

## **Antenas inteligentes y su desempeño en redes wireless**

*Cristian Guitál Mansilla*

Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Egresado de Ingeniería Electrónica. e-mail:  
[cguitál@gmail.com](mailto:cguitál@gmail.com).

*Eduardo Muñoz Brandau*

Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Egresado de Ingeniería Electrónica. e-mail:  
[eduardo\\_mb@hotmail.com](mailto:eduardo_mb@hotmail.com)

*Néstor Fierro Morineau*

Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Instituto de Electricidad y Electrónica. e-mail:  
[nfierro@uach.cl](mailto:nfierro@uach.cl)

En este artículo se describe la tecnología de Antenas Inteligentes, su desempeño y beneficios en redes wireless. Para ello se muestra su funcionamiento básico, tipo de configuraciones y se define el concepto de antenas adaptativas.

*Palabras clave:* antenas inteligentes, redes wireless, antenas adaptativas.

This article describes the technology of Intelligent Antennas and their performance in wireless networks. It also introduces their basic functionality and the configuration types that exist. Additionally the ray conformation and classification according to their properties is shown.

*Key words:* intelligent Antennas, Wireless Networks, Adaptive Antennas.

### 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace relativamente poco tiempo, se está viviendo lo que puede significar una revolución en el uso de las tecnologías de la información tal y como se conoce. Esta revolución

puede llegar a tener una importancia similar a la que tuvo la adopción de Internet por el gran público.

De una forma silenciosa, las redes inalámbricas o Wireless Networks (WN), se están introduciendo en el mercado de consumo gracias a unos precios populares y a un conjunto de entusiastas, mayoritariamente particulares, que han visto las enormes posibilidades de esta tecnología. [2]

Hoy en día es clara la alta dependencia en las actividades empresariales e institucionales de la redes de comunicación. Por ello la posibilidad de compartir información sin que sea necesario buscar una conexión física al permitir mayor movilidad y comodidad constituye una ventaja.

La red inalámbrica puede ser más extensa sin tener que mover o instalar cables. Respecto a la red tradicional la red sin cable ofrece ventajas, como por ejemplo la Movilidad, Facilidad de instalación, Flexibilidad, Reducción de costos, entre otros aspectos.

Es evidente que cada día es mayor el número de usuarios que optan por estas tecnologías inalámbricas. Este desarrollo tecnológico inicial generó nuevos requerimientos. Así nacieron las antenas inteligentes como un conjunto de nuevas técnicas de modulación en respuesta a las falencias del momento.

En este trabajo se presenta una visión general acerca de las redes inalámbricas, haciendo hincapié en las antenas inteligentes y sus diferentes arreglos para lograr una configuración eficiente.

## 2. CLASIFICACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas se pueden clasificar en dos categorías:

- 1) Redes inalámbricas de área local
- 2) Redes inalámbricas para comunicación móvil.

La diferencia fundamental entre ambas categorías radica en los modos de transmisión. Las LAN inalámbricas emplean transmisores y receptores que se encuentran en los edificios en que se usan, mientras que las comunicaciones móviles inalámbricas son usadas por las compañías de telecomunicaciones telefónicas u otros servicios públicos en la transmisión y recepción de las señales. [2]

Las aplicaciones de las redes inalámbricas son infinitas. De momento van a crear una nueva forma de usar la información, pues ésta estará al alcance de todos a través de Internet y de servicios móviles prestados por las compañías de telefonía en cualquier lugar en el que haya cobertura. [2].

Gracias a la invención de las Antenas Inteligentes y de las mejoras que se le han aplicado, es posible, hoy en día, llevar a cabo un control definitivo del tráfico, con el fin de evitar atascos, limitando la velocidad máxima y/o indicando rutas alternativas en tiempo real.

