda/sin contienda)

### 3.2.2 Free Beam Beam

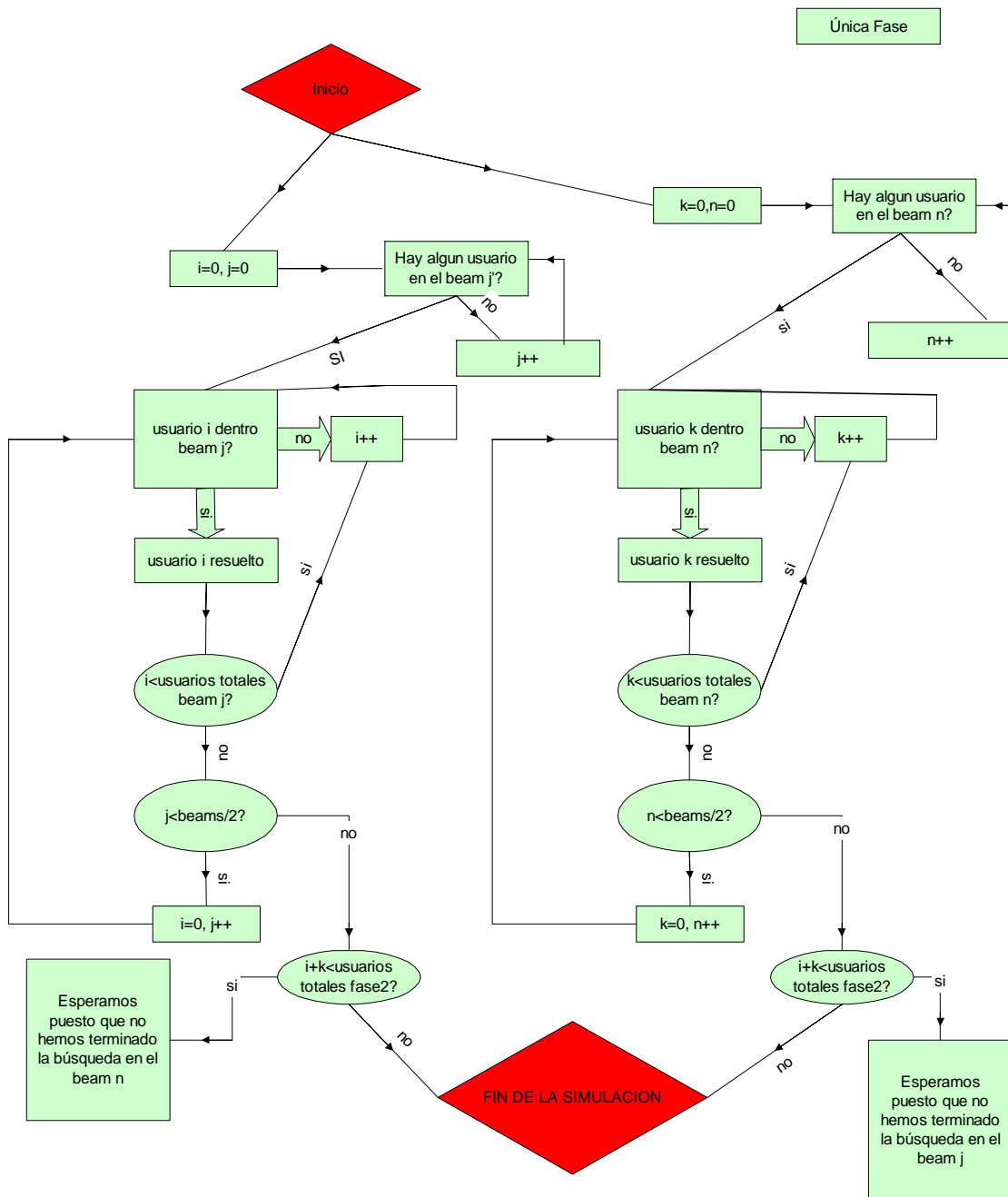


Fig. 3.5 Diagramas del Free Beam Beam (sin contienda)

En esta única fase los dos transeptores recorren beam a beam preguntando usuario a usuario. Si el usuario se encuentra en el beam, el transeptor lo resuelve. Sinó se encuentra el transeptor pregunta por el usuario siguiente. Este proceso se repite hasta resolver todos los usuarios. Una vez los transeptores han recorrido todos los beams y por tanto los usuarios han sido resueltos, el método finaliza.

### 3.2.3 Based Broad Beam

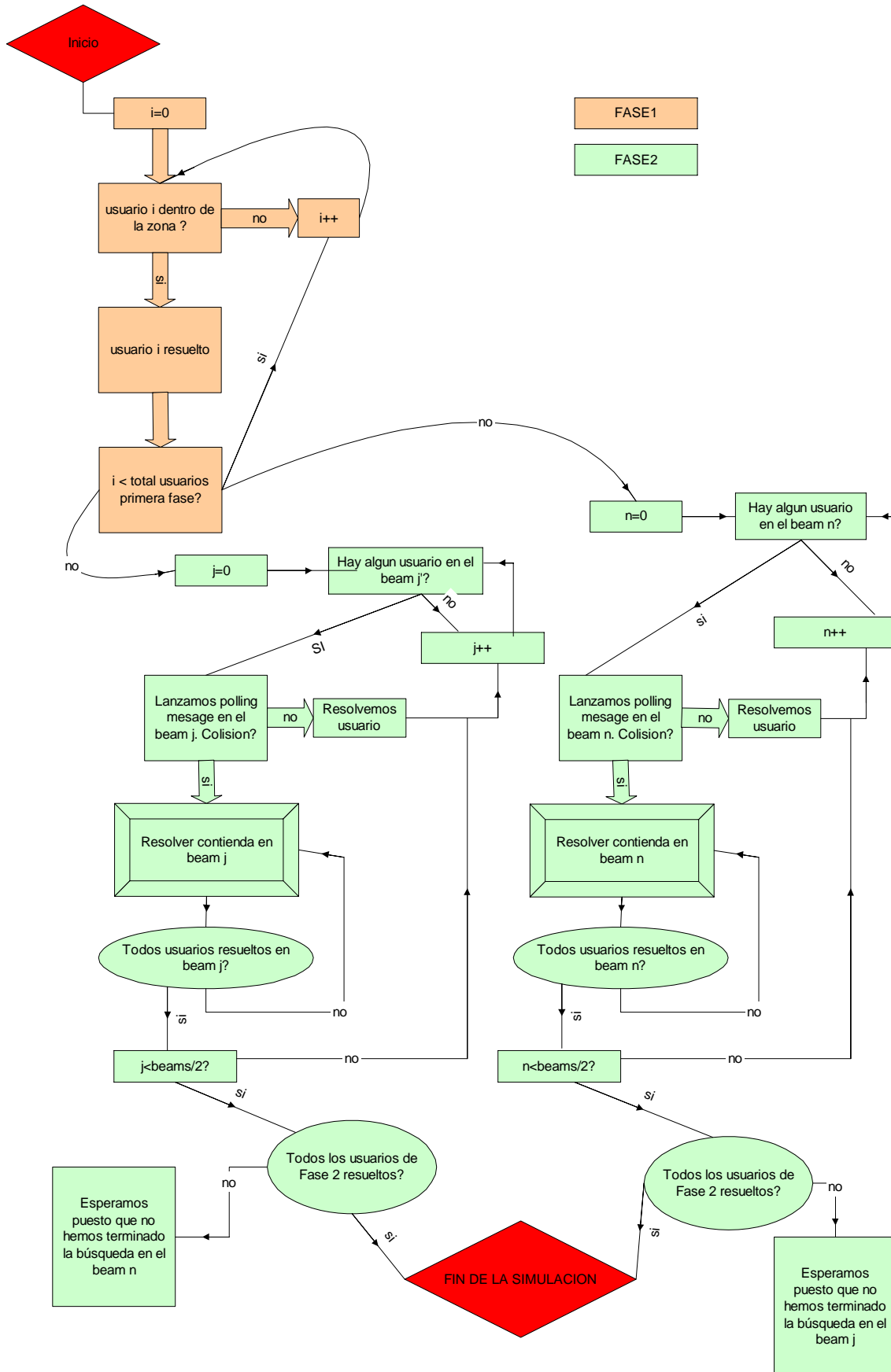


Fig. 3.5 Diagramas del Based Broad Beam (sin contienda/con contienda)



En la primera fase de este método se simula la resolución de los usuarios dentro la subzona de broadcast tal como se ha descrito anteriormente, en la primera fase del apartado 3.3.1.

