

# Algoritmos Genéticos Aplicados a la Ingeniería de Antenas

Jeevani Jayasinghe, Jaume Anguera

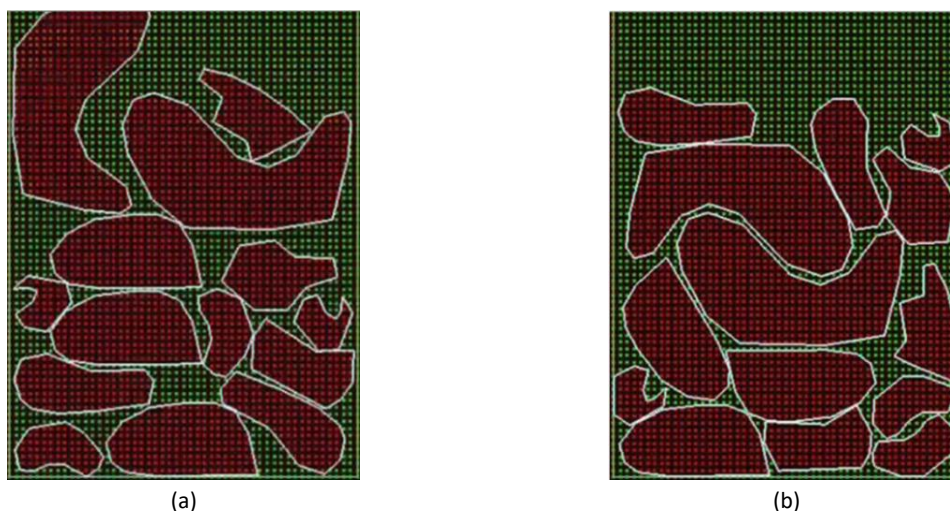
**Resumen**—Un Algoritmo Genético (GA) de optimización es un método de búsqueda utilizado en varios campos para encontrar computacionalmente una solución a un problema especialmente, cuando hay muy gran número de candidatos. Es un proceso inspirado en la naturaleza que utiliza operaciones de cruzamiento y mutación de especies. La optimización con GA abre la ventana a un diseño totalmente automático con el fin de encontrar el diseño optimizado. El presente artículo muestra la utilización de GA en el campo de la ingeniería de antenas.

**Palabras clave:** Telecomunicación, antenas, algoritmos genéticos, optimización

## I. INTRODUCCIÓN

EN muchos problemas, el número de candidatos (posibles soluciones) puede ser extremadamente elevado. Para encontrar la solución, todos los candidatos deben ser evaluados para hallar la mejor solución. Este enfoque es factible, si hay un número moderado de candidatos. Sin embargo, en muchos problemas prácticos, hay millones de candidatos. Entre ellos, puede haber varias soluciones buenas. Cuando existen numerosos candidatos en el espacio de la solución, no es práctico comprobar todos ellos con el fin de encontrar la mejor solución, ya que el tiempo sería en muchos casos extraordinariamente grande, por ejemplo miles de millones de años. En tales situaciones, un algoritmo genético (GA) se puede utilizar para encontrar la solución optimizada en cuestión de horas [1]-[13].

Un ejemplo simple de optimización GA se ilustra en la Fig. 1 [14]. El objetivo es colocar algunos bloques no convexos con el fin de minimizar el espacio utilizado por ellos. La Fig. 1a muestra una posible solución para encajar los bloques donde hay excesivos espacios huecos. Con la ayuda de GA, las posiciones y los ángulos de los bloques están optimizados con el objetivo de ocupar menos área. Como resultado, la solución optimizada utiliza sólo alrededor del 80% de la superficie total (Fig1b).

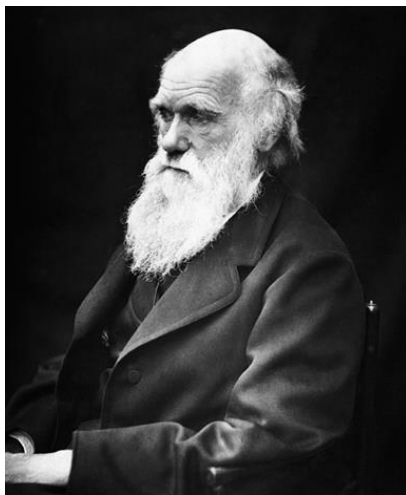


**Fig. 1** Proceso de optimización con GA donde cada pieza puede cambiarse de posición y puede rotarse con el objetivo de rellenar el menor espacio posible [1]. (a) Un ejemplo de candidato (b) Solución optimizada

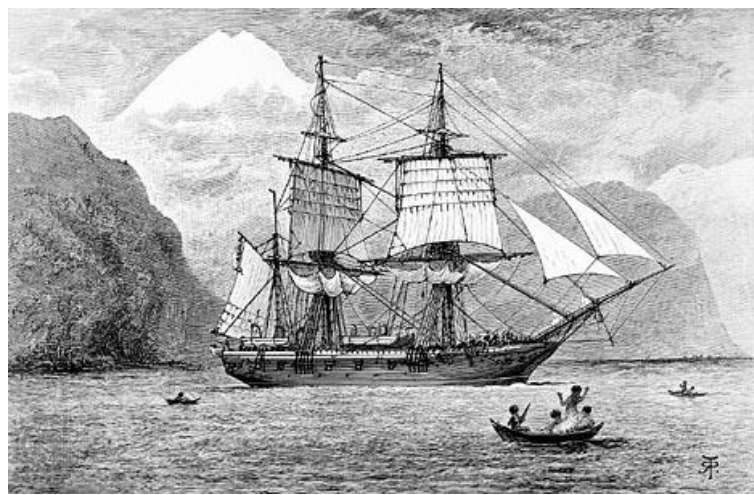
GA es una técnica de optimización que se utiliza en muchos campos de la ciencia y la ingeniería. Es un proceso inspirado en la naturaleza, que utiliza operaciones de cruzamiento y mutación de especies tal y como ocurre en las especies animales. Utilizando GA, un proceso puede ser totalmente automatizado para encontrar la mejor solución para un problema práctico. Por lo tanto, hoy en día GA es ampliamente utilizado por los investigadores en diversos campos como la ingeniería de antenas. En este trabajo se describe la evolución del GA, el proceso de optimización, algunas aplicaciones de GA y el uso de GA para optimizar el rendimiento de un tipo particular de antenas denominadas microstrip.