A su vez, nuevas técnicas de modulación que permiten utilizar de una mejor manera el ancho de banda determinado por el sistema, conllevará nuevos servicios tales como video y datos, que serán prestados por las empresas pertinentes que utilicen esta tecnología. [2]

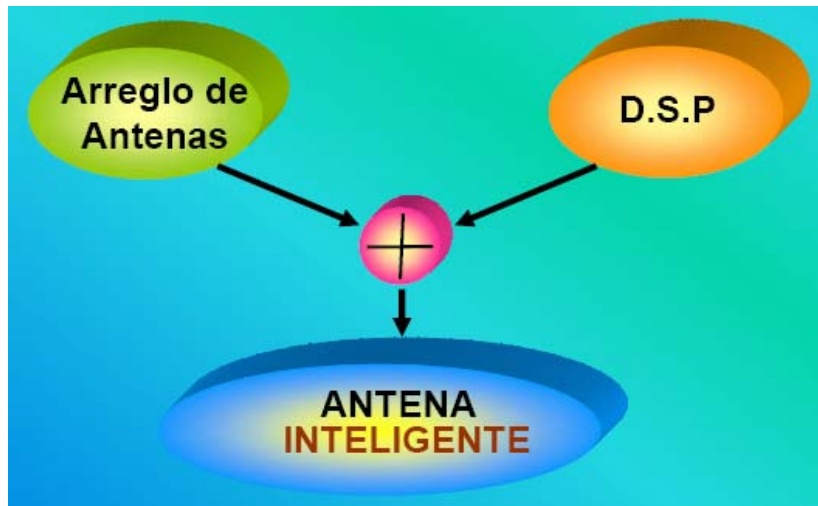
### 3. ANTENAS INTELIGENTES

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.

Los sistemas de antenas inteligentes proporcionan oportunidades para incrementar la capacidad del sistema, proporcionando calidad de servicio, control de potencia y mayor duración de las baterías de las unidades portátiles, para el caso de telefonía móvil.

Una antena inteligente es la combinación de un arreglo de antenas (arrays) con una unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP) que optimiza los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno. Es aquella que, en vez de disponer de un diagrama de radiación fijo, es capaz de generar o seleccionar haces muy directivos enfocados hacia el usuario deseado, e incluso adaptarse a las condiciones radioeléctricas en cada momento. [3]

Figura 3.1.  
Componentes Elementales de Antenas Inteligentes



#### 3.1. Funcionamiento de Antenas Inteligentes

El principio básico de funcionamiento de las antenas inteligentes es que cada antena recibe una señal separada y definida. Dependiendo de cómo está configurado el sistema inalámbrico, el receptor puede usar una señal para mejorar la calidad de otra señal, o podría combinar los datos de señales múltiples para ampliar el ancho de banda.

La señal que reciben las antenas es una señal de radiofrecuencia (RF) sin procesar. Esta RF se encamina inicialmente a circuitos que la manejan como una señal analógica, tal como un radio. Algunos dispositivos con antenas inteligentes aplican sus conceptos inteligentes en esta etapa analógica. Después del procesamiento inicial, la RF se convierte en una señal digital que luego se envía al dispositivo host como una cadena de datos. La mayoría de los dispositivos que usan las antenas inteligentes aplican sus conceptos inteligentes en éstas en conjunto con circuitos digitales.

En cuanto a los cambios debidos a la introducción de las antenas inteligentes en un sistema de telefonía móvil, por ejemplo, se supondrá una reducción en el número de estaciones base necesarias para dar cobertura a una zona de servicio y un aumento en el número de usuarios que

puede atenderse. Por otro lado, es necesario definir y cuantificar un conjunto de parámetros que caractericen las prestaciones de la antena inteligente en diferentes entornos para poder seleccionar el esquema de conformación más apropiado en cada caso.

Las Smart Antenas, como suelen ser llamadas también, se diferencian de las antenas convencionales ya que pueden trabajar de dos modos distintos los que se describen brevemente a continuación:

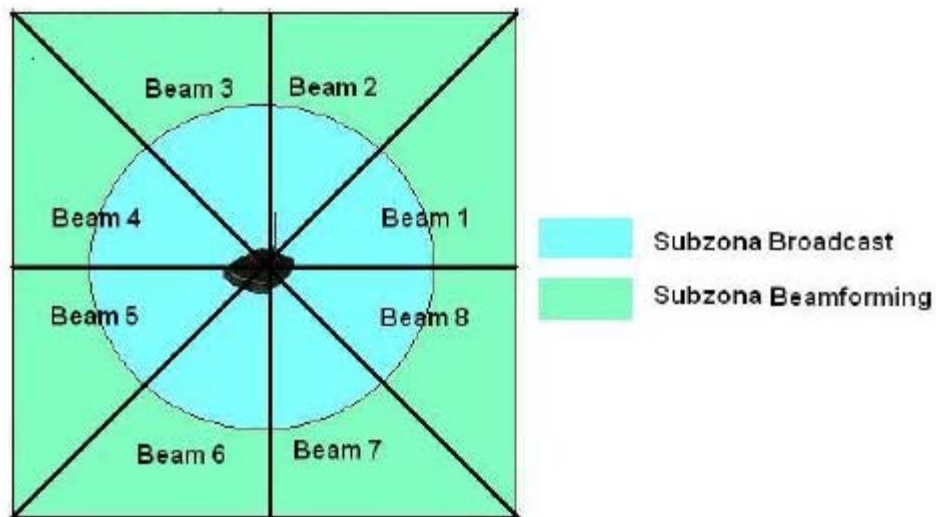
- 1) *Modo omnidireccional*. La antena en este modo funciona exactamente igual que las antenas convencionales es decir, emite señal con la misma intensidad hacia todas direcciones.
- 2) *Modo direccional*. En este modo, la antena emite señal en una sola dirección y con un cierto ángulo de apertura. La 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. [3]

### 3.2. 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.

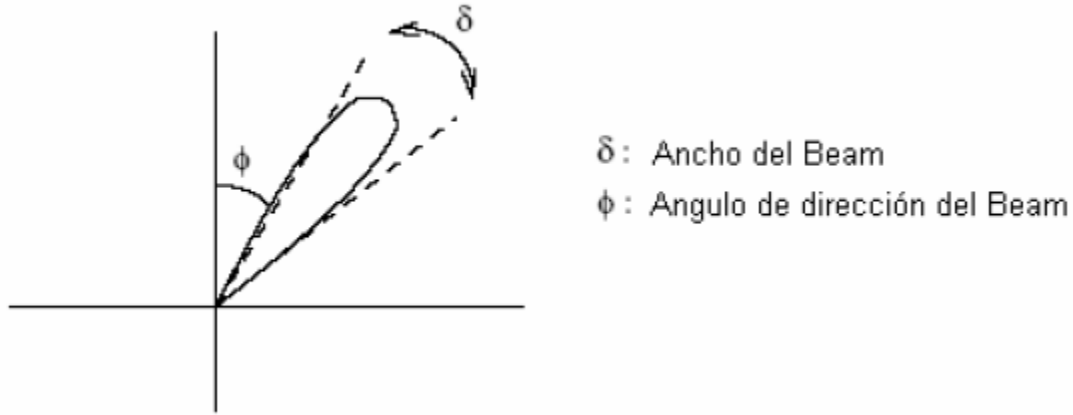
- 1) *Subzona Broadcast*. Esta zona se corresponde con el rango de alcance de la antena en modo omnidireccional.
- 2) *Subzona Beamforming*. Esta zona está dividida en n beams. Un beam se define como el rango de alcance de la antena en modo direccional para un cierto ángulo de apertura. Según el ángulo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

Figura 3.2.1.  
Subzonas de acuerdo a la configuración de Antenas



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.[3]

Figura 3.2.2.  
Lóbulo de radiación de una Antena Inteligente



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 dónde 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. [3]

### 3.3. Tipos de antenas Inteligentes

Los sistemas de Antenas inteligentes se clasifican en tres tipos:

- 1) *Haz Conmutado. (Switched Beam)*
- 2) *Haz de Seguimiento. (Scaninig)*
- 3) *Haz Adaptativo.*

A continuación se describirán brevemente cada uno de éstos tipo de antenas.

#### 3.3.1. *Haz Conmutado*

Es la configuración más simple de Antenas Inteligentes. El sistema genera varios haces a ángulos prefijados que se van conmutando secuencialmente dando como resultando un barrido discreto de la zona de cobertura en posiciones angulares fijas.