En la segunda fase los dos transceptores recorren las zonas beam a beam y en cada uno de ellas se lanza un Polling message en el primer Slot del CRI. Seguidamente se inicia el proceso de resolución de usuarios con contienda. Estamos en un beam tantos CRI como sea necesario hasta que resolvamos todos los usuarios del beam. De esta forma al llegar al último beam todos los usuarios se resuelven.

### 3.2.4 Based Beam Beam

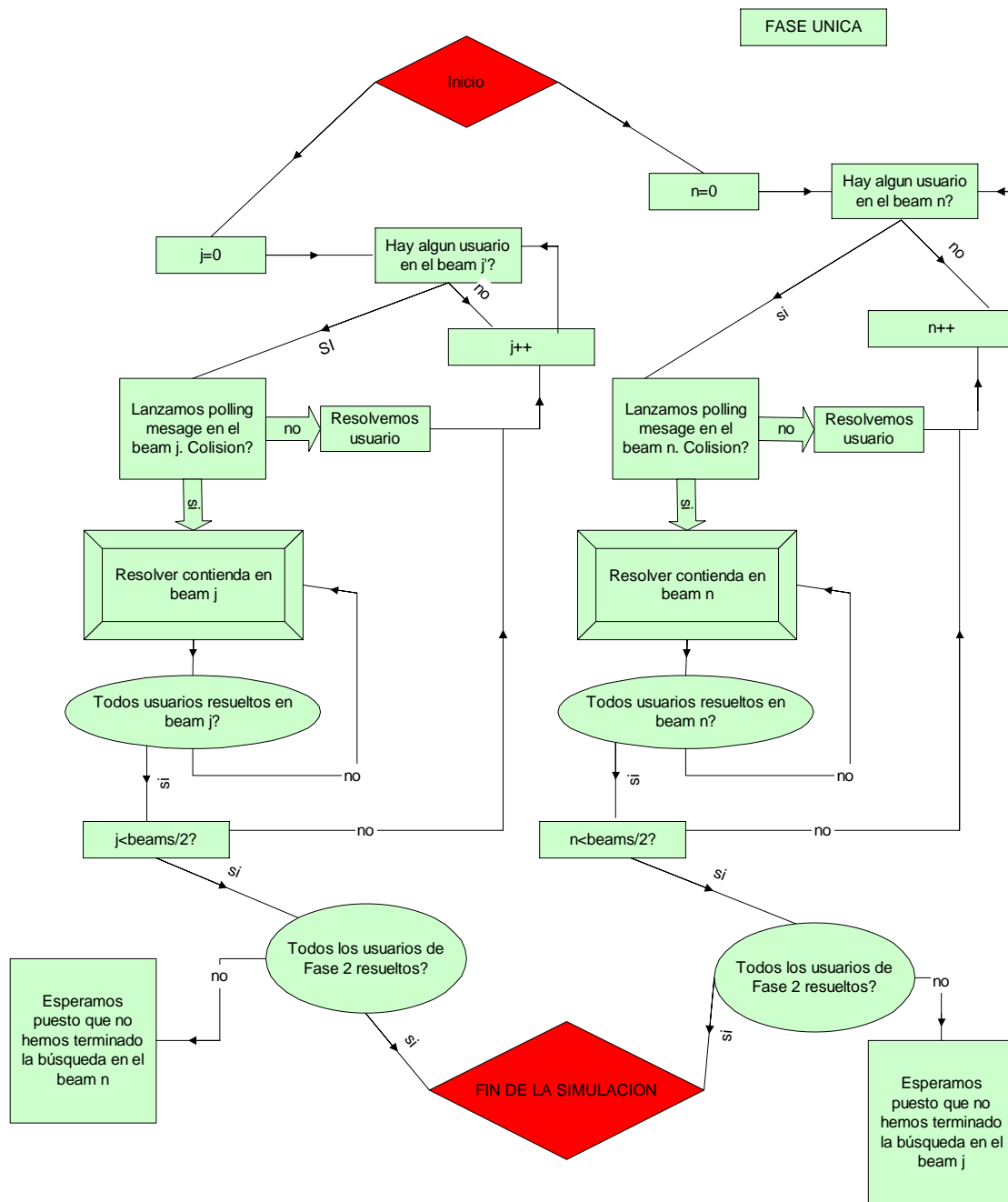


Fig. 3.6 Diagramas del Based Beam Beam (sin contienda)

Este método consta de una sola fase y corresponde a la segunda fase del método Based Broad Beam.

Cada transceptor conoce la distribución de los usuarios en cada beam. Si en un beam hay algún usuario, se lanza el polling message. Si hay uno, éste se resuelve. Si hay mas de uno, se produce colisión y se pasa a la resolución de contienda. El transceptor está tantos CRI en un beam hasta resolver todos los usuarios.

Si se encuentra en el último beam y no se han resuelto todos los usuarios, significa que el otro transceptor todavía no ha acabado con la búsqueda.

Cuando los dos transceptores han acabado la búsqueda en el último beam, ya han hallado todos los usuarios y la simulación 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. Si sólo transmite un usuario, éste es resuelto. Si por el contrario transmite más de un usuario a la vez, se produce colisión, ninguno se resuelve y pasamos a resolver contienda, donde cada usuario transmite con una probabilidad  $P$ . Este proceso se repite hasta que finaliza el CRI (en este caso 6 Slots) o si se resuelven los usuarios antes de finalizar el CRI.

