

Jaume Anguera nació en Vinaròs, España en 1972. Recibió el título de Ingeniero Técnico en Sistemas Electrónicos y de Ingeniero Superior en Electrónica ambos por la Universidad Ramon Llull- Barcelona (URL) en 1994 y 1997 respectivamente. Recibió el título de Ingeniero Superior de Telecomunicación y de Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) en el 1998 y 2003 respectivamente. Del año 1998 al 2000 fue becario investigador en el Departamento de Electromagnetismo y Fotónica de la UPC. En otoño del 1999 fue investigador senior en la empresa Sistema Radiantes, Madrid donde estuvo involucrado en el diseño de una antena fractal para estación base. Desde el 1999 es profesor asociado al Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la URL donde imparte la asignatura de Teoría de Antenas y está preparando un libro electrónico para dicha asignatura. Desde el 2000 es Manager de R&D en la empresa de Tecnología Fractus-Barcelona donde lidera proyectos en antenas miniatura y multibanda aplicadas a la telefonía móvil, estaciones base, automoción, entre otros. Del octubre del 2003 a Mayo del 2004 estuvo en Fractus-Corea como Manager de R&D liderando proyectos de diseño de antenas para telefonía móvil. Es autor/coautor de 14 patentes sobre antenas fractales. Es autor/coautor de más de 55 artículos científicos, ponencias nacionales e internacionales y ha dirigido más de 25 trabajos y proyectos fin de carrera. Sus intereses de investigación están enfocados en antenas fractales impresas miniatura, multifrecuencia y de alta directividad y optimización por algoritmos genéticos.

El Dr. Anguera fue miembro del equipo fractal que en el año 1998 recibió el Premio a Las Tecnologías de la Información otorgado por "*European Council for the Applied Science and Engineering and the European Commission*" por la aplicación de las antenas fractales a la telefonía celular. En el 2003 fue finalista a la mejor tesis doctoral en Tecnología UMTS, premio concedido por la empresa Telefónica Móviles España. En el 2004 recibió el premio a la mejor tesis doctoral sobre Servicios y Redes de Banda Ancha, premio otorgado por la empresa ONO y organizado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT). En el 2004 fue nombrado "*New Faces of Engineering*", programa patrocinado por el IEEE y por la fundación IEEE. Ha sido *chairman* en diferentes congresos científicos y estuvo en el comité científico del *27<sup>th</sup> ESA Antenna Technology Workshop*. Es miembro del IEEE y revisor de la Revista electrónica IEEE América Latina. Es profesional colegiado al COIT.

Resumen de la Tesis Doctoral:  
***“Fractal and Broadband Techniques on Miniature,  
Multifrequency, and High-Directivity  
Microstrip Patch Antennas”***

realizada por: Dr.Jaume Anguera

dirigida por: Dr.Carles Puente

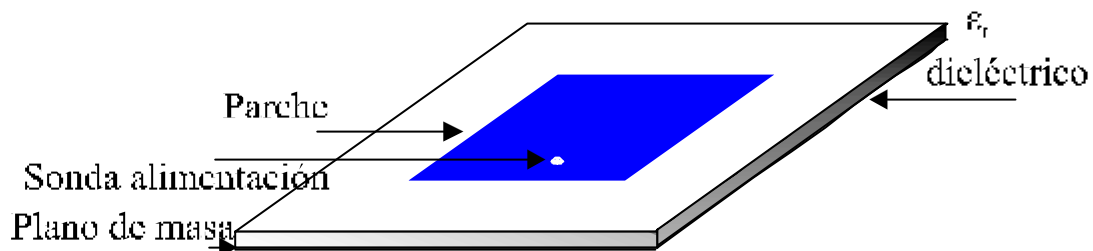
**Acerca de la tesis**

La entrada al nuevo siglo XXI abre las puertas a la nueva revolución de la comunicación inalámbrica. Diversos son ya los sistemas de uso comercial para intercambio de mensajes, voz, datos y, en los más avanzados, imágenes como por ejemplo el GSM900, GSM1800, y el más reciente UMTS; sistemas de ayuda a la navegación como el GPS; y algunos de más recientes como el Bluetooth que pretenden eliminar por completo cualquier comunicación con hilos entre dispositivos.

Para que la revolución tenga éxito se necesita de un elemento indispensable capaz de enviar y recibir las ondas electromagnéticas: la antena. Es precisamente el entorno innovador de la revolución el que exige a la antena nuevas metas. Por un lado, los equipos son cada vez más compactos por lo que la antena deberá presentar dimensiones pequeñas; generalmente más pequeñas que la longitud de onda. Por otro lado, la multitud de servicios que coexisten fuerzan a la antena a operar en diversas bandas, es decir, se le exige a la antena ser multifrecuencia. Además, debido al aumento de las prestaciones de la comunicación, el ancho de banda necesario es cada vez más grande. Por tanto, otra responsabilidad de la antena es el poder aceptar anchos de banda elevados. Finalmente, en ciertas aplicaciones se exige que las estructuras radiantes tengan elevada directividad para concentrar eficientemente la energía y además poco peso y volumen para minimizar impactos estéticos como los causados por las antenas de estación base.

Por los motivos comentados, por un lado, la presente tesis ha investigado técnicas fractales, a parte de otras técnicas, para obtener antenas microstrip miniatura, multifrecuencia y de alta directividad. Por otro lado, se ha combinado técnicas de banda ancha en antenas microstrip para de esta forma obtener antenas miniatura, multifrecuencia y de alta directividad con mayor ancho de banda. La razón de utilizar la geometría fractal es que ésta presenta dos propiedades (auto semejanza y dimensión

fractal) útiles para el diseño de antenas miniatura, multifrecuencia y de alta directividad. El hecho de utilizar tecnología microstrip (Fig. 1) radica en que se obtiene antenas de poco perfil, peso y coste facilitando su integración en la mayoría que equipos de comunicación. Y por último, el interés de obtener mayor ancho de banda en las diferentes técnicas estudiadas permite obtener anchos de banda que satisfagan los que requieren los sistemas de comunicación inalámbrica, especialmente el de UMTS con un ancho de banda del 13% aproximadamente (en un entorno de antenas microstrip, anchos de banda mayores que un 5-6% pueden considerarse de banda ancha ya que un elemento básico tan sólo dispone de un 1-2% aproximadamente).



**Fig. 1 Configuración básica de antena microstrip o antena de parche impreso sobre un sustrato dieléctrico**

La tesis está dividida en seis capítulos:

- Capítulo I: presenta los avances más recientes sobre antenas con geometría fractal. Ilustra además el interés que está suscitando la geometría fractal para el diseño de antenas.
- Capítulo II: investiga técnicas de banda ancha. Es la base para posteriormente poder aplicarlas a las antenas miniatura, multifrecuencia y de alta directividad. De este modo se obtiene antenas miniatura, multifrecuencia y de alta directividad con comportamiento de banda ancha.
- Capítulo III: técnicas miniatura de banda ancha. Particularmente se divide el trabajo en dos grandes bloques: técnicas geométricas y cargas reactivas. Las técnicas presentadas están siendo útiles para el diseño de no sólo antenas pequeñas de picoceldas/microceldas sino también para antenas integradas en teléfonos móviles y antenas de telefonía móvil integradas en vehículos.
- Capítulo IV: técnicas multifrecuencia de banda ancha. Se divide en tres grandes bloques: N-modos, N-antenas y técnicas híbridas. Aunque la llegada del UMTS

supone un gran giro, no hay que olvidar que éste deberá convivir con los ya existentes como por ejemplo GSM900 y GSM1800. Por lo tanto, es de especial interés el poder disponer de antenas multibanda como por ejemplo antenas duales GSM900-UMTS o GSM1800-UMTS.