## II. EVOLUCIÓN DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS

En el siglo XIX, la gente creía que el mundo fue creado por Dios en siete días. Charles Darwin (Figura 2a) transformó la manera como la gente pensaba sobre el mundo natural. El científico británico sentó las bases de la teoría de la evolución. En 1831, se unió a una expedición científica cinco años en el barco Beagle (Figura 2b), nombre que recibe en su honor el canal con el mismo nombre y que sirve de límite fronterizo entre Chile y Argentina.



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Charles Darwin (1809-1882). (b) Beagle, barco en el que realizó la expedición que le llevó a crear la teoría de la evolución [15]

Darwin encontró que la evolución se produce a través de la variación aleatoria de las características hereditarias, junto con la selección natural (supervivencia del más apto), teoría que recibe el nombre de darwinismo [16]. Darwin trabajó en su teoría durante 20 años y de forma simplificada, supone que las cualidades de los padres se heredan a sus descendientes. Las variaciones favorables se conservan, mientras que la desfavorable va desapareciendo. Los seres vivos (animales y plantas) que mejor se adaptan a su entorno tienen más probabilidades de sobrevivir y reproducirse, pasando las características que ayudaron a sobrevivir a su descendencia [17]. Como resultado, la especie cambia con el tiempo gradualmente.

Un ejemplo que ilustra la teoría darwiniana se muestra en la Fig. 3 [18]. La Fig. 3a muestra un árbol de abedul, que tiene un tronco de color blanco. La mayoría de los insectos viven en el tronco son también de color blanco, ya que pasan desapercibidos a los depredadores cuando reposan sobre el abedul. Sin embargo, debido a la llegada de la contaminación con la revolución industrial, el tronco cobra un color oscuro (Fig. 3b). Ahora los insectos de color blanco son muy visibles a los depredadores, y como resultado no pueden sobrevivir. Por lo tanto, después de varias generaciones, los insectos oscuros predominan, es decir, la especie que sobreviven son las que están mejor adaptadas al medio.

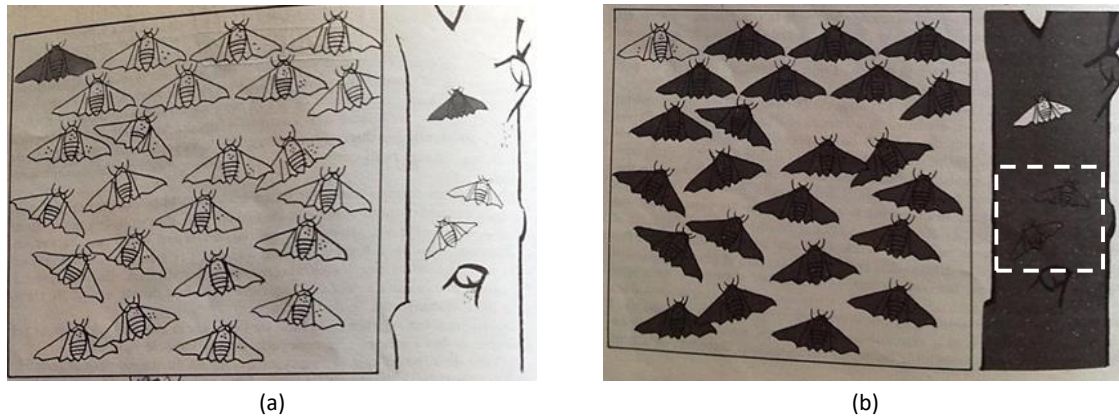


Fig. 3 Un ejemplo para ilustrar el darwinismo Teoría. (a) árbol de abedul blanco color con la mayoría de los insectos blancos. (b) árbol de abedul de color oscuro con la mayoría de los insectos oscuros [18]

Aproximadamente en el mismo periodo que Darwin, Gregor Mendel llevó a cabo experimentos sobre genética. Nació en Austria en el siglo XIX y es conocido como el "padre de la genética moderna". Cultivó alrededor de 28000 especies de guisantes y llevó a cabo experimentos de hibridación. Estudió siete rasgos de las plantas de guisantes que parecen heredar independientemente de otras características. Demostró que la herencia de ciertos rasgos en plantas de guisante sigue patrones particulares, ahora conocidas como las leyes de la herencia mendeliana.

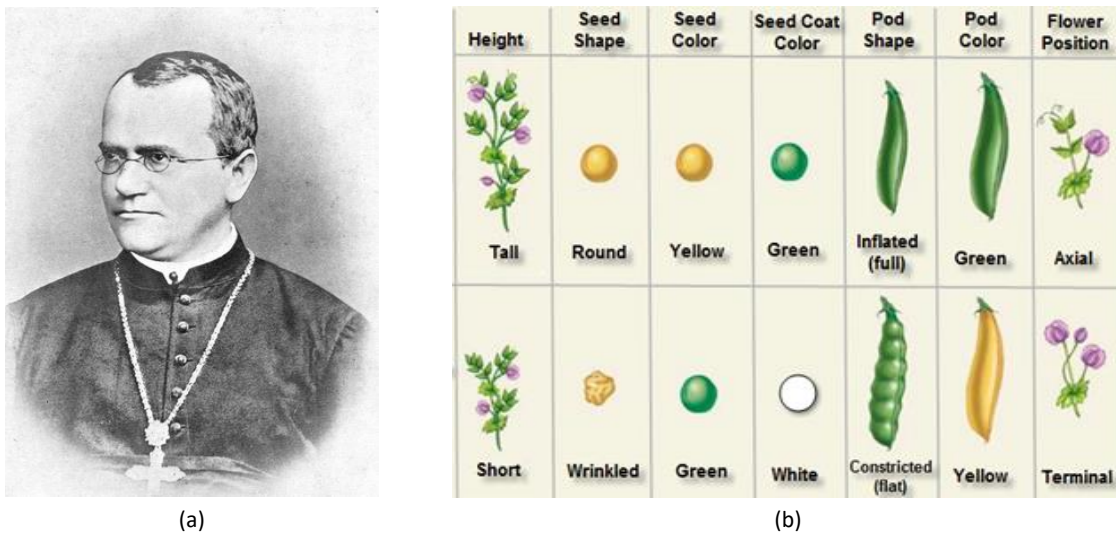


Fig. 4: a) Gregor Mendel (1822-1884). b) Siete rasgos de los guisantes [19]. Color de la flor es de color púrpura o blanco, posición de la flor es axial o terminal, longitud del tallo es largo o corto, forma de la semilla es redonda y arrugada, color de la semilla es de color amarillo o verde, forma la vaina se infla o constreñido y color de la vaina es de color amarillo o verde