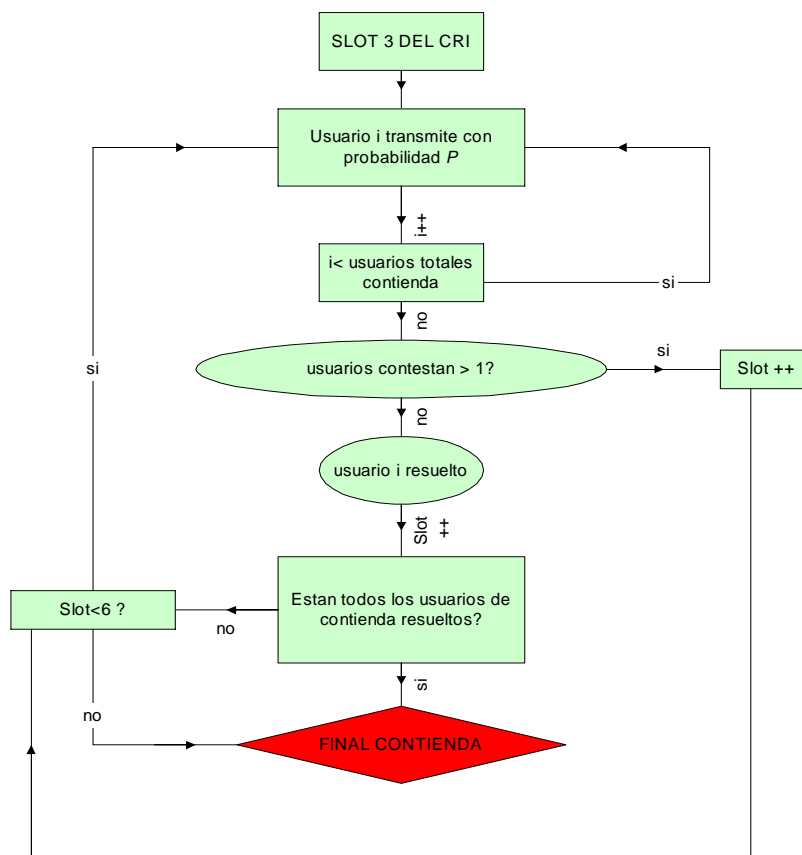


Fig. 3.7 Diagramas resolución de contienda

## CAPÍTULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Definiciones previas escenario de trabajo

#### 4.1.1 Los usuarios

Llamamos  $N$  al número de usuarios total que se encuentran dentro de la zona. Llamaremos  $N_{IN}$  al número de usuarios ubicados en la Subzona Broadcast 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, éste se considera como resuelto. El objetivo por tanto es realizar un estudio de descubrimiento de usuarios a partir de los algoritmos anteriormente ya descritos, antes del envío de información.

#### 4.1.2 Unidades de medida

Para representar los resultados o definir nuestro escenario de trabajo debemos definir unas unidades que nos van a ayudar a realizar nuestro estudio:

- 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*.

Si quisiésemos adaptar estas unidades a un sistema concreto, éstas se pueden convertir en las unidades oportunas, aplicando en cada caso, un factor de conversión correcto. De este modo el estudio realizado es totalmente general y aplicable a cualquier entorno.

### 4.2 Descripción 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. Este AP puede estar formado por 1, 2 o 3 transceptores.
- 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.
- Los usuarios no se mueven, están fijos.

### 4.3 Introducción a los resultados

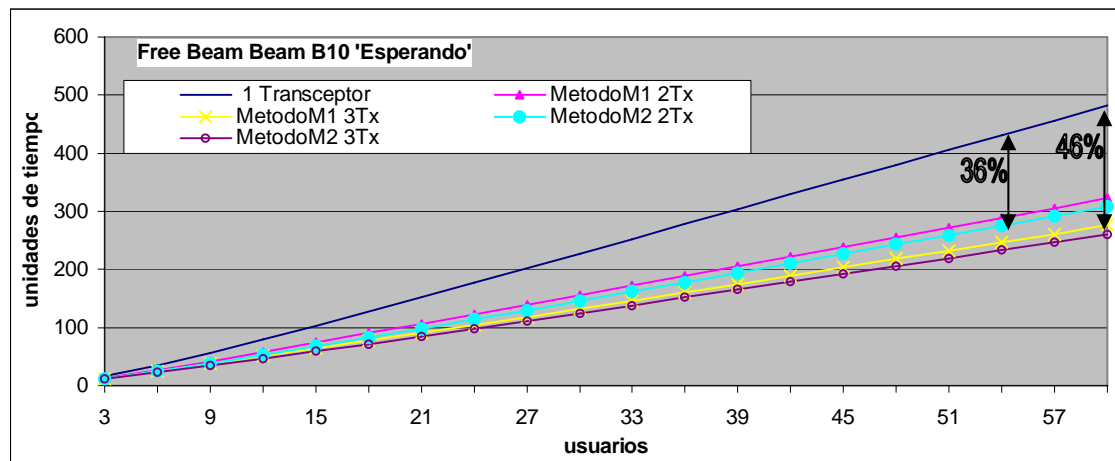
Una vez definido el escenario a estudiar e implementado por el simulador, nos proponemos a simular una serie de situaciones con la finalidad de obtener el retardo de resolución de usuarios en cada caso, es decir, el tiempo total que el AP invierte en resolver a todos los usuarios de la zona. Recordemos que el AP puede utilizar para esta resolución 1, 2 o 3 transceptores.

El retardo total será el único parámetro que va a ser analizado y que vamos a comparar.

### 4.4 Estudio de los métodos en el caso “Esperando”

#### 4.4.1 Escenarios sin contienda

##### 4.4.1.1 Free Beam Beam



**Fig 4.1** Free Beam Beam, 10 beams para 1, 2 y 3 transceptor

En la gráfica podemos observar la evolución del retardo en función del número de transceptores que forman el AP. Recordemos que el AP tiene el conocimiento del total de usuarios para cada beam.

Observando la gráfica podemos apreciar que el retardo en función de los resultados aumenta de una manera aproximadamente lineal para éste método.

Los resultados de la Fig 4.1 los representamos en las siguientes tablas y en cada una de ellas comentamos los aspectos más relevantes :

M1 2Tx vs 1 Tx	M1 3Tx vs 1 Tx	M2 2Tx vs 1 Tx	M2 3Tx vs 1 Tx
33,10%	42,70%	36,16%	46%

**Tabla 4.1** Comparamos la mejora del retardo medio de todos los casos con 1 transceptor.

Para la tabla 4.1 observamos que el mejor de los casos, es decir para 3 transceptores y método M2 respecto al peor de los casos (1 transceptor) con 60 usuarios la mejora es de un 46% aproximadamente.

M2 2Tx vs M1 2Tx	M1 3Tx vs M1 2Tx	M1 3Tx vs M2 2Tx
4,60%	14,36%	10,23%

**Tabla 4.2** Comparamos la mejora del retardo medio para 2 transceptores y 3 transceptores.

En la tabla 4.2 apreciamos que comparando el método M1 para 3Tx con método M1 para 2 Tx la mejora para 60 usuarios es aproximadamente de un 14,36 %. Vemos que la variación del retardo de 2 a 3 Tx es sensiblemente mejor.

M2 3Tx vs M1 2Tx	M2 3Tx vs M2 2Tx	M2 3Tx vs M1 3Tx
19,25%	15,38%	5,70%

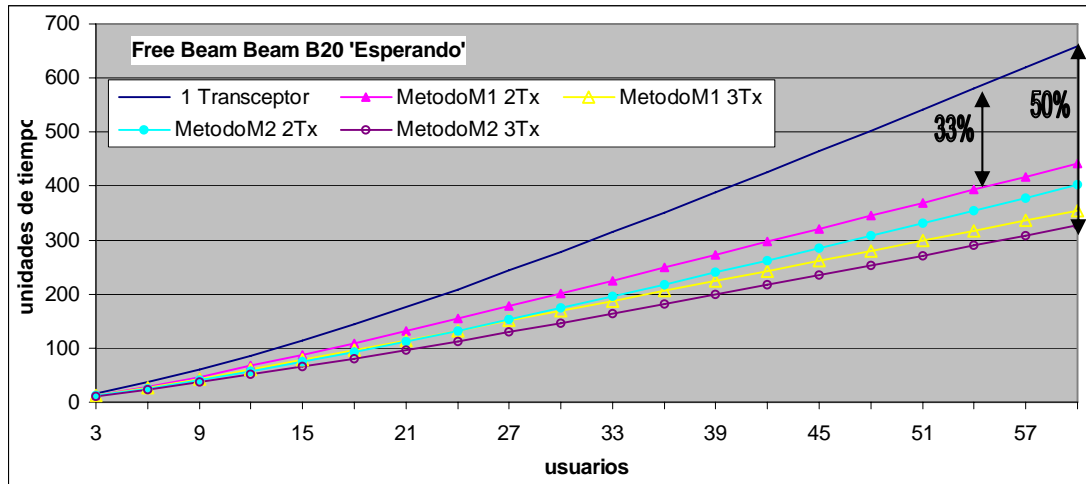
**Tabla 4.3** Comparamos la mejora del retardo medio para 2 transceptores y 3 transceptores.