Mediante el uso de antenas multibanda se reduce el tener que instalar varias antenas con lo que el coste de instalación de antenas se reduce. Por otro lado, el impacto estético se reduce considerablemente.

Es importante resaltar que una de las técnicas estudiadas en este capítulo ha sido utilizada para diseñar una antena de estación base GSM1800-UMTS de doble polarización. Dicha antena fue diseñada en el seno del Departamento de Tecnología de la empresa Fractus-Barcelona ganando un concurso ofrecido por la empresa Telefónica Móviles.

Dada la importancia comercial que presenta el hecho de poder combinar diferentes sistemas, el capítulo analiza como puede controlarse la separación frecuencial entre bandas para de esta forma adaptarse a especificaciones reales como la anteriormente descrita.

- Capítulo V: antenas microstrip de alta directividad. Se investiga antenas microstrip de alta directividad utilizando la geometría fractal y en particular una geometría llamada pajarita de Sierpinski. Concretamente se investiga dos áreas: una, cómo conseguir con un único elemento una elevada directividad; la otra presenta una novedosa aplicación de agrupación de antenas, denominada en esta tesis como agrupación sub-muestreada. La primera tiene el interés de que con un único elemento se está obteniendo la misma directividad que la que se obtendría con una agrupación de varios. La ventaja es que no hay red de alimentación y por tanto se minimizan al máximo las pérdidas así como se reduce también la complejidad mecánica. Esta aplicación tiene interés para antenas de ganancias alrededor de los 11-12dB. La segunda técnica, agrupaciones sub-muestradas, permite obtener la misma directividad que una agrupación clásica pero con menor número de elementos. En particular, se muestra una agrupación bidimensional donde se puede reducir el número de elementos por un factor 2.8. Esta técnica tiene un interés muy especial en antenas de estación base como por ejemplo antenas UMTS monobanda con desapuntamiento de haz donde la reducción de

número de elementos permite la integración de otros componentes de microondas en la misma red de distribución. Esto permite reducir la complejidad mecánica de la red así como el volumen de la antena.

- Capítulo VI: conclusiones. Balance de toda la tesis describiendo las diversas técnicas investigadas y resumiendo los resultados más interesantes.

### **Metodología utilizada**

La metodología seguida a lo largo de la tesis para la investigación de las técnicas presentadas ha consistido básicamente en tres partes.

La primera ha sido la de proponer modelos circuitales sencillos para modelar las estructuras radiantes. Dichos modelos están basados en componentes discretos y líneas de transmisión. El objetivo de los modelos ha permitido el realizar estudios paramétricos de la impedancia de entrada de la antena de una manera muy rápida. Algunas de las antenas estudiadas presentan gran número de parámetros a modificar (dimensiones de elementos radiantes, separación entre ellos, punto de alimentación de antena, entre otros), por lo que el poder disponer de un modelo sencillo ha permitido realizar un estudio paramétrico para de ello derivar reglas metódicas y sistemáticas de diseño.

Una vez se comprende el comportamiento de la impedancia de la antena, se ha procedido a simulación de la antena para obtener todos sus parámetros no sólo impedancia, sino también diagrama de radiación, pureza de polarización, polarización, directividad y eficiencia. El simulador electromagnético realiza una simulación numérica empleando el Método de Momentos. Básicamente, este método necesita invertir una matriz de impedancias proporcional a un número de incógnitas  $N$ . El requisito de memoria es proporcional a  $N^2$  mientras que el tiempo de cálculo lo es a  $N^3$ . Como ejemplo, una de las antenas multifrecuencia investigadas simulada en un ordenador Pentium II 450MHz y 512MB RAM ha necesitado dos horas de simulación por frecuencia. Esto demuestra claramente que un estudio paramétrico utilizando la simulación mediante el método de momentos conllevaría un tiempo excesivo, de ahí la importancia de utilizar modelos sencillos en una primera fase.

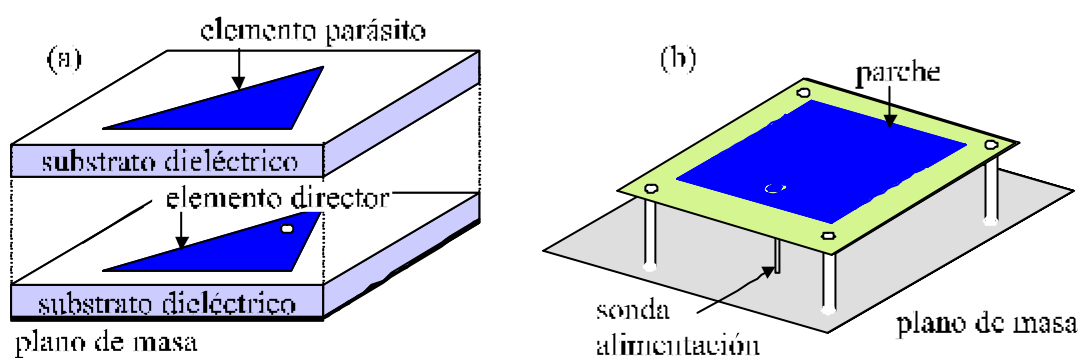
Finalmente, los prototipos numéricos se han implementado físicamente para medir en laboratorio los parámetros radioeléctricos. Por una lado, los parámetros S mediante analizador de redes y por otro los de radiación (diagramas, directividad y ganancia) en cámara anecoica.

A parte de corroborar los resultados numéricos, la fase experimental ha resultado especialmente útil para analizar la complejidad mecánica de las estructuras radiantes propuestas. En el capítulo IV dedicado a antenas multifrecuencia aparece una tabla donde a parte de destacar los parámetros radioeléctricos de las diferentes técnicas utilizadas, se subraya también la complejidad mecánica de cada una de ellas.

### Antenas Microstrip de Banda Ancha

Una de las principales ventajas de las antenas microstrip es el perfil reducido, factor que las hace interesantes para implementar antenas integradas en móviles por ejemplo. Una desventaja de este tipo de antenas es un pobre ancho de banda siendo alrededor de 1-2%. Los sistemas de comunicación inalámbrica necesitan de un ancho de banda mayor siendo el del sistema UMTS el superior, alrededor de un 13%. Las técnicas de banda ancha intentan subsanar ese inconveniente.

Diversas han sido las técnicas que se han utilizado en la tesis para aumentar el ancho de banda en antenas microstrip. Las más importantes han sido: elemento alimentado mediante estructura de parches parásitos y capacitiva (Fig. 2).



**Fig. 2 Técnicas de aumento del ancho de banda: a) estructura con elemento parásito; b) elemento alimentado mediante acoplo capacitivo;**

A pesar de que las técnicas estudiadas son técnicas clásicas, el grado de innovación ha sido el proponer modelos eléctricos para de esta forma elaborar una herramienta de diseño metódica y sistemática. La estructura con elemento parásito presenta varios grados de libertad como dimensiones del parche parásito respecto el elemento excitado, separación entre parches y punto de alimentación. En este sentido, una de las reglas de diseño propuestas permite evitar un trabajo de prueba y error ya sea computacional o experimental. A parte, el modelo eléctrico permite el poder realizar estudios paramétricos de manera muy sencilla y rápida llegando a comprender cómo funcionan este tipo de estructuras.