La Fig. 5 muestra un ejemplo que ilustra los resultados de Mendel. Hay un par de progenitores denominados TT (al alto) y tt (el bajo). Son los abuelos en este ejemplo (etapa 1). Generan un árbol alto porque (Tt) sus genes que definen la altura (T) dominan sobre el gen bajo (t). Este a su vez se cruza con otro con los mismos genes Tt, son los padres (etapa 2). En la próxima generación, hay un 25% de posibilidades de que estos padres generen un niño de baja estatura (fase 3). Si esto se ha pasado, el niño es diferente a sus padres, hecho normal que no es de extrañar pues hereda propiedades de sus abuelos. Por analogía, no es de extrañar que muchos de nosotros nos parezcamos a nuestros abuelos.

Desde la vertiente ingenieril, el GA se hizo popular a través del trabajo de investigación de John Holland (científico estadounidense y profesor de psicología y profesor de ingeniería de

telecomunicación y computación) en la década de 1970, y en particular después de la publicación de su libro "La adaptación de los sistemas naturales y artificiales" (1975). Holland presentó un modelo matemático que permite la no linealidad de interacciones complejas. Además, demostró la universalidad del modelo mediante la aplicación de GA a la economía, la psicología, la teoría de juegos, etc.

Hoy en día, GA se utiliza ampliamente como una técnica de optimización en muchos campos de la ingeniería.

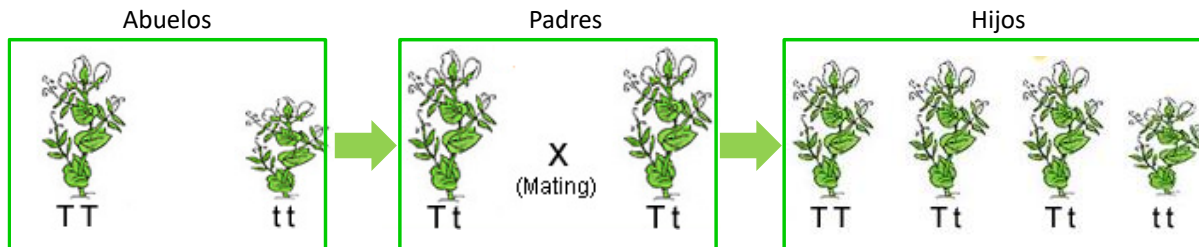


Fig. 5 Ejemplo de las leyes mendelianas de la herencia

### III. OPTIMIZACIÓN MEDIANTE GA

El proceso de optimización GA comienza por la creación aleatoria de una población o posibles candidatos (Fig. 6). A dicha población se la denomina población inicial (fase 1). El tamaño de la población debe ser lo suficientemente grande como para crear de manera efectiva la generación siguiente, pero lo suficientemente pequeña como para poderla manejar computacionalmente. Las características de los individuos en la población son diferentes unos de otros. Su rendimiento o idoneidad se mide en términos de una función de coste. Por lo tanto, el objetivo es seleccionar el mejor candidato (individuo más apto). Un ejemplo ilustrativo de función de coste puede ser por ejemplo la altura de un individuo.

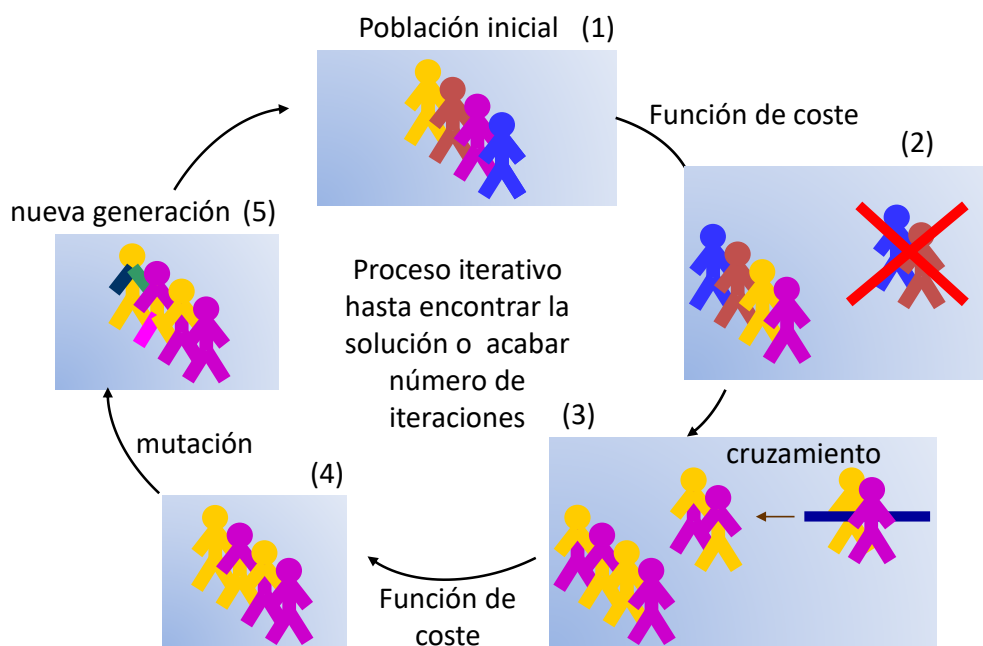


Fig. 6 Optimización mediante GA [20]. La población inicial (1) creada forma aleatoria se ordena de mejor a peor mediante la función de coste. Se elimina de dicha población, la peor mitad de la población (2). A partir de los mejores, se crea mediante cruzamiento, los hijos. Dicha población experimenta en alguno de sus individuos una mutación (4) dando como resultado una nueva generación (5) para volver a repetir el mismo proceso

En segundo lugar, cualquier par de candidatos (individuos) en la generación son seleccionados al azar (etapa 2). A estos se les denomina padres. Un par de los padres genera un par de niños. En la reproducción, los padres pasan por cruzamiento parte de su material genético (estadio 2,3). Por lo tanto, los niños tienen algunas características comunes con los padres.