Finalmente podemos observar en los resultados de la tabla 4.3 que si comparamos el método M1 para 3Tx con método M2 con 3Tx, para 60 usuarios el M2 es un 5,7 % más eficiente.

Por tanto como era de esperar con 3 transceptores obtenemos el menor retardo, comparando con el uso de 1 o 2 . Esto es debido a que a mayor número de transceptores, subdividimos el espacio en menos zonas de búsqueda y se minimiza el retardo. A cambio de esta mejora obtenemos un sistema mas complejo y con unos costes de implementación más elevados.

El método M2 es mejor al M1 porque selecciona mejor la búsqueda de los usuarios. Mientras que el método M1 busca todos los usuarios en un beam, el método M2 solo busca la mitad o un tercio de los usuarios en cada beam (dependiendo del caso de utilizar 2 o tres transceptores en el AP).

Vamos a comparar estos mismos resultados para 20 beams.



**Fig 4.2** Free Beam Beam,20 beams para 1,2 y 3 transceptor

Observamos que cambiando el número de zonas de búsqueda el retardo aumenta para cada uno de los métodos. Esto es debido a que al ser un método sin contienda, los usuarios están distribuidos en más beams que para el caso anterior. Por tanto se envían muchos más mensajes de descubrimiento que para 10 beams y el retardo es más alto.

Observamos que el método M2 es mejor al M1. Esta característica se cumplirá para todas las gráficas.

Comparamos los resultados de la Fig 4.1 y Fig 4.2 en la siguiente tabla.

M1 2Tx 10 vs 20	M2 2Tx 10 vs 20	M1 3Tx 10 vs 20	M2 3Tx 10 vs 20
27,00%	23,40%	22,10%	20,37%

**Tabla 4.4** Comparamos los resultados para 10 con los de 20 beams.

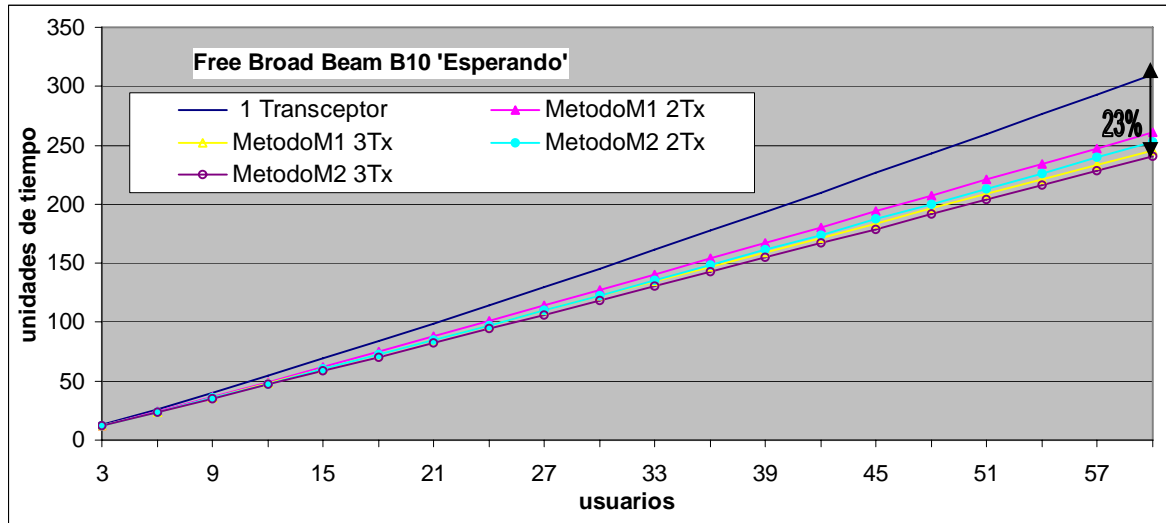
En la tabla 4.4 podemos observar la mejora para cada método para 10 beams respecto a 20. Comparando método a método vemos que la diferencia de retardo medio a favor del caso de 10 beams puede oscilar desde el 20,37% al 27%.

Los resultados más importantes de la fig 4.2 los representamos en la siguiente tabla:

M1 2Tx vs 1 Tx	M1 3Tx vs 1 Tx	M2 2Tx vs 1 Tx	M2 3Tx vs 1 Tx
33,00%	46,20%	39,00%	50,00%

**Tabla 4.5** Comparamos la mejora del retardo medio de todos los casos con 1 transceptor.

### 4.4.1.2 Free Broad Beam



**Fig 4.3** Free Broad Beam, 10 beams para 1,2 y 3 transceptor

Nos encontramos delante de un método que consta de dos fases, en la primera fase el transceptor resuelve los usuarios de manera omnidireccional.

El AP en todo momento sabe cuantos usuarios se encuentran dentro de la zona omnidireccional y por tanto resolverá tantos usuarios como sea necesario hasta que llegue al número total de usuarios de esta primera fase.

Una vez resueltos los usuarios de la primera fase. El AP deberá resolver los usuarios restantes. Esto se realiza de manera direccional (fase2).

Comparando las gráficas de la Fig 4.1 y Fig 4.3 podemos apreciar que el retardo de Free Broad Beam será siempre mejor al retardo total del Free Beam Beam, para cada caso.

Esto tiene una explicación y es que para resolver los usuarios de manera omnidireccional tardamos un tiempo sensiblemente menor a hacerlo de forma direccional (resolviendo para cada caso el mismo número de usuarios). Es aquí donde reside la diferencia de retardos.

Adjuntamos tabla de comparación entre los resultados de estos dos métodos:

1 Transceptor	MetodoM1 2Tx	MetodoM1 3Tx	MetodoM2 2Tx	MetodoM2 3Tx
35,67%	19%	11%	17,85%	7,54%

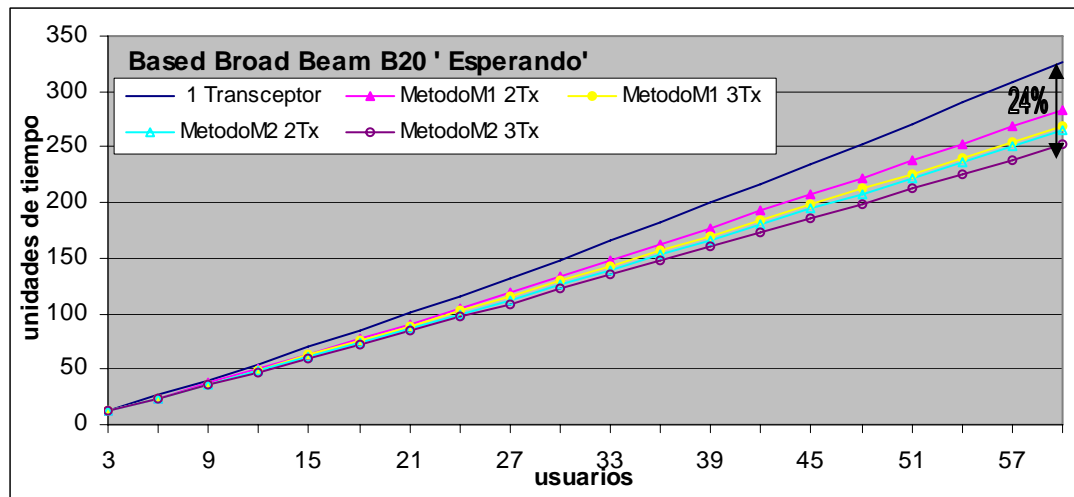
**Tabla 4.6** Comparamos Based Beam Beam con Based Broad beam para 10 beams.