En cada posición discreta del haz se activa el sistema de recepción para detectar la posible existencia de señales. En caso de recibir señal, el sistema guarda información correspondiente a la posición del haz (ángulo + identificación de usuario) y se establece la comunicación con el usuario

en un intervalo de tiempo. Después de este intervalo se conmuta al siguiente haz para detectar la existencia de otros posibles usuarios hasta llegar al límite angular de la zona de cobertura. Este proceso se repite permanentemente en el tiempo. [4]

### 3.3.2. *Haz de Seguimiento*

Este sistema es un poco más complejo que el anterior. Está conformado por un arreglo de antenas con una red de excitación que permite controlar electrónicamente las fases de las corrientes de excitación que llegan a los elementos del arreglo para modificar la dirección del haz convenientemente y establecer comunicación con el usuario respectivo.

A diferencia del sistema de haz conmutado, el sistema haz de seguimiento ejecuta algoritmos DoA (Direction of Arrival) para identificar la dirección de arribo de las señales de los usuarios.

Otra diferencia es que los cambios de fase para en el sistema conmutado se realizan a ángulos fijos, es decir corresponden a ángulos prefijado en el sistema y en el sistema de Haz de seguimiento el posicionamiento del haz tiene mayor resolución angular. [4]

### 3.3.3. *Haz Adaptativo*

La técnica de haz adaptativo constituye el máximo nivel de inteligencia que se podría dar a un sistema de antenas. En este sistema, las salidas de cada elemento del arreglo de antenas se ponderan con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente para conformar un diagrama de radiación que presente el haz principal hacia la posición del usuario deseado y los haces o lóbulos secundarios hacia las direcciones de las componentes de multitrayecto de la señal deseada y mínimos o nulos de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

Esta técnica requiere el uso de algoritmos (DoA) tanto para la detección de las señales de arribo e interferentes como para la optimización de los pesos que conforman el haz. [4]

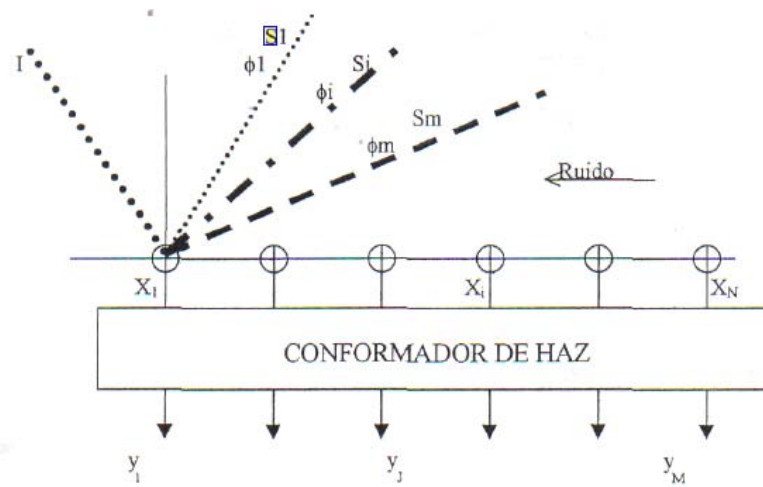
## 3.4. *Filtrado espacial en los receptores*

El proceso de Filtrado Espacial de frecuencias se lleva a cabo en un array de antenas o sistema de antenas, que reciben señales las que están acompañadas con otras señales o interferencias y ciertas componentes de ruido.

Cada señal se caracteriza por un ángulo de llegada y por una banda de frecuencias. Es decir, tenemos algo así como una caja negra con N entradas y M salidas. El objetivo que tendrá el sistema es obtener en cada salida una y sólo una de las señales deseadas, atenuando las interferencias, ruido y resto de las señales deseadas.