Las características genéticas de los individuos se definen en sus cromosomas. Los cromosomas se componen de muchos genes. Computacionalmente, los genes pueden ser representados como "1" y "0". Por lo tanto, un cromosoma puede ser definido como una cadena de bits de 1 y 0.

Durante un cruzamiento, los genes de un par seleccionado al azar de individuos se intercambian con el fin de crear los individuos de la generación siguiente (Figura 7). El cromosoma que precede al punto seleccionado (punto de cruzamiento) se copia del padre #1 al hijo #1 y del padre #2 al hijo #2. La porción de cromosomas del padre #1, tras el punto seleccionado al azar, se coloca en la porción correspondiente al hijo #2 y viceversa para la porción restante del padre #2. El impacto de cruce es la de reorganizar los genes con el objetivo de producir nuevo material genético que puede ser mejor que el antecesor pero también peor o igual. Será la función de coste la que se encargue de colocar en lo alto de la cadena a los mejores. Por tanto, si un hijo es mejor, su material genético permanecerá, de lo contrario desaparecerá con el tiempo.

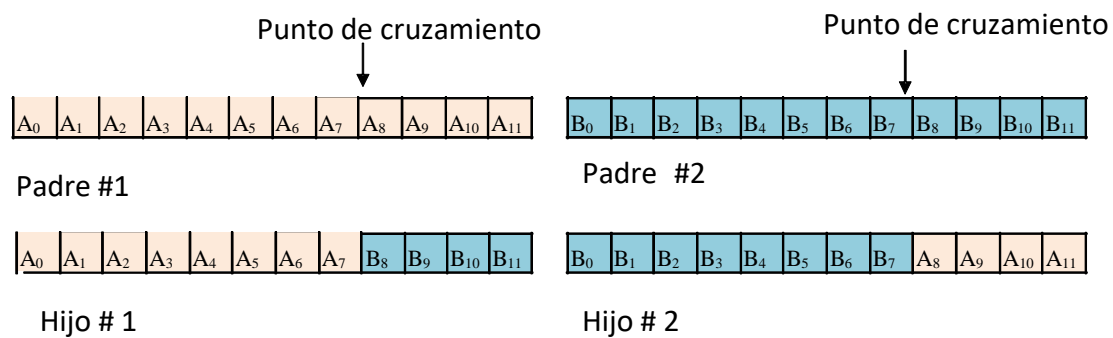
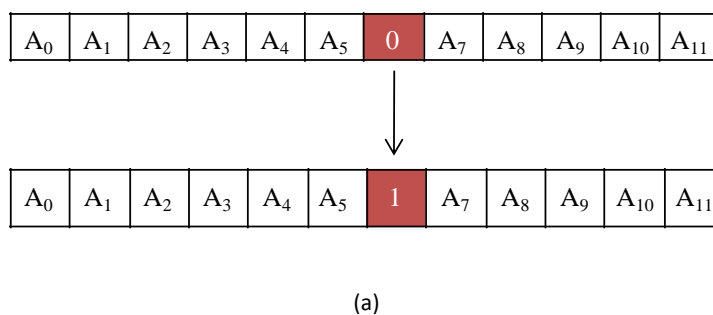


Fig. 7 Operación de cruzamiento. Dos niños se generan a partir de sus padres

La mutación es otro operador genético importante que cambia aleatoriamente un gen de un cromosoma. En representación binaria, el operador de mutación cambia un "0" a "1" y viceversa. Este operador permite la introducción de nuevos cromosomas de la población y se asegura una búsqueda amplia pues podría ser que un individuo con un gen mutado fuese un individuo mejor adaptado al medio. En este caso, este individuo tendría prioridad a la hora de generar descendencia y por tanto transmitir su material genético. Si no, sencillamente, no tiene prioridad en la descendencia y acaba por desaparecer.



(b)

Fig. 8 El operador mutación altera de forma aleatoria un gen (bit) de un cromosoma para genera un nuevo individuo. Este cambio puede producir por ejemplo un nuevo color de la piel como el gorila conocido como Copito de Nieve. Si el nuevo individuo se adapta mejor el medio, genera descendencia acabando por cambiar la adaptación y predominar gorilas albinos. En caso contrario, desaparece

Computacionalmente, una vez que los padres generan niños, el tamaño de la población se duplica (etapa 4 Fig. 6). Por lo tanto, se evalúan todos los individuos con una determinada función de coste. Los mejores individuos son seleccionados para la próxima generación mientras que los menos aptos se descartan. Este proceso de optimización se repite hasta encontrar la mejor solución que se adapte al requisito impuesto o bien que se supere el número de iteraciones.

#### IV. APLICACIONES DE LOS GA

El método de optimización GA es rápido, ya que encuentra la mejor solución sin comprobar todo el espacio de posibilidades. Además, no se necesita ninguna interacción humana cuando se ejecuta el proceso de optimización GA en un ordenador. Debido a estas ventajas, la optimización del GA se utiliza en diferentes campos como matemáticas, programación, análisis de datos, economía y finanzas, redes y comunicación, diseño de circuitos de microondas y en ingeniería de antenas.