Las técnicas de banda ancha analizadas han sido posteriormente utilizadas para diseñar antenas microstrip miniatura, multifrecuencia y de alta directividad con anchos de banda más elevados que si no se hubiesen utilizado. Finalmente subrayar que las técnicas investigadas están siendo ya aplicadas para el diseño de antenas de comunicación móvil, particularmente en el diseño de una antena de estación base UMTS con haz ajustable.

### **Antenas Microstrip Miniatura**

Las antenas microstrip miniatura tiene un interés muy especial en equipos de comunicación en donde el espacio sea un factor relevante como por ejemplo un teléfono móvil. Uno de los inconvenientes de la miniaturización de antenas es la pérdida del ancho de banda y de la eficiencia de radiación. El ancho de banda está íntimamente ligado a la capacidad de transmitir más información. La eficiencia de radiación de una antena repercute directamente en el consumo de batería. Por ejemplo, una antena poco eficiente integrada en un teléfono móvil obligaría a éste a transmitir con mayor potencia para establecer una comunicación correcta provocando un mayor consumo de batería. En recepción, una baja eficiencia de radiación de antena repercute en una pérdida de señal.

Desde un punto de vista práctico interesa por tanto:

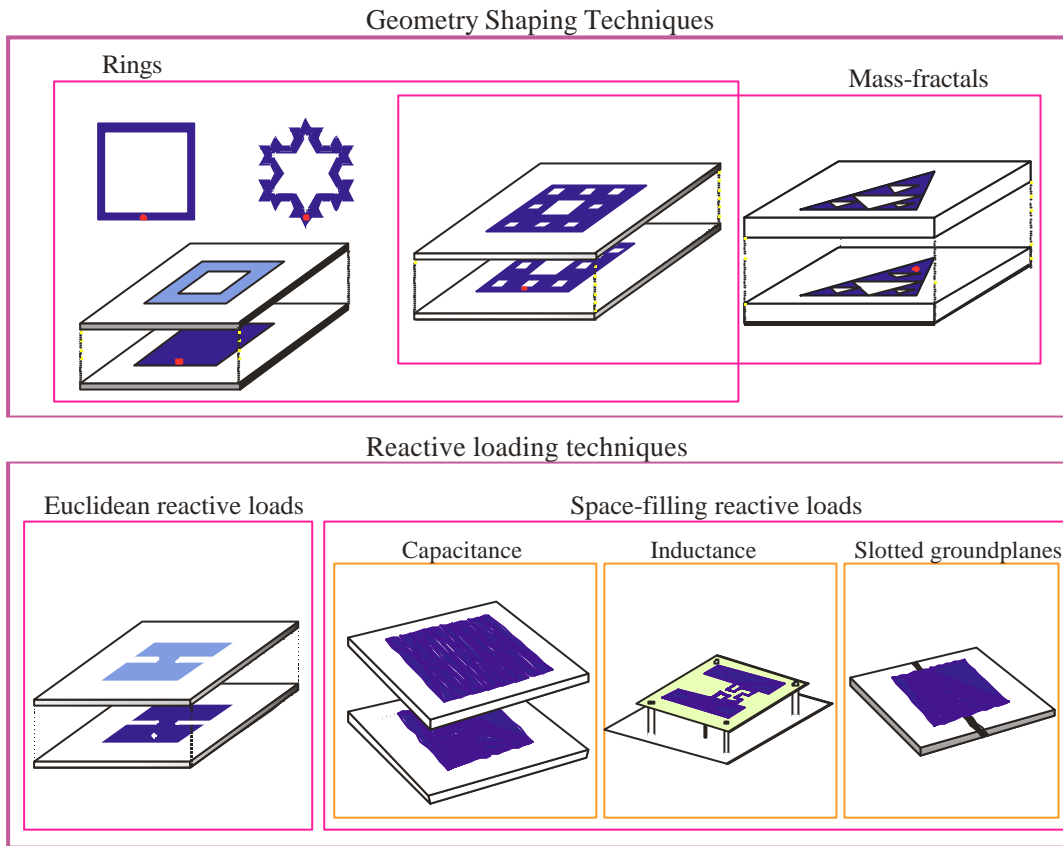
- Disponer de técnicas que permitan diseñar antenas con un ancho de banda suficiente para satisfacer los requisitos de los sistemas de comunicación inalámbrica

- Antenas que presenten dimensiones reducidas para poderlas integrar en equipos en donde el volumen y peso se minimicen al máximo facilitando la portabilidad del equipo. Este requisito es vital para los teléfonos móviles.
- Antenas que a pesar de ser miniatura presenten eficiencias elevadas para evitar un consumo innecesario de potencia. En teléfonos móviles esto implica alargar la autonomía de la batería.

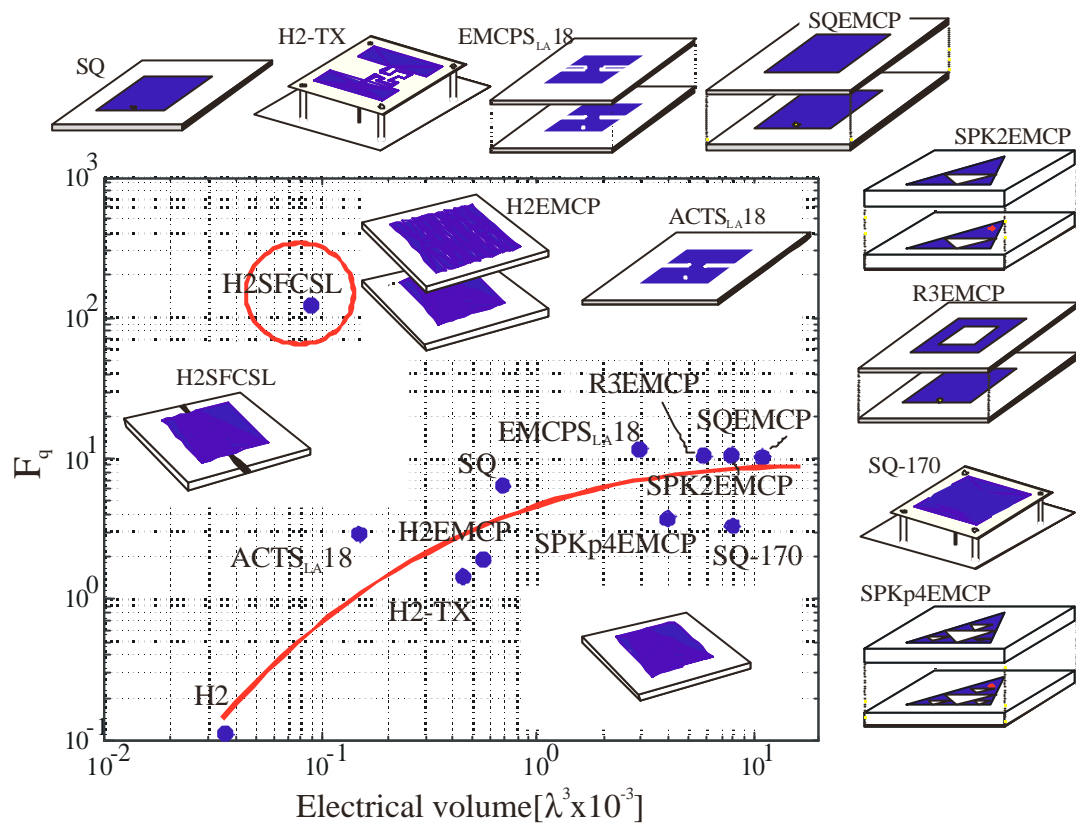
La Fig. 3 muestra la clasificación de las técnicas de miniaturización de banda ancha que se han investigado. Se ha propuesto una clasificación dividida en dos grandes grupos: por un lado la denominada de manipulación geométrica que consiste en perturbar la geometría de la antena parche para forzar caminos eléctricamente mayores y por tanto una disminución de la frecuencia de resonancia; por otro lado, las técnicas de cargas reactivas que consiste en cargar a la antena con elementos reactivos distribuidos con el mismo objetivo anterior.