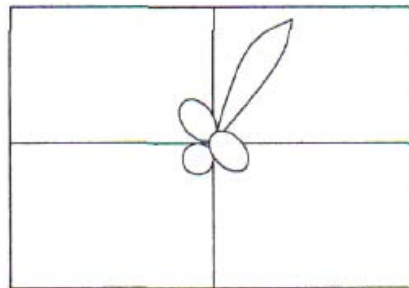
Supongamos que se tiene un arreglo lineal de sensores receptores o antenas ubicadas espacialmente sobre un sistema de ejes coordenadas y numerados positivamente; las señales (deseadas y ruido) inciden sobre cada sensor con un ángulo y frecuencia específico. Es decir, cierta señal si tiene un contenido frecuencial diferente a las otras señales. Luego, la separación de ésta con otras señales se realiza mediante el filtrado y así se logra extraer del resto de las señales recibidas. En caso de que dos o más señales vengan con un contenido frecuencial igual o muy similar, el sistema conformador de haz o beamformer será capaz de discriminarlas en función del ángulo de incidencia, o sea, en función de una variable espacial; así el sistema estará filtrando cada señal espacialmente.[1]

Figura 3.4.1.  
Discriminación de señales semejantes



El beamformer o conformador procesa las señales recibidas en cada sensor y obtiene a partir de ellas una señal resultante. Como resultado se obtiene una antena con un diagrama de radiación que presenta un haz hacia la dirección de interés.[4]

Figura 3.4.2.  
Lóbulo de radiación hacia la señal de interés



#### 4. ANTENAS ADAPTATIVAS

Las antenas adaptativas son un paso más en las tecnologías de antenas inteligentes. El control del diagrama de radiación se hace por medio de un algoritmo adaptativo que pretende minimizar una señal de error generada a partir de una referencia en el receptor de la estación base. Para ello, es necesario definir un modelo de canal que tenga en cuenta todas las características del canal. El modelo de señal utilizado es el presentado en la figura, donde se considera dispersión temporal y angular. El vector de señales recibidas en cada elemento del array procedente de  $N$  usuarios con  $N_{taps}$  multitrayectos puede expresarse como:

$$\underline{Y}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^{N_{tray}} c(\phi_i + \Delta\phi_{il}) \alpha_{il} \exp(j2\pi\nu_{il}t) u_i(t - \tau_{il}) + \underline{N}(t) \quad (1)$$

Donde  $\alpha_{il}$ ,  $\tau_{il}$  y  $\nu_{il}$  son la amplitud, retardo y frecuencia Doppler del trayecto  $l$ -ésimo,  $u_i(t)$  es la señal de datos en banda base del usuario  $i$ -ésimo, y  $N(t)$  es el ruido térmico;  $\Phi_i$  es el ángulo incidente en azimut del trayecto principal del usuario  $i$ -ésimo y  $\Delta\Phi_{il}$  es la dispersión acimutal respecto de  $\Phi_i$ ; la respuesta del array viene dada por el steering vector de cada uno de los  $M$  elementos.

$$c(\phi) = [1 \quad \dots \quad \exp(-j(M-1)\pi \sin\phi)]^T$$

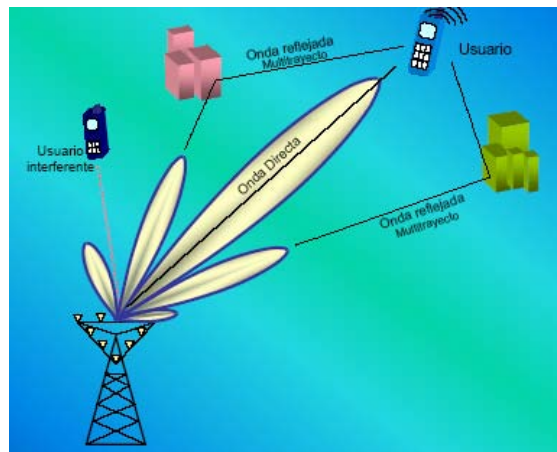
La señal de referencia en el receptor se genera a partir de los códigos CDMA usados por los diferentes usuarios. Con esta señal obtendremos los pesos apropiados del array para reducir la interferencia recibida de usuarios no deseados y seguir a la señal deseada. Por tanto, se trata de un esquema de referencia temporal. Se supondrá que cada usuario utiliza códigos OSVF (Orthogonal Variable Spreading Factor). Gracias a la ortogonalidad entre los códigos de los diferentes usuarios, puede generarse una señal de error  $e(t)$  cuya potencia se minimizará con el procesamiento adaptativo. Esta señal estará compuesta de la interferencia de otros usuarios y por ruido. Para cada usuario, se correrá la señal recibida con el código correspondiente, se filtra para eliminar la interferencia del resto de usuarios, y se vuelve a correlar la señal filtrada con el mismo código. Esta es la señal de referencia que luego se utilizará para obtener  $e(t)$ . El algoritmo genera un vector de pesos  $\mathbf{w}$ , que minimizará la potencia del error  $e(t)$  en un número de iteraciones dado, con lo que el haz se conformará adecuadamente para maximizar la relación señal frente a interferencias (SIR).[4]