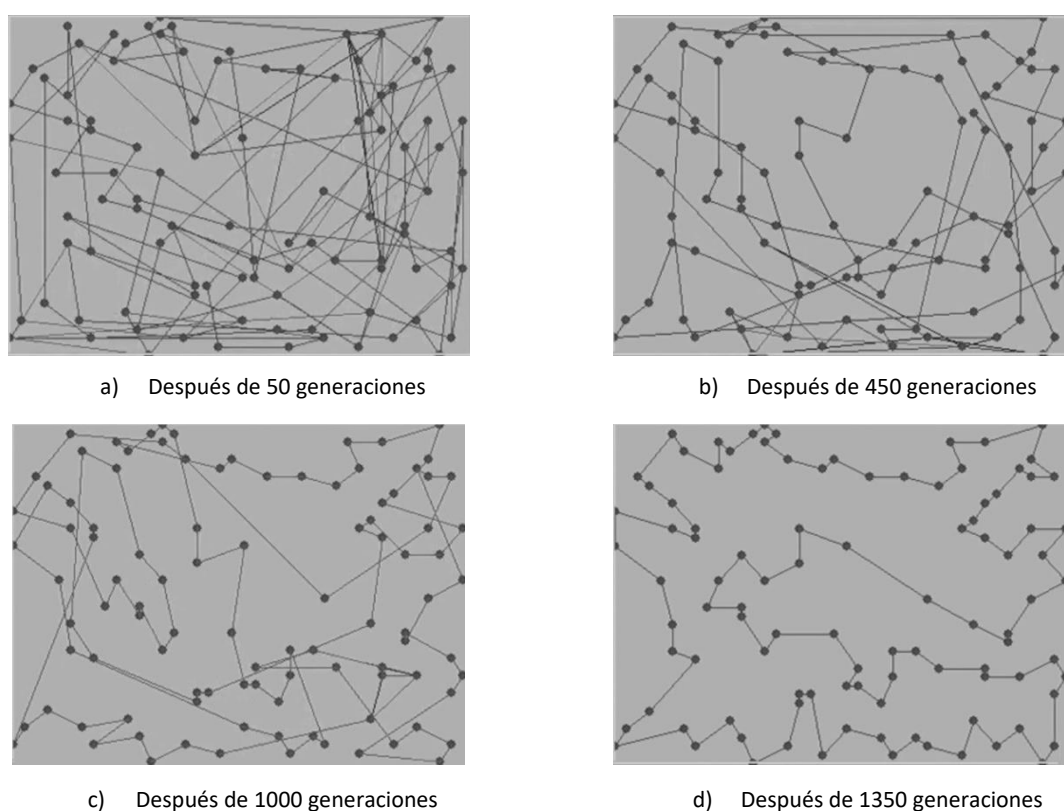


Fig. 9 El problema del viajero [21]

Como ejemplo ilustrativo, se muestra el problema del viajero. El objetivo es encontrar el camino más corto que conecta todas las ciudades que se muestran en un mapa (Fig. 9) [21]. La figura muestra cómo el GA llega a la solución optimizada (camino más corto) a través de generaciones. El mismo principio se puede utilizar en el proceso de integrar chips en una placa circuito impreso a través de un robot que debe colocar miles de componentes en dicha placa y que es necesario minimizar el recorrido que debe recorrer. A modo de ejemplo, la función de coste en este caso sería la distancia total de un individuo, donde un individuo corresponde a un posible conexionado entre ciudades. Una vez se ha encontrado la ruta mínima, el brazo robot puede ser programado para seguir ese camino y ser por tanto eficaz en la producción en masa.

La Fig. 10 muestra otra aplicación GA para la terapia por radiación en un tejido cerebral como tratamiento médico [22]. En este tratamiento, inicialmente MRI (Imagen de Resonancia Magnética) se

procesa del paciente para crear un modelo de geometría de la superficie. A continuación, un oncólogo utiliza la resonancia magnética para designar la región a ser irradiada. Posteriormente, el plan de terapia consiste en múltiples ubicaciones y duraciones de irradiación. Para esta aplicación, el GA se puede utilizar con una simulación por ordenador para optimizar el plan con la absorción de la radiación en la zona de interés (eliminar células malignas) y mínima necrosis por radiación no deseada. Por lo tanto, el objetivo es encontrar la solución óptima, que es la más saludable. En la mejor solución, el máximo número de células perjudiciales son eliminadas mientras que se minimiza la eliminación de las beneficiosas. Por lo tanto, entre los millones de candidatos, el GA encuentra la mejor solución para el paciente, que es la mejor dirección de irradiación y tiempo de exposición.

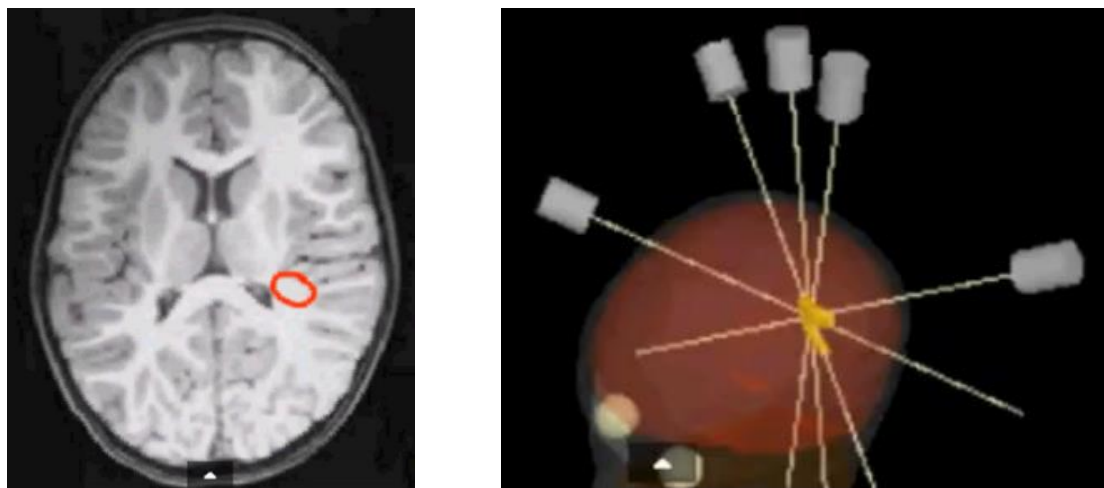


Fig. 10 Terapia por radiación [22]. a) Región a tratar. b) Optimización del mejor ángulo de incidencia y duración

## V. LOS GA EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA DE ANTENAS

Los GA se utilizan ampliamente en el campo de la ingeniería de antenas para mejorar las prestaciones de las mismas. Sin pérdida de generalidad, se ilustra cómo aplicar GA en el campo de un tipo particular de antenas: las antenas microstrip. La Fig. 11 muestra una antena denominada microstrip, que presenta ventajas tales como perfil plano y sencillez mecánica.