A continuación vamos a enumerar algunos datos que podamos sacar como conclusión a comparar estos resultados (tabla 4.6)

- Para el mejor de los casos M2 3Tx el retardo calculado para Free Broad Beam para 60 usuarios es un 7,54% mas rápido en encontrar todos los usuarios que para Free Beam Beam.
- La diferencia mayor se da al comparar los dos métodos y utilizar un solo transceptor. Based Broad Beam casi un 36% mejor a Based beam Beam,

Observando la figura 4.3 afirmamos que en el mejor de los casos, es decir para 3 transceptores y método M2 respecto al peor de los casos (1 transceptor) con 60 usuarios la mejora del delay es de un de un 23% aproximadamente.

Pasamos a estudiar los resultados para 20 beams:



**Fig 4.4** Free Broad Beam,20 beams para 1,2 y 3 transceptor

Como cabía esperar el retardo total es peor que para 10 Beams. Se cumple lo anteriormente dicho para este caso.

De la observación de esta gráfica y comparándola con Fig 5.2 podemos deducir:

- Para 60 usuarios y el mejor caso, esto es 3 transceptores y método para recorrer los beams M2, Free Broad Beam es un 23% mejor a Free Beam Beam.
- En el mejor de los casos, es decir para 3 transceptores y método M2 respecto al peor de los casos (1 transceptor) con 60 usuarios la mejora del delay es de un de un 24% aproximadamente (fig 4.4).



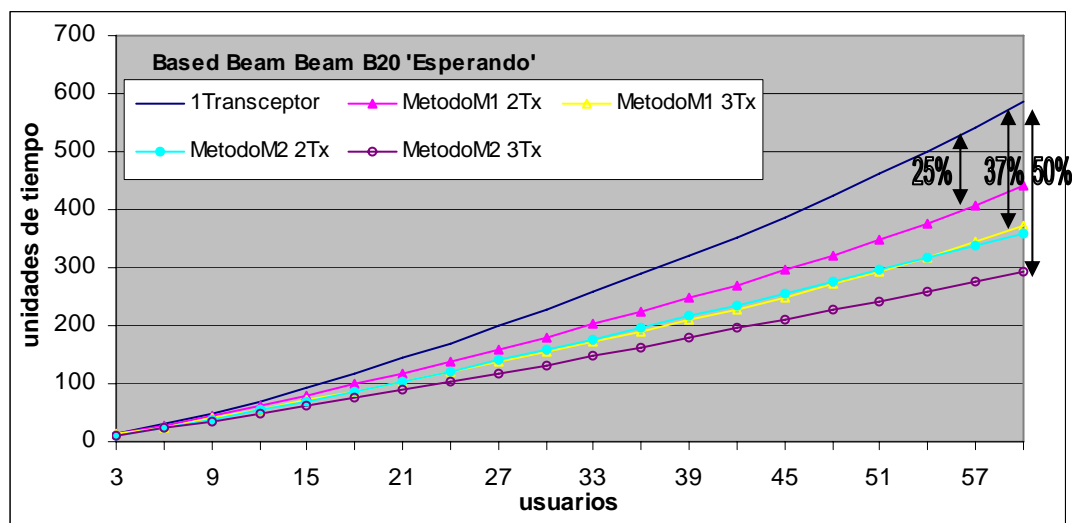
## 4.4.2 Escenarios con contienda

### 4.4.2.1 Based Beam Beam

Este método consta de una sola fase con contienda.

En la Figura 5.5 mostramos la evolución del retardo en función del número de usuarios para los casos en que el AP utilice 1, 2 o 3 transceptores.

Recordemos que el AP conoce la distribución de los usuarios, es decir, sabe cuantos usuarios hay en cada beam.



**Fig 4.5** Based Beam Beam, 20 beams para 1, 2 y 3 transceptor

Como era de esperar el mejor retardo se da cuando el AP utiliza 3 transceptores para realizar la resolución de los usuarios.

Para comprender los resultados debemos ver las colisiones que hay en cada método.

Entendemos como colisión intentar resolver más de un usuario en un Beam a la vez como consecuencia del envío de un polling message. Insertamos tabla de colisiones. Para más de un transceptor hemos calculado la media aritmética para todos ellos. El resultado lo analizamos a continuación.

	1 Transceptor	MetodoM1 2Tx	MetodoM2 2Tx	MetodoM1 3Tx	MetodoM2 3Tx
3	0,21	0,1	0	0,07	0
6	1	0,5	0,21	0,34	0,08
9	2,28	1,13	0,42	0,78	0,22
12	3,99	1,98	1	1,36	0,42
15	6,08	3,04	1,37	2,07	0,69
18	8,55	4,27	2,26	2,89	1,02
21	11,35	5,69	2,79	3,88	1,42
24	14,5	7,28	3,97	4,92	1,85
27	17,97	9	4,61	6,14	2,35
30	21,91	10,94	6,04	7,4	2,89
33	26,11	13,1	6,81	8,9	3,47
36	30,77	15,36	8,49	10,43	4,1
39	35,89	17,95	9,42	12,15	4,77
42	41,35	20,7	11,28	14,03	5,51
45	47,55	23,75	12,28	16,23	6,27
48	53,93	26,95	14,43	18,35	7,05
51	61,2	30,51	15,59	20,74	7,91
54	68,87	34,37	17,91	23,42	8,8
57	77,31	38,73	19,13	26,36	9,7
60	86,69	43,32	21,73	29,41	10,67

**Tabla 4.7** Tabla colisiones Based Beam Beam, 20 beams para 1, 2 y 3 transceptor

En estos datos no está contemplado cuando ejecutamos contienda y no se resuelve ningún usuario. Esto no es propiamente una colisión.

De esta tabla 4.7 podemos sacar algunas conclusiones:

- Para el escenario de un solo transceptor el delay y el número de colisiones siempre es mayor que los escenarios donde utilizamos dos o tres transceptores.
- Para el escenario M1 con dos transceptores se produce la mitad de colisiones que para el escenario con un solo transceptor. Esta característica se cumple también para tres transceptores. Estos resultados eran esperados ya que buscamos los usuarios de forma similar con la diferencia que tenemos 2 o 3 transceptores en lugar de uno. Por tanto el número de colisiones es la mitad o una tercera parte.
- En el escenario M2 repartimos los usuarios entre 2 o 3 transceptores. En el caso de 2 transceptores, TX1 buscará la mitad de usuarios y TX2 buscará la otra mitad. Por tanto cuando resolvamos 60 usuarios será como si resolviésemos 30 usuarios con 1 solo transceptor...

De ello deducimos que las colisiones de 3Tx para 60 usuarios será igual a las colisiones para 30 usuarios utilizando 1 solo transceptor. De la

misma manera las colisiones de 30 usuarios para M2 será igual a colisiones de 15 para 1 transceptor.

Para 3 transceptores sucede exactamente lo mismo.

Por tanto el método M2 es mejor al M1 puesto que en el primer método aparecen menos colisiones que en el segundo. Esto es debido a que los transceptores se reparten la búsqueda de los usuarios totales y esto no ocurre con el método M1.

Ante estos resultados esperaríamos que esto también se cumpliera para los retardos de la simulación, pero esto no sucede así.

Las colisiones de la figura 5.7 son la media aritmética de los n transceptores pero no sabemos en que momento se producen. Para que se cumpliera lo anteriormente descrito las colisiones se deberían producir al mismo instante para los n transceptores y eso no sucede así. Recordemos que los transceptores “esperan” antes de cambiar de beam.

Todo este estudio no se centra en el retardo total pero nos puede ayudar a comprender los casos con colisiones.