La Fig. 4 muestra un resumen de los resultados mediante un número de mérito. Dicho número de mérito ( $F_q$ ) es el resultado de multiplicar el ancho de banda de la antena por su ganancia y dividirlo por el volumen eléctrico que ocupa. Si el número de mérito es elevado indica que la antena presenta un producto ancho de banda-ganancia elevado para un volumen reducido. De esta forma se pueden comparar diversas técnicas y concluir si existe alguna de más ventajosa que otras.





**Fig. 3** Técnicas de miniaturización de banda ancha aplicadas en antenas microstrip



**Fig. 4** Número de mérito  $F_q$  que indica el producto de ancho de banda por ganancia de antena dividido por el volumen eléctrico que ocupa

De la Fig. 3 se puede observar que:

- A medida que el volumen eléctrico disminuye, menor es el número de mérito. Esto es precisamente el precio que se paga al miniaturizar una antena: pérdida de ancho de banda y de ganancia de antena.
- Todas las técnicas se pueden aproximar a una curva a excepción de una técnica (H2SFCL)

La técnica que destaca en la Fig. 4 (H2SFCL) indica que es posible obtener una antena de pequeñas dimensiones sin sacrificar ancho de banda y ganancia tal y como ocurre en las demás. Dicha técnica utiliza una aplicación novedosa de esta tesis que consiste en añadir inteligencia en el plano de masa. Esta técnica se ha utilizado en el diseño de antenas de telefonía móvil GSM900, GSM1800 y UMTS (en particular para la empresa Vitelcom que proporciona teléfonos móviles a Telefónica) y también en antenas integradas en vehículos.

Esta última aplicación está ya desarrollándose comercialmente por la empresa AAA (Advanced Antennas for Automotion), empresa *joint-venture* entre Fractus y Ficosa (empresa española del sector de automoción).

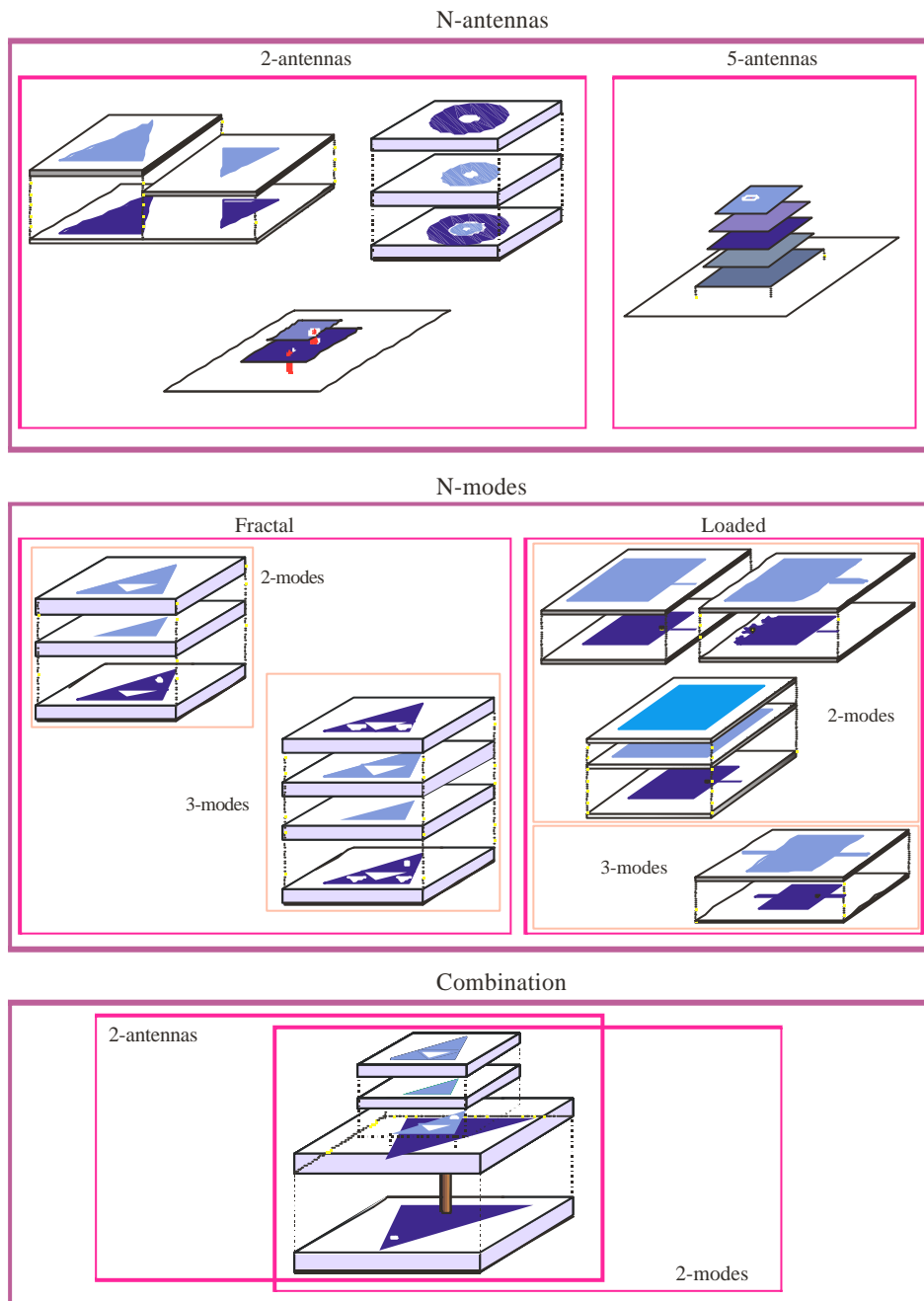
### **Antenas Microstrip Multifrecuencia**

El rápido aumento de los sistemas de telefonía móvil (GSM900, GSM1800, AMPS, UMTS) abre una nueva oportunidad para un nuevo tipo de antenas: antenas que tengan que operar en varios de ellos y con el ancho de banda suficiente, es decir, antenas multifrecuencia de banda ancha. Esta ha sido otra de las áreas investigadas en la tesis, el diseño de antenas microstrip multifrecuencia y con anchos de banda suficientes para satisfacer las necesidades de los sistemas de comunicación móvil. Dichos anchos de banda abarcan desde un 3.7% como el del Bluetooth™ hasta un 12.2% como el del UMTS. Por tanto, debido a que varios sistemas pueden coexistir simultáneamente, es necesario disponer de elementos radiantes que satisfagan dichas necesidades.

En la tesis se ha enfocado el estudio de antenas operando en varias bandas, con anchos de banda (5%-15%), con diferentes separaciones entre bandas, con polarización lineal y con diagrama *broadside* (máximo de ganancia en la dirección perpendicular al plano de la antena microstrip). La Fig. 5 clasifica las técnicas que se han propuesto en el desarrollo de la tesis.