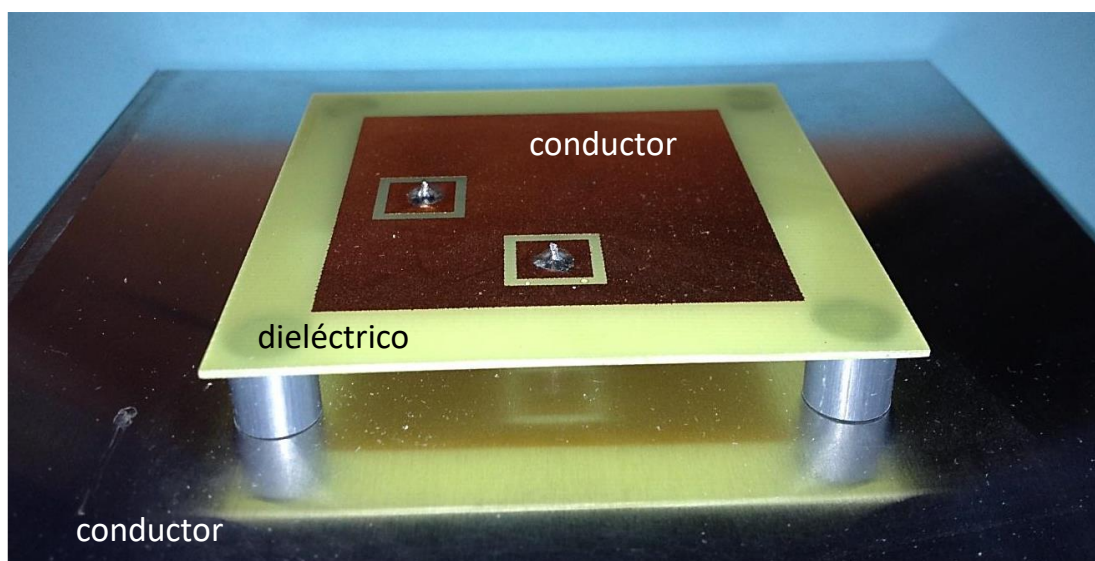


Fig. 11 Antena microstrip [23]: el conductor superior presenta una geometría cuadrada. La geometría determina el comportamiento de la antena la cual puede diseñarse para cumplir unas ciertas especificaciones

En su configuración más básica, una antena microstrip consiste en un conductor (el cuadrado ilustrado) dispuesto de forma paralela sobre otro plano conductor de mayores dimensiones. La energía que radia esta antena está principalmente dirigida en la dirección plano conductor mayor a conductor cuadrado de forma que existe poca energía radiada en la dirección por detrás del plano conductor mayor.

Cuando la geometría de parche tiene una forma clásica tal como cuadrada, rectangular, triangular o circular, hay limitaciones en términos de aplicaciones y tamaño de la antena. Por lo tanto, los investigadores utilizan diversos métodos para mejorar el rendimiento de las antenas de parche microstrip. Las antenas microstrip se pueden utilizar en numerosas aplicaciones, tales como estaciones base de telefonía móvil, antenas de teléfonos móviles, sistemas de radar, etc. Es en este sentido donde un GA es útil para sintetizar la geometría de la antena con el objetivo de que se cumplan ciertos requisitos electromagnéticos.

La Fig. 12 muestra la aplicación de la operación de cruzamiento y mutación en antenas microstrip, cuando el área de la zona se divide en celdas pequeñas. Las regiones de color representan el área de zonas conductoras. En la Fig. 12a, dos padres (padre y madre) se muestran mediante el uso de dos colores diferentes. Generan dos hijos (hijo #1 y #2) mediante la realización de la operación de cruzamiento. Por lo tanto, la antena llamado hijo# 1 recibe el material genético de la parte superior de la antena padre y el resto de la madre. La antena llamado Hijo # 2 recibe el material genético de la parte superior de la madre y el resto del padre. De esta forma, se han creado don nuevas antenas que heredan propiedades de los padres.

La Fig. 12b muestra el funcionamiento del operador mutación. Cuando la mutación se lleva a cabo en una célula que tiene propiedades conductoras, cambia a una celda no conductora y viceversa. Puede efectuarse más de una mutación tal y como se ilustra en el esquema.

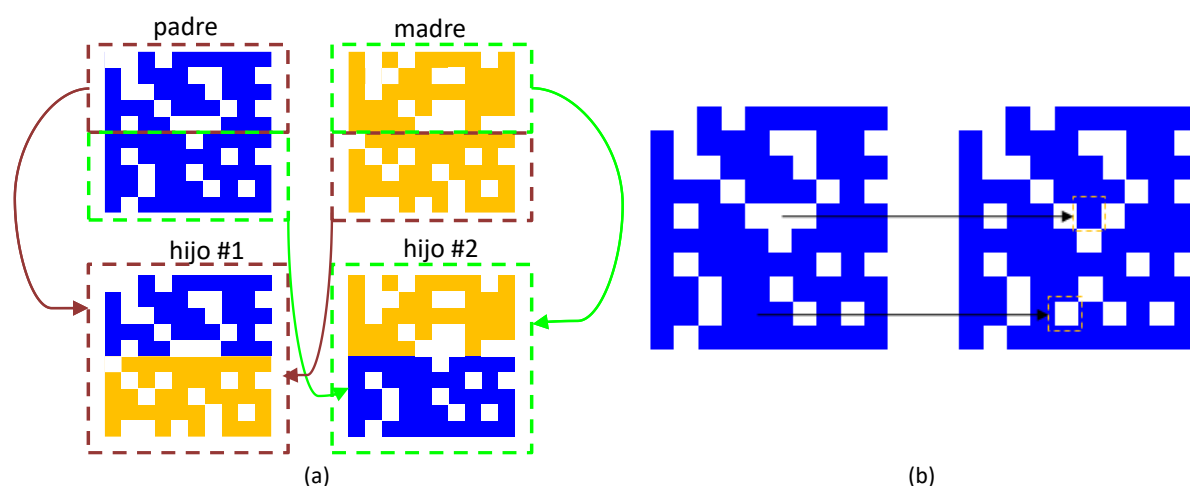


Fig. 12(a) Operación de cruzamiento. (b) operación de mutación. El color indica porción conductora

Habiendo mostrado cómo proceder con los operadores de cruzamiento y mutación, se detalla el procedimiento general de optimización de una antena microstrip con el objetivo de optimizar alguno de sus parámetros funcionales cómo podría ser por ejemplo, que radie de una determinada forma y que esta sea complicada de obtener mediante una geometría convencional.