#### 4.1. Conformación de Haz Adaptativo

Este sería el máximo nivel de inteligencia con que se podría dotar al sistema. En este caso, la salida de cada elemento del *array* se pondera con un factor de peso cuyo valor se asigna dinámicamente, de modo que se conforma el diagrama de radiación para maximizar algún parámetro de la señal (por ejemplo, la SINR). De este modo, el diagrama sintetizado habitualmente presentará un lóbulo principal en la dirección del usuario deseado, lóbulos secundarios en las direcciones de las componentes multitrayecto (si se quieren procesar con un receptor Rake) y mínimos (e incluso nulos) de radiación en las direcciones de las fuentes de interferencia.

Figura 4.1.1.

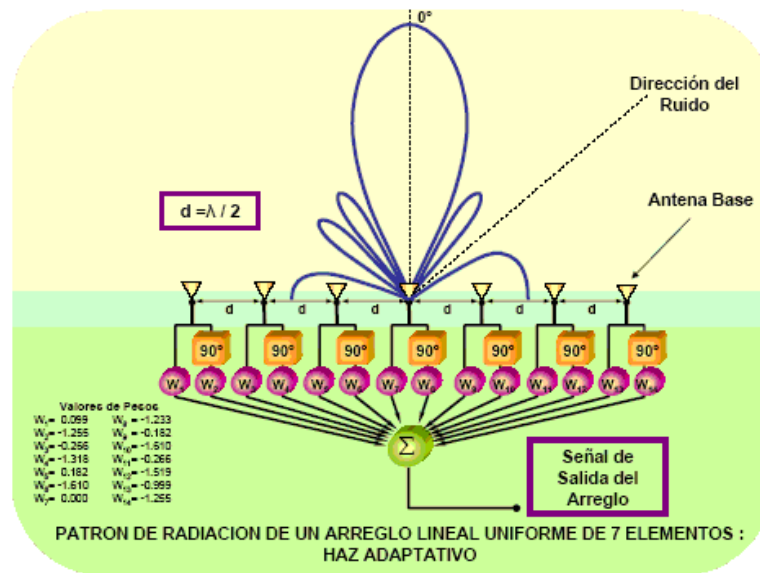
Situación real de comunicación con terminal móvil





No siempre será posible eliminar toda la interferencia, ya que el número de fuentes interferentes que se pueden suprimir está directamente relacionado con el número de elementos de la antena. Esta técnica requiere el uso de complicados algoritmos, tanto para la detección de las señales deseada e interferente como para la optimización de los pesos que conforman el haz. Estos algoritmos suelen conllevar una gran carga computacional, mientras que deben procesarse en tiempo real, por lo que suponen una seria limitación. [4]