De la Fig 5.5 podemos extraer algunos datos. Estos los representamos en la siguiente tabla:

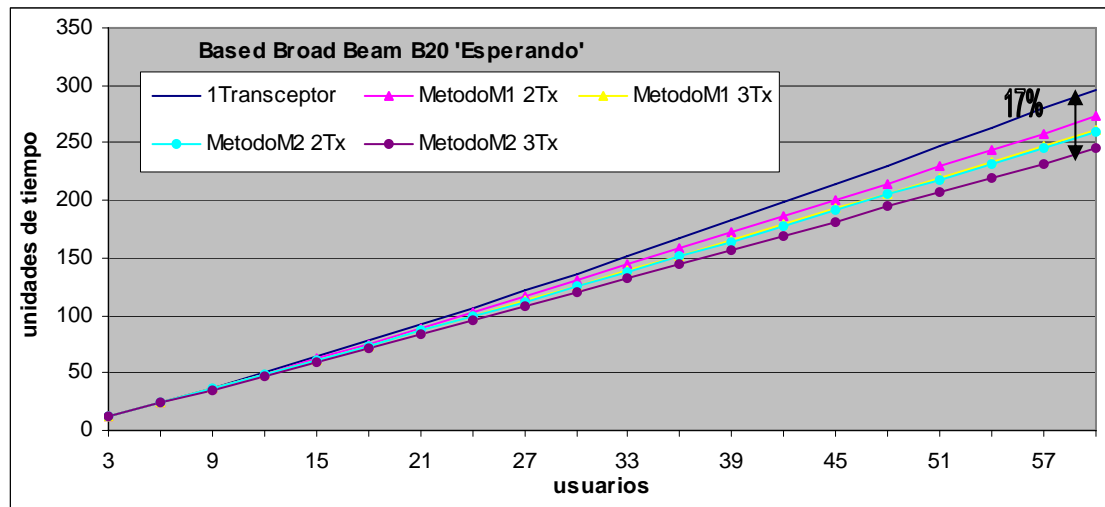
M1 2Tx vs 1 Tx	M1 3Tx vs 1 Tx	M2 2Tx vs 1 Tx	M2 3Tx vs 1 Tx
25%	36,64%	38,90%	50,20%

**Tabla 4.8** Comparamos la mejora del retardo medio de todos los casos con 1 transceptor.

Comentamos los resultados de la tabla 4.8 a continuación.

- Para 60 usuarios y 1 transceptor comparándolo con el mejor método para 2 transceptores, la mejora del retardo utilizando 2 supone alrededor de un 39%. Este resultado es similar a comparar M1 3 transceptores con 1 transceptor (casi 37%).
- Haciendo la misma comparación entre 1 y 3 transceptores, para el mejor método la mejora es de un 50 % aproximadamente
- La peor mejora del retardo medio se da al comparar el método M1 2 transceptores con 1 solo transceptor. Es de un 25%.

#### 4.4.2.2 Based Broad Beam



**Fig 4.6** Based Broad Beam, 20 beams para 1, 2 y 3 transceptor “Esperando”

En este escenario el método tiene dos fases, en una primera se resuelven los usuarios de forma omnidireccional.

En la segunda fase se resuelven los usuarios restantes de manera direccional con contienda.

Comparando los resultados de Fig 5.7 y 5.8 apreciamos que el método Based Broad Beam es mejor al Based Beam Beam. La diferencia de tiempos se debe al tiempo que emplean los dos métodos en resolver las 2/3 partes de los usuarios (omnidireccional).

No obstante las diferencias entre estos dos métodos no es muy elevado. Si comparamos el mejor método para 60 usuarios y 3 transceptores, Based Broad Beam es un 16 % mejor a Based Beam Beam.

El mejor método siempre será el que disminuye el número de usuarios que compiten y cómo consecuencia menos colisiones ocurren.

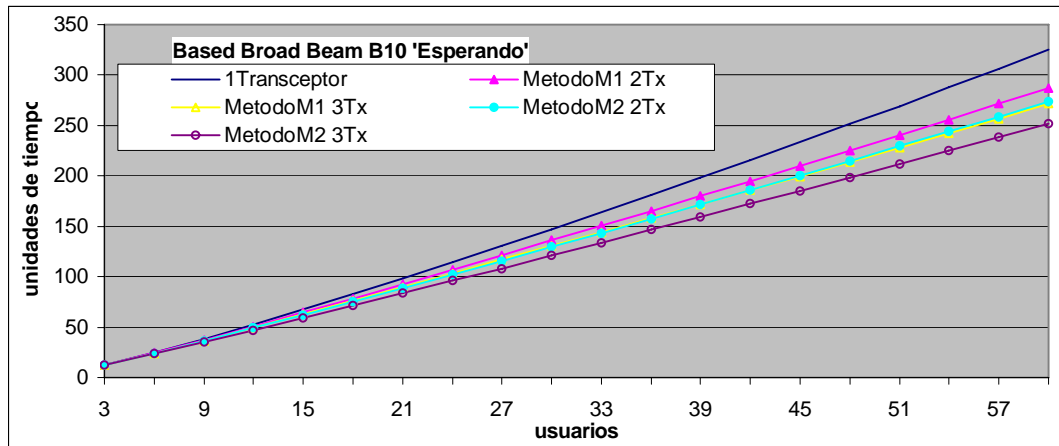
En la siguiente tabla vamos a comparar la diferencia de retardos entre estos dos métodos.

1 Transceptor	MetodoM1 2Tx	MetodoM1 3Tx	MetodoM2 2Tx	MetodoM2 3Tx
49,5%	30%	29,82%	27%	16,1%

**Tabla 4.9** Comparamos la mejora del retardo medio para esto dos casos con contienda para 20 beams.

De la figura 4.6 podemos destacar que para 60 usuarios y 1 transceptor comparándolo con el mejor método para 3 transceptores, la mejora del retardo supone alrededor de un 17%.

Vamos a estudiar los resultados para este mismo caso y 10 beams.



**Fig 4.7** Based Broad Beam,10 beams para 1,2 y 3 transceptor “Esperando”

En los resultados de la Fig 4.7 observamos que el retardo medio da mayor que para 10 beams (fig 4.6).

A diferencia de los escenarios sin contienda a mayor número de beams, menor será el retardo al comparar un mismo escenario con contienda.

Esto es debido a que en el caso de haber mas zonas de búsqueda, los usuarios estarán mas repartidos, lo que implica que se producirán menos colisiones.

Por ejemplo si buscamos 60 usuarios en 10 beams y los usuarios se distribuyen uniformemente en el espacio. A cada beam habría 6 usuarios.

En cambio si el escenario de simulación fuese de 20 beams. Por cada beam habría 3 usuarios.

A priori en el segundo caso se producirían menos colisiones.

#### 4.4.2.3 Conclusiones

Una vez analizados los cuatro métodos para varios transceptores podemos concluir que.

- De los resultados expuestos en este capítulo para 60 usuarios, podemos indicar que el mejor retardo es para el método Free Broad Beam M2 3Tx con 240,72 unidades de tiempo.

Muy similar es el retardo medio para Based Braod Beam M2 3Tx 245,23 u.t.

Hay una diferencia entre ellos de un 2% aproximadamente.

- El hecho de aumentar el número de beams, aumenta el retardo de resolución para los métodos sin contienda. Si los usuarios están distribuidos en mas beams, se envian muchos mas mensajes de descubrimiento que para menos beams y el resultado es un retardo mas alto.
- Por otro lado si aumentamos el número de beams para los métodos con contienda, el retardo disminuye. Esto es debido a que a mayor número de beams los usuarios se distribuyen de tal forma que se producen menos colisiones que si hubiera menos beams.
- Los métodos M2 dan un retardo mejor que los métodos M1. Esto es debido a que este método realiza una búsqueda de los usuarios de forma mas selectiva (capítulo 3.2).

Para los escenarios con contienda, el método M2 tiene menos colisiones que para el método M1. Este aspecto mejora el retardo del primer método sobre el segundo.