La clasificación propuesta consta de:

- N-antenas: se consigue tantas bandas de operación como elementos dispone la antena. Cada elemento es el responsable de la radiación en una banda. Se utilizan elementos parásitos para aumentar el ancho de banda en cada una de las bandas.
- N-modos: el comportamiento multifrecuencial (diagramas de radiación iguales) se consigue gracias a un elemento radiante que presenta varios modos (frecuencias de resonancia) con características de radiación muy similares. Los elementos adicionales son elementos parásitos que permiten aumentar el ancho de banda para cada una de las bandas consiguiendo de esta forma antenas multifrecuencia de banda ancha como en el caso anterior. Para conseguir un elemento radiante con varios modos radiantes similares, se ha utilizado la tecnología fractal y de las cargas distribuidas en la antena parche.
- Combinación: consiste en combinar las técnicas anteriores.



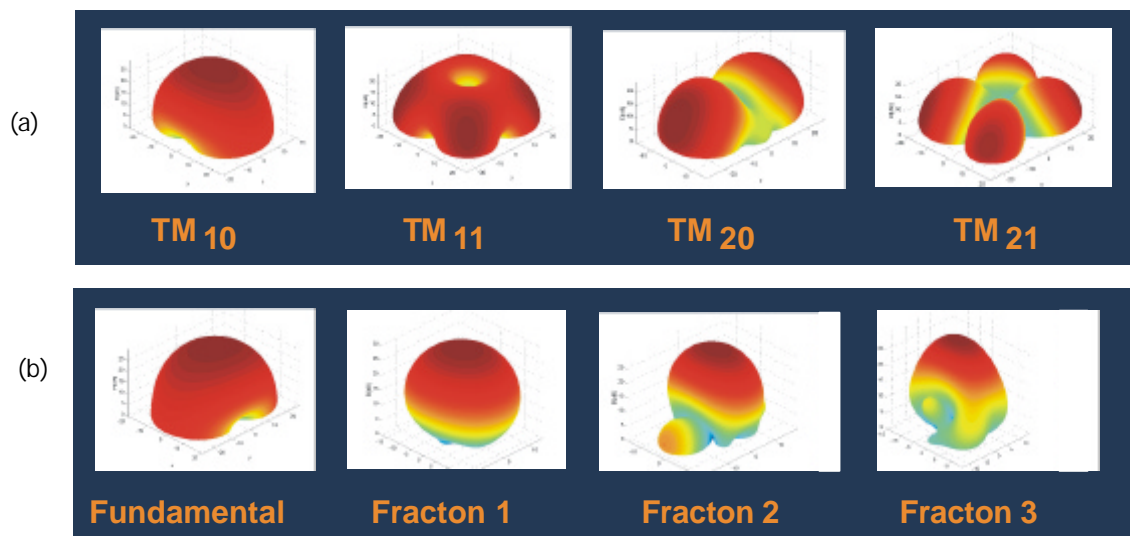
**Fig. 5 Clasificación propuesta para diversas técnicas de antenas microstrip multifrecuencia de banda ancha**

Algunas de las técnicas aquí expuestas están utilizándose para el desarrollo de agrupaciones de antenas de doble polarización como son las antenas duales GSM900-UMTS, GSM1800-UMTS y tribanda GSM900-GSM1800-UMTS.

De las técnicas investigadas existen algunas más adiantadas para separaciones entre bandas muy cercanas, como puede ser GSM1800 y UMTS; otras para mayores separaciones como GSM900-UMTS. La capacidad de controlar el número de bandas, cómo ajustar su separación, qué anchos de banda, aislamiento entre bandas, número de conectores y complejidad mecánica de las diferentes técnicas se han estudiado y resumido en la tesis de manera gráfica donde muy sencillamente pueden compararse y ver el potencial de las diferentes técnicas.

### Antenas Microstrip de Alta Directividad

Una antena microstrip operando en su modo fundamental presenta un diagrama de radiación *broadside* y con una directividad típica de unos 9dB. Si aumentamos la frecuencia de trabajo por encima de la del modo fundamental, el diagrama de radiación empieza a distorsionarse debido a la aparición de lóbulos secundarios (Fig. 6a). Sin embargo, se ha demostrado que en antenas microstrip con geometría fractal se obtienen diagramas *broadside* no sólo en el modo fundamental sino en frecuencias superiores (Fig. 6b).



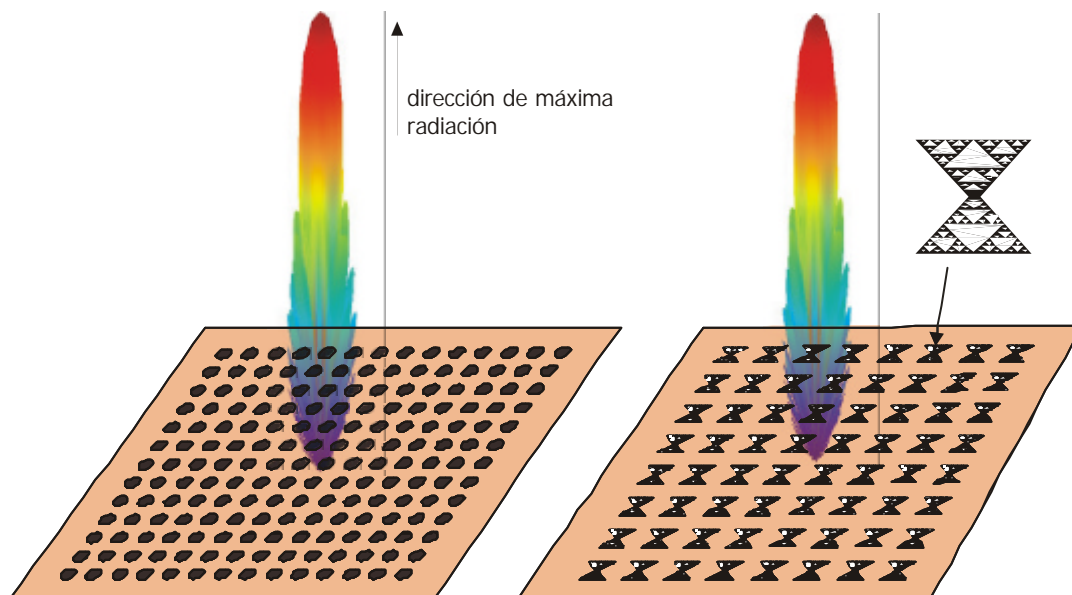
**Fig. 6 Diagramas de radiación para un parche cuadrado (a) y para un parche inspirado en el fractal pajarita de Sierpinski (b) en función de las diversas frecuencias de resonancia**

En la Fig. 6 se observa como para un parche cuadrado únicamente es *broadside* en el primer modo mientras que para la antena inspirada en el fractal de Sierpinski presenta diversos modos (modos fractones y fractinos) con característica *broadside* y con una

directividad creciente a medida que aumenta el orden del modo. Esta característica es especialmente importante ya que permite el diseño de:

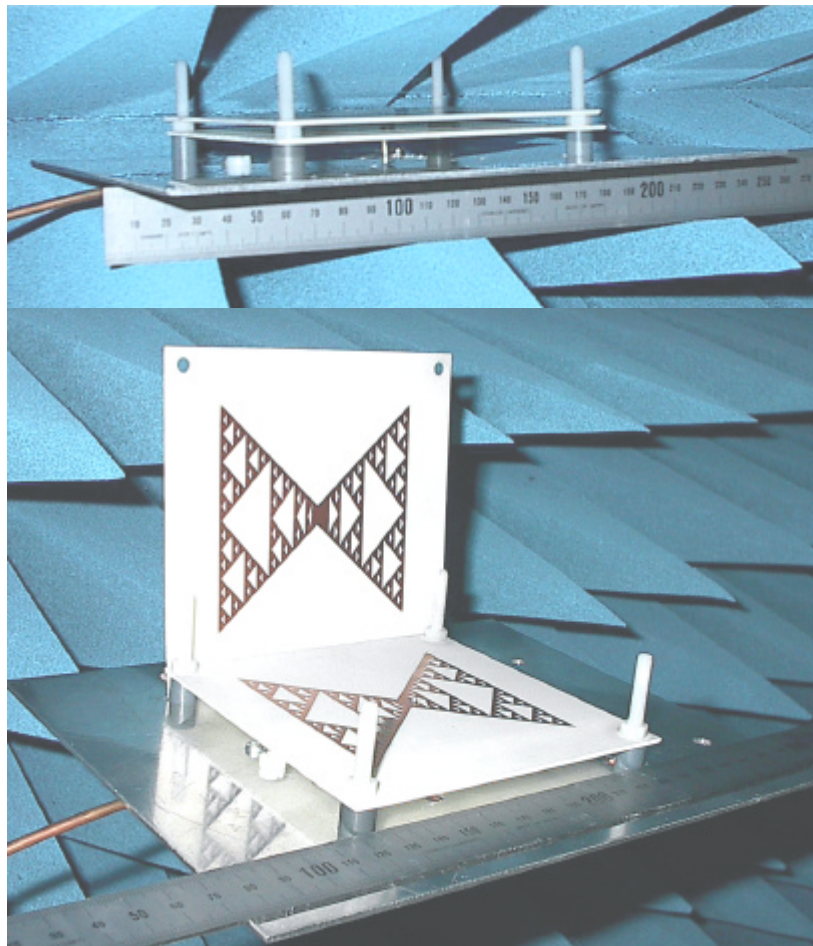
- una antena direccional sin la necesidad de agrupar varias antenas. Gracias a esto se elimina la red de alimentación y por tanto la complejidad mecánica de la antena y las pérdidas que introduce la red
- agrupaciones de antenas con menos elementos (agrupaciones sub-muestreadas). Gracias a esta técnica se reduce drásticamente la complejidad en la red de alimentación dejando más espacio para otros componentes de microondas como pueden ser los desfasadores en caso de que la antena tenga desapuntamiento de haz

La Fig. 7 muestra un ejemplo de agrupación bidimensional clásica utilizando antenas microstrip convencionales como son las circulares; la misma figura muestra la técnica de agrupación sub-muestreada. Dada una misma área, ambas agrupaciones consiguen la misma directividad, sin embargo, la sub-muestreada necesita un menor número de elementos, 2.8 veces para el ejemplo presentado con lo que se reduce drásticamente la complejidad de la red de excitación.



**Fig. 7 Agrupación bidimensional de antenas microstrip circulares y utilizando elementos inspirados en el fractal de Sierpinski (agrupación sub-muestreada)**

Como ya se ha mencionado anteriormente, esta aplicación tiene interés en agrupaciones de antenas monobanda UMTS para estación base ya que permite reducir la complejidad de la antena y obtener antenas de perfiles más reducidos con lo que se espera que el impacto estético sea menor. Por otra parte, en aquellas antenas en donde se desee desapuntamiento de haz, se necesitan desfasadores que permitan introducir el desfase requerido. Para una agrupación convencional esto implica añadir más componentes (desfasadores y mecanismos mecánicos) juntamente con la ya complicada red de distribución. En la técnica sub-muestreada, ya que la red de distribución es más sencilla, cabe la posibilidad de integrar dichos componentes en la misma red disminuyendo drásticamente la complejidad mecánica y el volumen de la antena.



**Fig. 8 Prototipo de antenas microstrip de alta directividad y ancho de banda**

Con el objetivo de obtener elementos directivos y con el ancho de banda suficiente para los sistemas de comunicación móvil, siendo el UMTS el más restrictivo debido a su mayor ancho de banda, se ha investigado la mejora del ancho de banda mediante la técnicas de elementos parásitos y acoplados capacitivamente. La Fig. 8 muestra un prototipo de antena directiva en la que se busca alta eficiencia de antena y ancho de banda, en particular, la antena presenta una ganancia de 11.8dB (para un parche convencional se llega a los 9dB) y ancho de banda del 9.7%.

### **Otros aspectos de interés de la investigación realizada**

Debido al interés científico que despierta el trabajo realizado en la tesis desarrollada, se ha seguido una política de divulgación científica en las siguientes revistas internacionales: *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *IEEE Wireless and Microwave Component Letters*, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* y *Microwave and Optical Technology Letters*. Además se han realizado diversas ponencias en congresos internacionales como los organizados por el IEEE, por la Agencia Espacial Europea y Nacionales (congresos URSI).

Por otra parte, dado el interés comercial de las técnicas investigadas a lo largo de la tesis, se ha protegido diversas configuraciones de las aquí estudiadas mediante patentes a nivel mundial.

### **Una innovación llevada a la práctica**

A menudo nos preguntamos cuándo nos podremos beneficiar de los avances científicos derivados de una tesis doctoral. La respuesta es que ya podemos empezar a vislumbrarlos ya que en el año 1999 se fundaba en Barcelona la empresa de tecnología Fractus para precisamente potenciar las antenas con geometría fractal. Algunos de los ejemplos los tenemos en antenas duales GSM1800-UMTS tanto para microcelda como para estación base así como antenas UMTS con haz ajustable donde se han empleado algunas de las técnicas investigadas en la presente tesis. Por otro lado, los avances de este tesis también han sido útiles para el diseño de antenas multifrecuencia y miniatura para teléfonos móviles.



**Jaume Anguera Pros (29<sup>th</sup> March 1972)**

**COIT: N°ASOCIADO: 15.043 N° COLEGIADO: 12.361**

---

## ● **PhD THESIS**

- [Fractal and Broad-Band techniques on Miniature, Multifrequency, and High-Directivity Microstrip Patch Antennas](#). Departamento de Ingeniería Electromagnética y Fotónica de la Escuela Superior de Ingenieros de Telecomunicación de Barcelona (Universidad Politècnica de Catalunya)
  - Defended July 24<sup>th</sup> 2003 : excellent cum laude
  - Jury: Prof. J.R.Mosig (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne), Prof. M. Sorolla (Universidad Pública de Navarra), Prof. R.Gómez (Universidad de Granada), Prof.R.Pous (Universitat Politècnica de Catalunya), and Prof. J.M.Rius (Universitat Politècnica de Catalunya)
  - Director Dr.C.Puente. Fractus, Barcelona Spain
- 

## **PUBLICATIONS**

### **Journal Publications**

- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, “[A Procedure to Design Stacked Microstrip Patch Antenna Based on a Simple Network Model](#)”. Microwave and Optical Technology Letters, vol.30 n°3 pp.149-151 August 2001.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Raquel Montero, Jordi Soler, “[Small and High Directivity Bowtie Patch Antenna based on the Sierpinski Fractal](#)”, Microwave and Optical Technology Letters, vol.31, n°3, pp.239-241, Nov 2001.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Gisela Font, Jordi Soler “[A systematic method to design single-patch broadband microstrip patch antennas](#)” , Microwave and Optical Technology Letters, vol.31, n°3, pp.185-188, Nov 2001.
- Carles Puente, Jaume Anguera, Carmen Borja, Jordi Soler” [Fractal-Shaped Antennas and their Application to GSM 900/1800](#)” The Journal of the Institution of British Telecommunications Engineers. Vol.2, Part 3, July-Set. 2001.
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Extended multiperiodic traveling wave model for the accurate analysis of the radiation performance of the Sierpinski fractal-like multiband antenna](#)”. Microwave and Optical Technology Letters, vol.36, n°1, pp.67-70, Jan. 2003.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Enrique Martínez, Edouard Rozan, “[The fractal Hilbert monopole: A two-dimensional wire](#)”. Microwave and Optical Technology Letters, vol.36, n°2, pp.102-104, Jan. 2003.