Figura 4.1.2.  
Patrón de radiación en arreglo de siete elementos



## 5. BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA DE ANTENAS INTELIGENTES

### 5.1. Reducción de Potencia de Transmisión

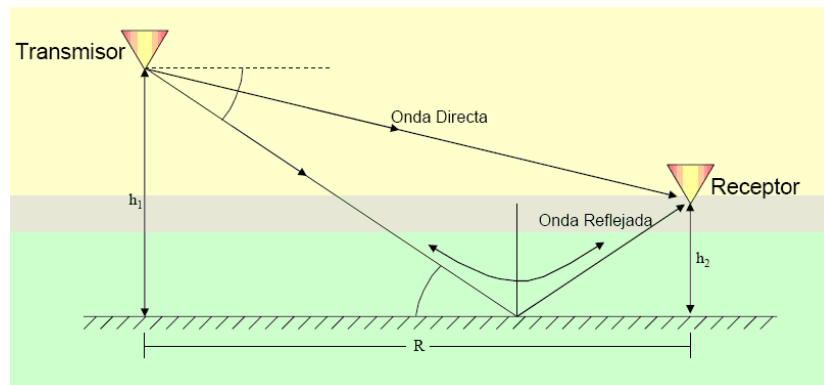
El sistema de Antenas Inteligentes puede radiar una potencia menor por lo cual se pueden reducir o simplificar las especificaciones de los amplificadores de potencia asociadas al sistema de antenas, generando una reducción de costos en las etapas de amplificación.

Además, la mayor ganancia de la antena permitirá incrementar la sensibilidad de la estación base, por lo que los móviles podrán transmitir con menor potencia, ahorrando batería. [5]

### 5.2. Reducción de Propagación Multitrayecto

Debido a la menor dispersión angular de la radiación desde el sistema de Antenas Inteligentes, se reducen significativamente los trayectos múltiples de la información que llegaría al equipo móvil. Esto permite simplificar el sistema de equalización del terminal móvil. [5]

Figura 5.2.1.  
Reducción de trayectos múltiples al receptor



### 5.3. Reducción del Nivel de Interferencia

La mejor selectividad espacial de la antena permitirá a la estación base discriminar las señales de usuarios interferentes en favor de la señal del móvil deseado (en el caso del enlace ascendente), y también reducir el nivel de potencia transmitida en las direcciones de esos otros usuarios (en el caso del enlace descendente). [5]

### 5.4. Incremento del Nivel de Seguridad

Gracias a que la transmisión entre la estación y el equipo móvil es direccional, es muy difícil que otro equipo intercepte la comunicación, a menos que esté situado en la misma dirección en que apunta el haz de la antena. También se hace fácil la localización de usuarios que estén haciendo uso fraudulento de los servicios que ofrece la red de comunicación móvil. [5]

### 5.5. Incremento de la zona de cobertura

Dado que la ganancia es mayor que en el caso de antenas omnidireccionales o sectorizadas, para igual potencia transmitida, la señal se podría recibir a una mayor distancia. Este hecho podría permitir reducir el número de estaciones base necesarias para cubrir una zona, siempre y cuando no sea el tráfico el factor limitante. [5]

### 5.6. Aumento de la cobertura

Gracias a la directividad obtenida con un array de antenas con respecto de una antena sectorial, se puede incrementar el radio celular. Por ello, es necesario instalar un menor número de estaciones base por unidad de área, lo que supone un ahorro en los costes asociados al despliegue y mantenimiento de la red. [5]

### 5.7. Mejora de la eficiencia espectral

Gracias a la separación angular de los usuarios dentro de la celda, se pueden reutilizar los canales dentro de la misma celda. Este nuevo esquema de separación de usuarios recibe el nombre de multiplexación por división espacial (SDMA). Con ello, en un sistema TDMA, se podría

reutilizar el mismo slot de tiempo por varios usuarios, mientras que en CDMA la ventaja se obtiene por reutilizar el código de ensanchamiento dentro de la celda. [5]

## 6. ANTENAS INTELIGENTES CON APLICACIÓN A UMTS.

Durante los últimos años, el crecimiento continuado del número de usuarios en los sistemas de comunicaciones móviles ha provocado una necesidad cada vez mayor de incrementar su capacidad. Con la llegada de UMTS (en algunos países) y la implantación de nuevos servicios de tercera generación que requerirán altas tasas binarias, se hace imprescindible pensar en el uso de técnicas que permitan aumentar la capacidad del sistema hasta un nivel tan alto como sea posible.

En este aspecto, se ha planteado como una buena solución el uso de antenas inteligentes en los nodos de la red UMTS. El empleo de esta novedosa tecnología permitirá no sólo aumentar la capacidad, sino también mejorar la calidad de la señal, incrementar el alcance, aumentar el nivel de seguridad e incluso introducir nuevos servicios aprovechando las características particulares de este tipo de antenas.