Para los escenarios sin contienda, solo enviaremos mensajes de descubrimiento para aquellos beams donde sepamos que hay usuarios para resolver. El método M2 al buscar menos usuarios que el M1 para cada beam, provoca que se envíen menos mensajes de descubrimiento y por tanto un retardo menor.

De todo ello deducimos que es importante la forma en que buscamos los usuarios para cada beam (para obtener un resultado de retardo medio bajo).

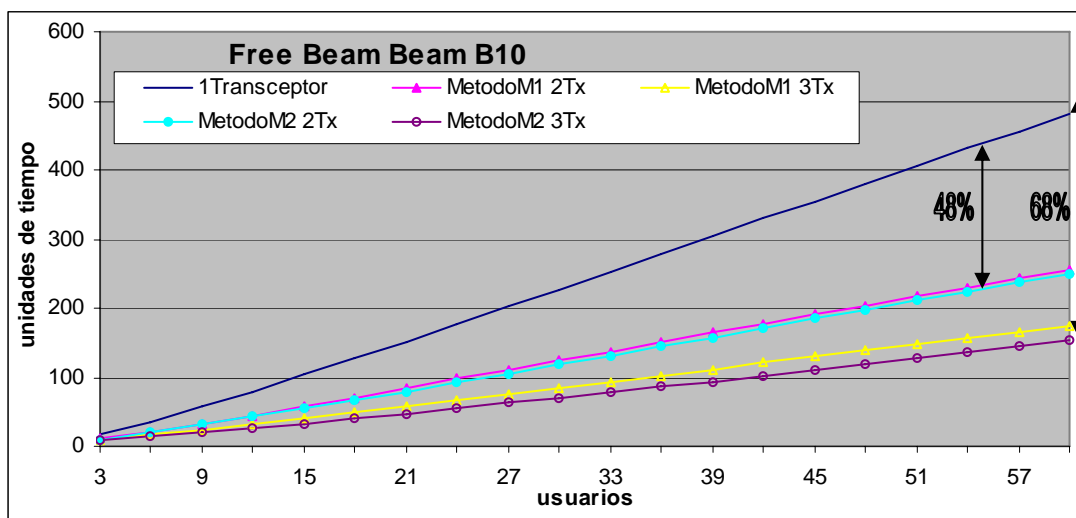
## 4.5 Estudio de los métodos en el caso “Sin esperar”

Para comentar los casos de este escenario solo vamos a hacerlo para 20 beams en los casos que se resuelve contienda y para 10 en aquellos en que no debemos resolverla. Son los casos con menos retardo medio. Es por tanto los casos que nos interesan.

En todos ellos los transceptores que forman el AP no están sincronizados para cambiar de beam.

### 4.5.1 Escenarios sin contienda

#### 4.5.1.1 Free Beam Beam



**Fig 4.8** Free Beam Beam, 10 beams para 1, 2 y 3 transceptor “Sin Esperar”

Hay una importante mejora comparando estos resultados con la Fig 4.1. Esto es debido a que los transceptores no están sincronizados.

Algunos datos importantes del estudio de estos resultados se detallan en la siguiente tabla. Hacemos las comparaciones de cada caso.

MetodoM1 2Tx	MetodoM1 3Tx	MetodoM2 2Tx	MetodoM2 3Tx
20,49%	37,31%	18,72%	41,44%

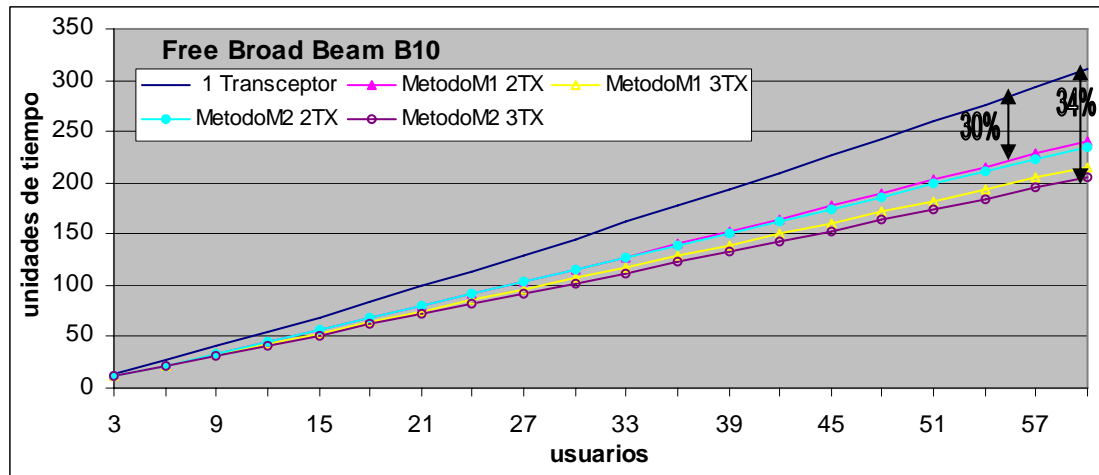
**Tabla 4.10** Comparamos la mejora del retardo medio entre “Sin esperar” y “Esperando” para 10 beams.

De los resultados de la figura 4.8 podemos destacar los siguientes.

- Comparando para 60 usuarios, el mejor método para 2 transceptores comparándolo con un transceptor es un 48% mejor.

- Comparando para 60 usuarios, el mejor método para 3 transceptores y comparándolo con uno solo la mejoría es de un 68 % aproximadamente.

#### 4.5.1.2 Free Broad Beam



**Fig 4.9** Free Broad Beam, 10 beams para 1, 2 y 3 transceptor “Sin Esperar”

Para éste escenario los métodos M2 con dos fases son peores a los métodos con una fase, sucede lo mismo para el método M1 con 3 Tx. Siempre hablando en términos de retardo.

La fase omnidireccional tarda un tiempo mayor a encontrar las 2/3 partes de los usuarios totales para los métodos con una fase.

El comportamiento de los transceptores para resolver los usuarios hace que el método direccional mejore mucho los tiempos. Si a esto le añadimos que la fase omnidireccional no mejora los tiempos, siempre los tiempos son los mismo, podemos llegar a comprender el análisis de resultados comparándolos con el método Free Beam Beam.

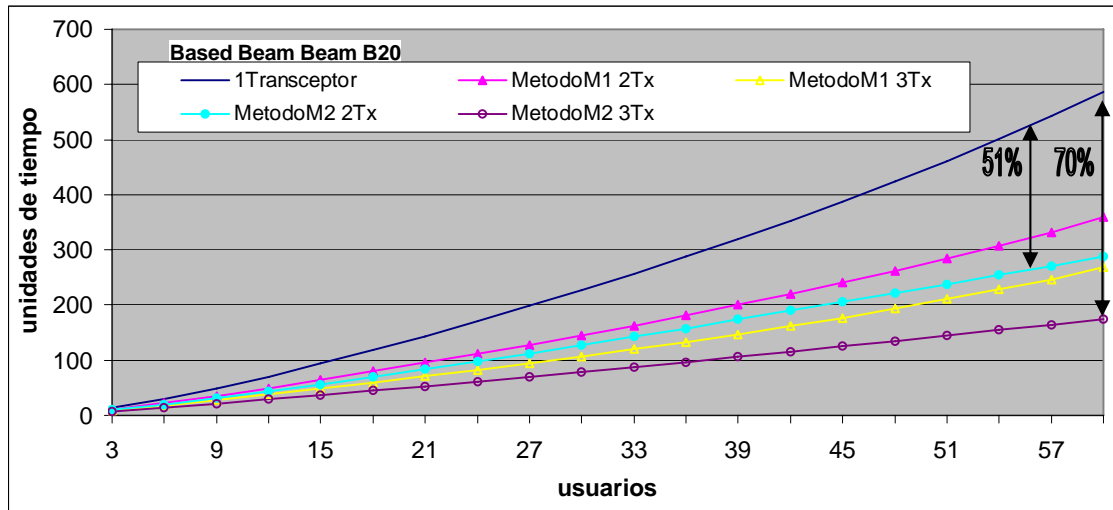
Algunos datos importantes del estudio de estos resultados (Fig 4.9):

- Comparando para 60 usuarios, el mejor método para 2 transceptores comparándolo con un transceptor es un 30% mejor.
- Comparando para 60 usuarios, el mejor método para 3 transceptores y comparándolo con uno solo la mejoría es de un 34% aproximadamente.