- Jaume Anguera, Gemma Montesinos, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[An Under-Sampled High Directivity Microstrip Patch Array with a Reduced Number of Radiating elements Inspired on the Sierpinski Fractal](#)”, Microwave and Optical Technology Letters, vol.37, n°2, pp.100-103, April 2003.
- David Gala, Jordi Soler, Carles Puente, Carmen Borja, and Jaume Anguera, “[Miniature Microstrip Patch Antenna Loaded With a Space-Filling Line Based on the Fractal Hilbert Curve](#)”. Microwave and Optical Technology Letters, vol.38, n°4, pp.311-312, Aug. 2003.
- Jaume Anguera, Gisela Font, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[Multifrequency Microstrip Patch Antenna using Multiple Stacked Elements](#)”, IEEE Microwave and Wireless Component Letters, vol.13, n°3, March 2003.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Nicolás Delbene, Jordi Soler, “[Dual frequency broadband stacked microstrip patch antenna](#)”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters vol.2, pp. 36-39, 2003
- Jaume Anguera, Enrique Martínez, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[BroadBand Dual-Frequency Microstrip Patch Antenna With Modified Sierpinski Fractal Geometry](#)”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 52, n°1, pp.66-73, Jan. 2004
- Jaume Anguera, Lluís Boada, Carles Puente, Carmen Borja, and Jordi Soler, “[Miniature H-Shaped Microstrip Patch Antenna](#)”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation (accepted paper, in press, May 2004)
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Novel Combined Mod-P Multiband Antenna Structures Inspired on Fractal Geometries](#)”, Accepted paper in Microwave and Optical Technology Letters.
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Advances in Loading Techniques to Design Multifrequency Monopole Antennas](#)”, Accepted paper in Microwave and Optical Technology Letters.

## **International Conference Papers**

- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, “[A Procedure to Design Wide-Band Electromagnetically-Coupled Stacked Microstrip Antennas Based on a Simple Network Model](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , vol. II, pp.944-947, Orlando, USA July 1999.
- Carmen Borja, Carles Puente, Jordi Romeu, Jaume Anguera, “[Fractal Multiband Patch Antenna](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Davos 2000.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Jordi Romeu, Carmen Borja, Gisela Font, “[An Optimum Method to Design Probe-Fed Single-Layer Single-Patch Wideband Microstrip Antenna](#)”. AP2000 Millenium Conference on Antennas and Propagation Symposium, Davos, Switzerland April 2000.
- Carles Puente, Jaume Anguera, Jordi Romeu, Carmen Borja, Mònica Navarro, Jordi Soler, “[Fractal-Shaped Antennas and their applications to GSM 900 /1800](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Davos, Switzerland April 2000.

- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Romeu, “[Miniature WideBand Stacked Microstrip Patch Antenna based on the Sierpinski Fractal Geometry](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Salt Lake City, USA July 2000.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Raquel Montero, “[Bowtie Microstrip Patch Antenna based on the Sierpinski Fractal](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Boston, USA July 2001.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Jordi Soler, “[Miniature Monopole Antenna based on the Fractal Hilbert Curve](#) “. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , San Antonio, USA June 2002.
- Gemma Montesinos, Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, “[The Sierpinski fractal bowtie patch: a multifractal-mode antenna](#) “. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , San Antonio, USA June 2002.
- Jordi Soler, C.Puente and Jaume Anguera, “[Challenges in the Numerical Analysis of Fractal-Shaped Antennas](#) “.IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , San Antonio, USA June 2002.
- Jaume Anguera, Gemma Montesinos, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[High-Directivity Microstrip Array using High-Directivity Fractal-Based Elements](#)”. 25th *European Space Agency (ESA)* Antenna Workshop on Satellite Antenna Technology. 18-20 September 2002 ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Multifrequency Properties of Monopole Antennas Using Multilevel GroundPlanes Inspired on the Sierpinski Fractal Shape](#) ". IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Novel Combined Mod-P Structures: a Complete Set of Multiband Antennas Inspired on Fractal Geometries](#)". IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
- Jaume Anguera, Gisela Font, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[Multiple Parasitic Microstrip Antenna For Multifrequency Behaviour](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Solutions To Tailor the Radiation Patterns of 2D and 3D Multiband Antennas Based on the Sierpinski Fractal](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Results on a New Extended Analytic Model To Understand The Radiation Performance of Mod-P Sierpinski Fractal Multiband Antennas](#)". IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
- Jaume Anguera, Gemma Montesinos, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[A Microstrip Array Operating in a Fracton Mode](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[Characterization of Fractal and Space-filling monopole Antennas using the Box-counting dimension](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.

- Carmen Borja, Albert Algans, Marc Royo, Jaume Anguera, Carles Puente, “[Impact of the Antenna Technology and the Antenna Parameters on the Performance of MIMO Systems](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003.
- Jaume Anguera, Gemma Montesinos, Carles Puente, Carmen Borja, and Jordi Soler, “[Fracton-Mode Arrays using Microstrip Fractal Sierpinski Based Radiators](#)”, [Antenna Systems 2003](#), Denver, Colorado, Oct. 2003.
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Novel Combined Mod-P Multiband Antenna Elements inspired on fractal Geometries](#)”, [27th ESA](#) Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas, Santiago de Compostela, Spain from 9-11 March 2004
- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[Scanning properties in an under-sampled microstrip array using Sierpinski fractal-inspired elements](#)”, [27th ESA](#) Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas, Santiago de Compostela, Spain from 9-11 March 2004
- Jaume Anguera, Enrique Martínez, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[Dual-Band BroadBand Microstrip Antenna Inspired in the Sierpinski Fractal](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Monterey, USA June 2004 (accepted).
- Jaume Anguera, Sergio Prieto, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[Scanning properties in fracton-mode microstrip arrays using elements inspired on the Sierpinski fractal](#)”. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Monterey, USA June 2004 (accepted).

### National Conference Papers

- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, “[Diseño de antenas microstrip de banda ancha mediante parches parásitos](#)”. Proceedings of the XIII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '98. Pamplona, Spain, 16-18 Set.1998.
- Jaume Anguera, Jordi Soler, “[Array de antenas microstrip con geometría de anillo y barrido electrónico del haz](#)”. Proceedings of the XIII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '98. Pamplona, Spain, 16-18 Set.1998.
- Carmen Borja, Carles Puente, Jaume Anguera, Rafael Pous, Jordi Romeu, “[Estudio experimental de la antena de Sierpinski](#)”. Proceedings of the XIV National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '99. Santiago de Compostela, Spain, Set. 1999.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Gisela Font, Carmen Borja, Jordi Romeu, “[Diseño de antenas impresas de banda ancha alimentadas mediante acoplo capacitivo](#)”. Proceedings of the XV National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '00. Zaragoza, Spain, Set. 2000.
- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Romeu, Marc Aznar, “[Antenas microstrip apiladas con geometría de anillo](#)”. Proceedings of the XV National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '00. Zaragoza, Spain, Set. 2000.

- Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Raquel Montero, “[Antena Microstrip Miniatura y de Alta Directividad basada en el fractal de Sierpinski](#).” Proceedings of the XVI National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '01. Madrid, Spain, Set. 2001.
- Jaume Anguera, Gemma Montesinos, Carles Puente, Carmen Borja, Jordi Soler, “[Modos multifracción en la antena microstrip bowtie fractal de Sierpinski](#)”. Proceedings of the XVII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '02. Alcalá de Henares, Spain, Set. 2002.
- Jordi Soler, Carles Puente, Jaume Anguera, “[Extensión del modelo multiperíodico para el análisis de las características de radiación de la antena multinivel multibanda basada en el fractal de Sierpinski](#)”. Proceedings of the XVII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '02. Alcalá de Henares, Spain, Set. 2002.
- Jaume Anguera, Enrique Martínez, Carles Puente, Jordi Soler, “[El monopolio de Hilbert: un curva fractal de dos dimensiones](#)”. Proceedings of the XVII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '02. Alcalá de Henares, Spain, Set. 2002.
- Jaume Anguera, Gisela Font, Carles Puente, Carmen Borja, and Jordi Soler, “[Comportamiento multifrecuencia en una antena microstrip mediante múltiples elementos parásitos](#)” . Proceedings of the XVIII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '03. A Couaña, Spain, Set. 2003.
- Jaume Anguera, Gemma Montesinos, Carles Puente, Carmen Borja, and Jordi Soler, “[Agrupación submuestreada operando en modo fractón utilizando antenas microstrip inspiradas en el fractal de Sierpinski](#)” . Proceedings of the XVIII National Symposium of the Scientific International Union of Radio. URSI '03. A Coruña, Spain, Set. 2003.

### Other Papers

- Carles Puente, Jordi Romeu, Mónica Navarro, Carmen Borja, Jaume Anguera, Germán Gómez, Francisco Moyano, “[Antenas fractales duales para GSM/DCS](#)”. Mundo Electrónico, nº 298, Mayo 1999.
- Jaume Anguera, “[Simulación electromagnética mediante el método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo](#) “. Revista INPUT nº23 Ingeniería La Salle, Universitat Ramon Llull, Dec. 2001.

---

### Otras informaciones de mérito

---

#### CHAIRMAN

Invited to act as a chairman in the following conferences:

- “[Fractal Antennas and Space Filling](#)”, in IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003
  - “[Rough Surfaces and Random Media](#)”, in IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003
  - “ [Dual and Triple-Band Microstrip Antennas](#)”, in IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium , Columbus, USA June 2003
- 

## SCIENTIFIC COMITEE

- [27th ESA Antenna Technology Workshop on Innovative Periodic Antennas: Electromagnetic Bandgap, Left-handed Material, Fractal and Frequency Selective Surfaces](#) workshop organized by the European Space Agency together with Public University of Navarra (Spain). March 2004  
Santiago de Compostela, Spain [<http://www.estec.esa.nl/conferences/04c05/>]
- 

## PATENTS

- C.Puente, M.Navarro, C.Borja, J.Anguera, “ [Multi-Triangular Antennas for cellular telephony GSM and DCS](#)”, patent app.WO9957784
- C.Puente, C.Borja, J.Anguera, J.Soler, “[Multilevel Antennas](#)”, patent app. WO0122528
- C.Puente, E.Rozan, J.Anguera, “[Space Filling Miniature Antennas](#)”, patent app. WO0154225
- J.Anguera, C.Puente, C.Borja, “[Miniature BroadBand Ring-Like Microstrip Patch Antenna](#)”, patent app. n° PCT/EP01/01287
- C.Borja, C.Puente, J.Anguera, “[Dual-Band Dual-Polarized Antenna Array](#)” patent app. N° PCT/EP01/04288
- J.Anguera, C.Puente, “[Multifrequency Microstrip Patch Antennas with Parasitic Coupled Elements](#)”, patent app. N° PCT/EP01/11913
- J.Anguera, C.Puente, C.Borja, “[Undersampled Microstrip Array Using Multilevel and Space-Filling Shaped Elements](#)”, patent app. N° PCT/EP02/07835
- C.Puente, J.Soler, C.Borja, J.Anguera, “[Integrated circuit package including miniature antenna](#)”, patent app. N° PCT/EP02/12427
- J. Anguera, T.Condes, J.Soler, C.Puente, “[Coupled multiband antennas](#)” , patent app. N° PCT/EP02/11355
- C.Puente, J.Soler, J.Ortigosa, J.Anguera, “[Miniature Antenna Having a Volumetric Structure](#)”, PCT/EP03/01695

- J. Anguera, C.Puente, C.Borja ‘[Broadside High-Directivity Microstrip Patch Antennas](#)’, patent app. N°PCT/EP03/00757
  - C.Puente, E.Rozan, J.Anguera, E.Martínez, ‘[Antena System for a Motor Vehicle](#)’, patent app. N°PCT/EP00/10562
  - J.Anguera, C.Puente, ‘[External antenna for handset phones](#)’, patent pending
  - J.Anguera, C.Puente, ‘[Handset with Electromagnetic Bra](#)’, patent pending
- 

## TAKEN COURSES

- ‘[Visual Basic 4.0](#)’. 40 hours course at Universitat Ramon Llull, Barcelona, Spain 1997
  - ‘[Practical Consideration in the Design of Antennas for Wireless Communications](#)’, Full-day short course offered in the frame of the IEEE Antennas and Propagation International Symposium. Orlando, USA, July 1999.
  - ‘[Microstrip and Printed Antennas: Basic Principles, Numerical Models, Design and Applications](#)’. Full-day short course offered in the frame of the Seventh Symposium on Recent Advances in Microwave Technology (ISRAMT’99). Málaga, Spain, December 1999.
  - ‘[Theory And Applications of PBG Structures Used as Artificial Magnetic Conductors and Soft and Hard Surfaces](#)’, Half-day course offered in the frame of the IEEE Antennas and Propagation International Symposium. San Antonio, USA, June 2002.
  - ‘[Nuevas Técnicas de Medida de RF & MW y Comunicaciones](#)’, Half-day short course offered by Agilent Technologies, Barcelona, May 2003.
  - ‘[Smart Antennas](#)’, Half-day course offered in the frame of the Asian-Pacific Microwave Conference, Seoul, Korea, November 2003.
- 

## MEMBERSHIP

Member of the Antennas and Propagation Society of the IEEE

Member of the Education Society of the IEEE

---

## REVIEWER

- IEEE Latin America Electrical Engineering Reviewer
-

## □ACADEMICAL ACTIVITIES

- “[Presentación de un proyecto fin de carrera](#)”. Conference at Col·legi Major Universitari La Salle Barcelona, Spain. 1998
- “[Fractal-shaped Antennas: Antennas for the New Millennium](#)”. Conference at Col·legi Major Universitari La Salle Barcelona, Spain. 2000