El procedimiento de optimización GA aplicado al diseño de antenas microstrip se ilustra en la Fig. 13. Inicialmente, se crean diseños de antena aleatorios que conforman la población inicial (etapa 1). En esta población lo más probable es que no haya ningún elemento que de partida ofrezca unas prestaciones similares a las impuestas por la especificación y será a medida que avance el proceso de optimización que la especie vaya evolucionando hasta converger a la solución. En la etapa 2, se selecciona un par de padres (padre 1 y los padres 2) y que intervienen en la operación de cruzamiento.



Este par de padres (el de color amarillo y magenta de la Fig. 13) son los mejores de los cuatro posibles. Como resultado, se generan dos hijos (niños 1 y 2). Estos niños han combinado genes recibidos de los padres. Para tener unas características únicas para ellos, además de las recibidas de los padres, se les aplica el operador de mutación como se muestra en la etapa 3. De esta nueva población (4) formada por dos padres y dos hijos, se procede a ordenarlos de mejor a peor a través de la función de coste. La función de coste determinará que individuo (antena) tiene unos parámetros electromagnéticos más cercanos a la especificación. De esta forma, la nueva generación (5) está ordenada de forma que los elementos superiores presentan igual o mejor comportamiento que la generación antecesora. Es de destacar, que el operador mutación no es necesario aplicarlo a todos los hijos. En este ejemplo, a modo ilustrativo, se ha aplicado mutación de un par de genes a cada uno de los hijos.

Este proceso de optimización GA se lleva a cabo en un ordenador con la ayuda de un entorno de simulación electromagnética [23]. Por un lado, se diseña el proceso de optimización mediante GA y cada vez que se desea evaluar el coste de un individuo (una antena), se realiza una llamada a un simulador electromagnética para que evalúe los parámetros electromagnéticos de interés.

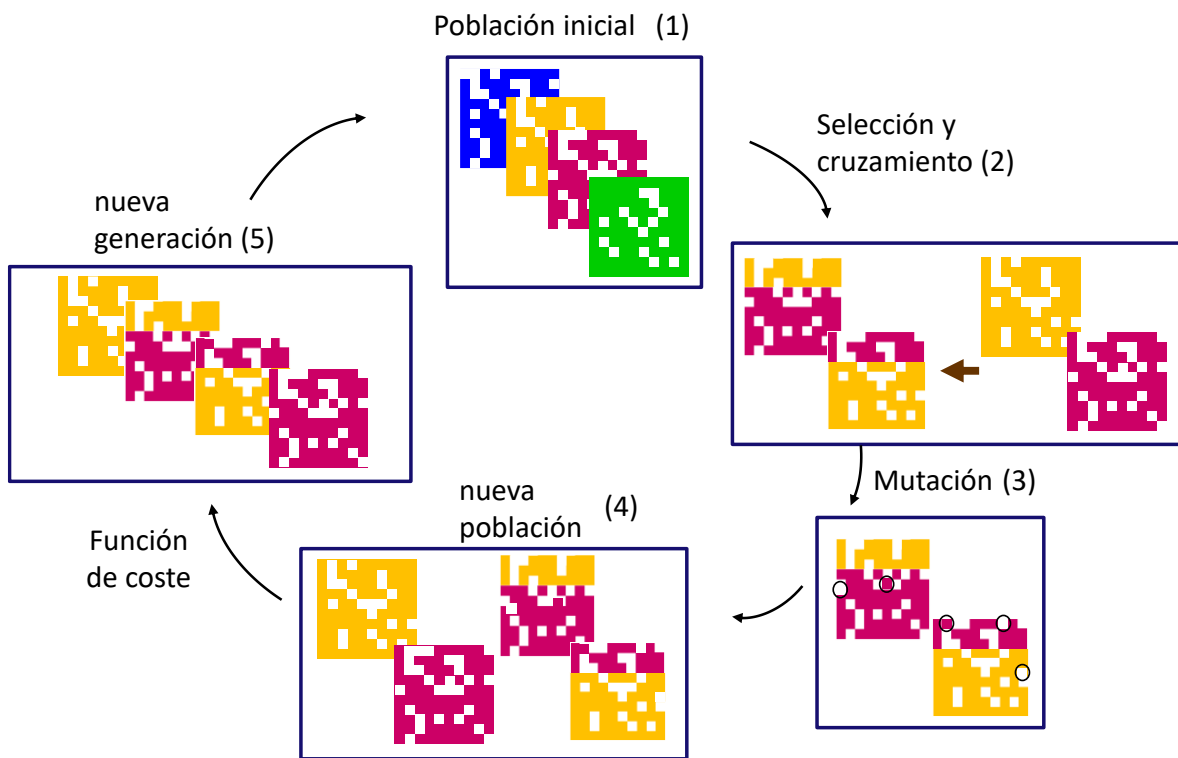


Fig. 13 Procedimiento de optimización mediante GA aplicado a la síntesis de antenas microstrip

Este procedimiento GA se puede aplicar a diseño de antenas microstrip multibanda, de banda ancha, de alta directividad o miniatura por ejemplo. Como ejemplo, se muestra en la Fig. 14 una antena de parche microstrip multibanda que funciona a varios rangos de frecuencia diferentes, para diferentes sistemas de comunicación móvil como por ejemplo GSM900, GSM1800, GSM1900, UMTS, LTE2300 y aplicaciones de Bluetooth. El conductor de antena se divide en pequeños cuadrados y la realización o no realización de las propiedades se definen mediante el uso de GA para encontrar el mejor diseño. Si el área conductora a optimizar se divide en varios de pequeñas celdas de  $M \times N$ , existe un total de  $2^{M \times N}$  combinaciones posibles, es decir, de  $2^{M \times N}$  antenas a evaluar. Es interesante notar que el uso de un método exhaustiva, tal como teniendo en cuenta todas las posibles simulaciones sin usar GA, sería poco práctico. Si la simulación de cada individuo, es decir, una antena, tardase por ejemplo un minuto, se necesitaría aproximadamente 300 millones de años para analizar todos los candidatos

con el objetivo de encontrar una posible solución. Sin embargo, el tiempo de cálculo con GA para encontrar la solución para el ejemplo mostrado es de tan solo es de 50 horas.