Sin embargo, la introducción de antenas inteligentes implicará realizar algunos cambios en la planificación y despliegue de la red, sin contar, además, con el aumento de la complejidad tanto de los transceptores como de la gestión de los recursos radioeléctricos y de la movilidad de los usuarios. [5]

Figura 6.1.  
Antena Inteligentes utilizada en UMTS



### 6.1. *Beneficios y Desventajas en UMTS*

Como se ha descrito anteriormente, los beneficios de esta tecnología aplicada a las redes de telefonía de tercera generación como lo es UMTS son muchas. Por ello la descripción se centrará ahora en algunas desventajas propias de la incorporación de las Smart Antenas.

### 6.1.1. *Mayor complejidad de los transceptores*

En comparación con los sistemas radiantes convencionales, los sistemas de antenas inteligentes son mucho más complejos y difíciles de diseñar. Es necesario una cadena de transmisión y recepción independiente para cada elemento del *array*, y todas ellas deben estar balanceadas y calibradas en tiempo real. Además, es imprescindible el uso de potentes procesadores (DSPs, por ejemplo) para ejecutar los algoritmos de optimización, conformación de haz, detección del ángulo de llegada, etc. En definitiva, se llega a la conclusión de que no será posible diseñar independientemente el sistema radiante y la propia estación base.

### 6.1.2. *Mayor complejidad de los procedimientos de gestión*

El hecho de que exista un haz de radiación enfocado hacia cada usuario implica que las funciones de red deben revisarse, en particular, las que afectan a la gestión de recursos radio (RRC) y a la gestión de movilidad (MM). Por ejemplo, algunos procedimientos que pueden verse afectados son los de selección y reelección de celda, establecimiento de conexiones, handover, paging, etc.

### 6.1.3. *Cambios en los métodos de planificación*

La introducción de un sistema de antena inteligente implicará tener muy en cuenta sus características a la hora de realizar la planificación de la red celular. En particular, habrá que contar con el aumento de alcance, la eliminación de fuentes de interferencia, el seguimiento angular de los usuarios, entre otros puntos claves. [5]

## 7. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado, en forma general, una introducción a los sistemas de antenas inteligentes en redes wireless, tema del cual es de esperar un protagonismo creciente en los próximos años, según vaya introduciéndose esta tecnología en los sistemas de telefonía móvil de 2ª y 3ª generación.

A su vez, se han descrito también distintos tipos de implementaciones posibles en sistemas de este tipo, así como una algorítmica general asociada, que constituye la base fundamental sobre la que se sustentan las antenas inteligentes.

En base a la información recopilada se puede concluir que la presencia del tema de las antenas inteligentes ha tomado mucha fuerza; sobre todo en el ambiente universitario en donde se aprecia una progresiva orientación hacia el estudio de la viabilidad y las prestaciones de los distintos algoritmos de conformación de haz en entornos a distintas aplicaciones que resultan posibles al aplicar esta tecnología.

En cuanto a la implementación de los distintos tipos de antenas inteligentes, es decir, de haz conmutado, de seguimiento y adaptativo, resulta claro darse cuenta de que las del primer tipo son más fácilmente desplegables, si bien ofrecen prestaciones inferiores a las que se obtienen con antenas adaptativas. Dada esta cualidad podrían conformar una primera generación de antenas inteligentes para los diversos usos posibles, como por ejemplo, las estaciones base de UMTS.

Finalmente, se debe mencionar que la tecnología de antenas inteligentes se encuentra todavía en una etapa muy temprana de su desarrollo a nivel comercial, por lo que son necesarios aún más esfuerzos que hagan de ella una tecnología deseable e, incluso, imprescindible.

## REFERENCIAS

- [1] Tesis “Filtrado Espacial”, Manuel Belmar, UACH.
- [2] Tesis “WiMAX”, Alex Hidalgo, UACH.
- [3] Antenas inteligentes con aplicación en SDMA, H. Campanella, A. Comas, Y. Alba
- [4] Antenas Inteligentes, Ing. Rafael Albornoz.  
<http://www.lant.ing.uc.edu.ve>
- [5] <http://www.freewebs.com/jojaqui/>