## 4.5.2 Escenarios con contienda

### 4.5.2.1 Based Beam Beam



**Fig 4.10** Based Beam Beam, 20 beams para 1, 2 y 3 transceptor “Sin Esperar”

Escenario con contienda, consta de una sola fase de resolución.

Observamos en la Fig 5.12 que el menor retardo se da para Método M2 con 3 transceptores.

Esto era lo que esperábamos puesto que en éste método, como ya hemos explicado anteriormente (tabla 4.7) es donde se producen menos colisiones. Esto es debido al tipo de búsqueda que se realiza en éste método, al ser más restrictiva ocurren menos colisiones.

El método M1 3Tx tiene menos colisiones que el método M2 2Tx puesto que el retardo total es mejor.

Estudio de estos resultados:

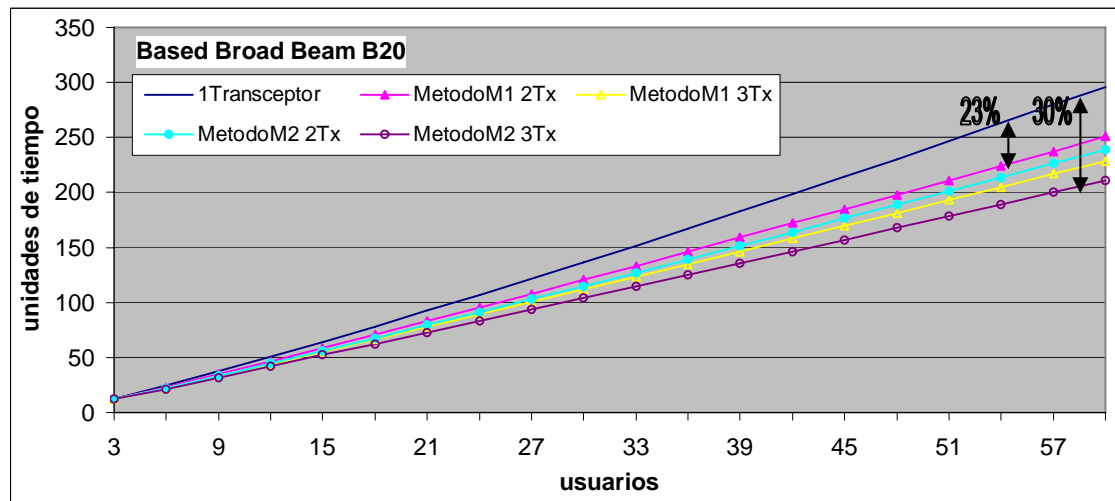
- Comparando para 60 usuarios, el mejor método para 2 transceptores con un transceptor el resultado es un 51% mejor.
- Comparando para 60 usuarios, el mejor método para 3 transceptores con uno solo la mejoría es de un 70% aproximadamente.

Vamos a comparar estos resultados con los resultados del mismo método con los transceptores sincronizados.

MetodoM1 2Tx	MetodoM1 3Tx	MetodoM2 2Tx	MetodoM2 3Tx
18,40%	27,81%	19,71%	40%

**Tabla 4.11** Comparamos la mejora del retardo medio entre “Sin esperar” y “Esperando” para 10 beams, Based Beam Beam.

### 4.5.2.2 Based Broad Beam



**Fig 4.11** Based Broad Beam, 20 beams para 1, 2 y 3 transceptor “Sin Esperar”

En este escenario sucede lo mismo en lo que se refiere a tiempos que en la Fig 4.10.

El menor retardo se da en Método M2 con 3 transceptores.

En el método M1 3Tx ocurren menos colisiones que el método M2 2Tx, esto lo podemos apreciar en los resultados.

Este escenario es similar al Free Broad Beam. El comportamiento de los transceptores para resolver los usuarios hace que el método direccional mejore mucho los tiempos respecto a la fase omnidireccional que no los mejora respecto a otros escenarios.

Estudio de estos resultados:

- Comparando para 60 usuarios, el mejor método para 2 transceptores con un transceptor el resultado es un 23% mejor.
- Comparando para 60 usuarios, el mejor método para 3 transceptores con uno solo la mejoría es de un 30% aproximadamente.

### 4.5.2.3 Conclusiones

Una vez estudiados los métodos anteriormente descritos podemos concluir que:

- De los resultados expuestos en este capítulo para 60 usuarios, podemos indicar que el mejor método es el Free Beam Beam M2 3Tx con 152,4 unidades de tiempo. De todos los métodos simulados en el trabajo, éste es el que da un retardo menor. Recordemos que con 3 transceptores el tiempo ideal para resolver 60 usuarios sería 80 u.t. Los resultados de retardo medio para el método Based Beam Beam M2 para 3Tx es 175,3 u.t. Es el segundo resultado mejor para resolver 60 usuarios. Hay una diferencia entre ellos de un 13 % aproximadamente
- Los mejores tiempos en este apartado los dan los métodos con una fase. Contrariamente que para “Esperando”.
- En este escenario de simulación es importante ver que la sincronización de los transceptores que forman el AP hace que los tiempos de simulación bajen considerablemente.
- El hecho de aumentar el número de beams, aumenta el retardo de resolución para los métodos sin contienda y contrariamente favorece a los métodos con contienda.
- El método M2 es mejor al método M1.

## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez analizados todos métodos de resolución de usuarios en el escenario correspondiente y para diversos transceptores formando el AP. Podemos concluir indicando las siguientes ideas.

- La utilización de antenas inteligentes aumenta el rango de cobertura.
- La utilización de varios transceptores mejora los resultados del retardo medio de forma considerablemente a solo utilizar uno solo. Por otro lado al utilizar mas de un transceptor hacemos el sistema mas complejo y con unos costes de implementación más elevados.
- La forma de recorrer los beams es importante, así como realizamos la búsqueda de los usuarios en cada beam. Hemos visto que los mejores resultados se dan cuando utilizamos el método M2 y los transceptores no están sincronizados.
- El hecho de utilizar 2 transceptores no asegura que la mejoría del retardo sea de un 50% para todos los casos. Que es lo que podríamos pensar. Esto es aplicable para 3 transceptores. Hemos visto que en muy pocos casos sucede esto.

### 5.1 Líneas futuras de investigación

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

- Para el caso de mas de un transceptor y conociendo distribución de los usuarios, posibilidad que los diferentes transceptores al resolver un usuario informen a los otros para que no lo busquen y así mejorar el retardo medio.
- Posibilidad que el AP no conozca la distribución de los usuarios en cada beam .
- Posibilidad que los usuarios tengan movilidad. En este caso el AP podría tener memoria.
- Posibilidad de que durante el transcurso de la fase de resolución de usuarios, el AP recalculé la cantidad de beams en que debe dividir la zona en función de los usuarios que le resten por resolver.

- Hemos de 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

[5] Miguel Angel Tarrason, Óscar Alarcón. "Estudio de Técnicas de Resolución de Usuarios para Incluir Antenas Inteligentes en Sistemas WLAN",2005.