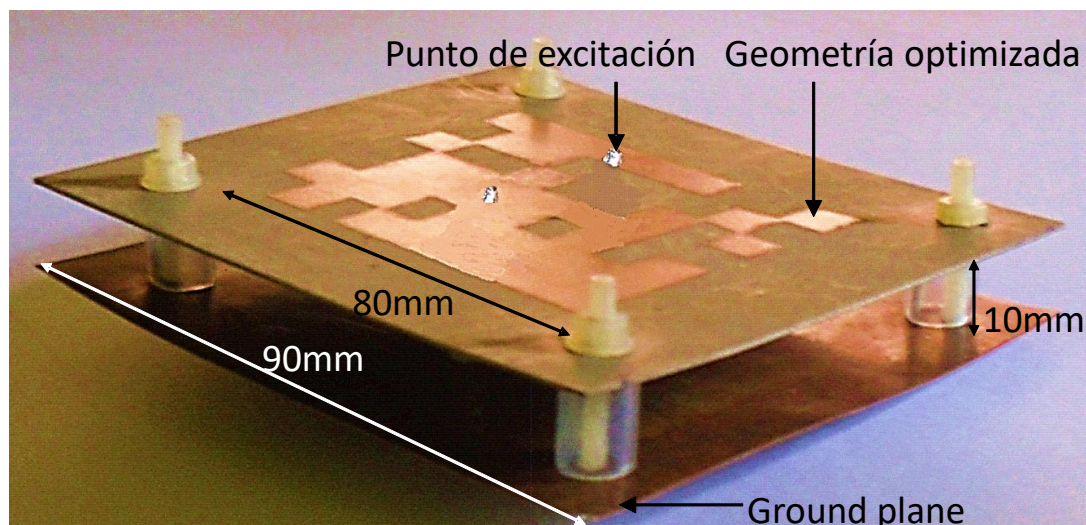


Fig. 14 Parche microstrip optimizado mediante GA con el objetivo de operar en diferentes sistemas de comunicación móvil [24]

La Fig.15a muestra una antena de parche microstrip multibanda y miniatura diseñada utilizando GA para Bluetooth y aplicaciones WLAN. El diseño de la geometría, así como de cuál debe ser la localización del punto de excitación, han sido determinados mediante optimización por GA.

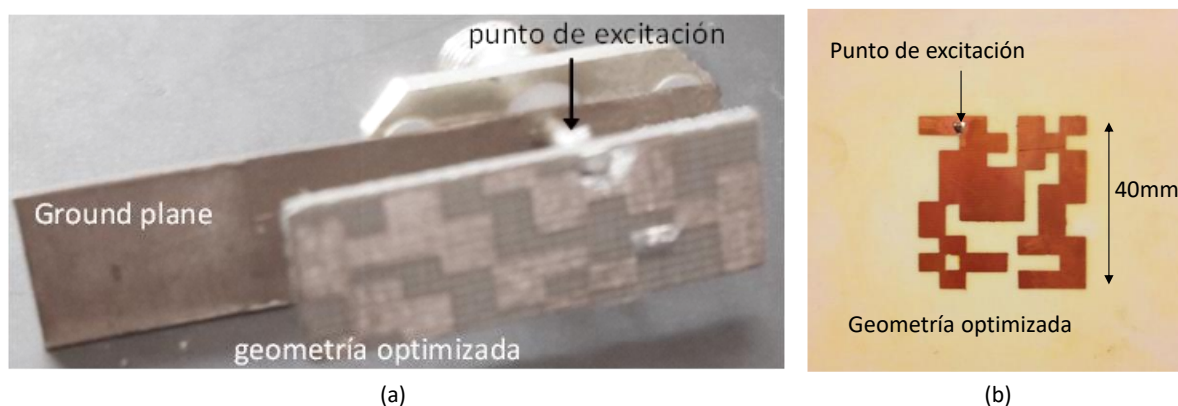


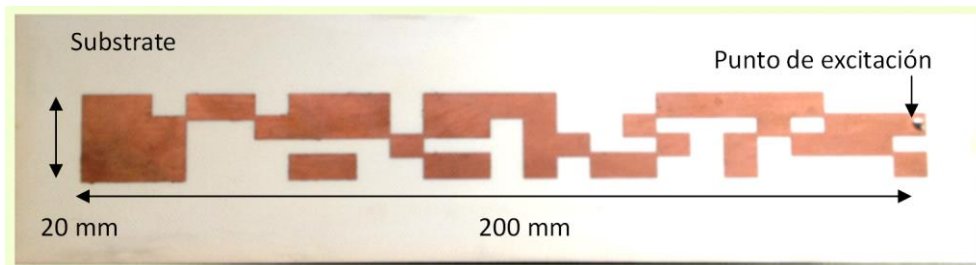
Fig. 15 Antenas sintetizadas mediante GA; a) antena miniatura; b) antena microstrip de alta directividad [25]

La Figura 15b muestra una antena GA alta directividad<sup>1</sup> [23]. El área conductora cuadrada original se divide en 100 células pequeñas (pequeños cuadrados) y por lo tanto, existen  $2^{100}$  posibles individuos, es decir,  $2^{100}$  posibles antenas a evaluar, nada más ni nada menos que aproximadamente un 1 seguido de 30 ceros. Si cada individuo cuesta un minuto en simularse, el tiempo de cálculo para la evaluación de todos los candidatos es de alrededor de 40.000 billones de años ( $2^{100}$  veces 1 minuto). Sin embargo, el proceso automático de GA consume sólo 70 horas para encontrar la solución. De aquí se observa que cuando el espacio de individuos candidatos de una solución es extremadamente elevado, un procedimiento de análisis de cada uno de ellos es inviable y es por tanto donde un método de optimización como el GA tiene su cabida.

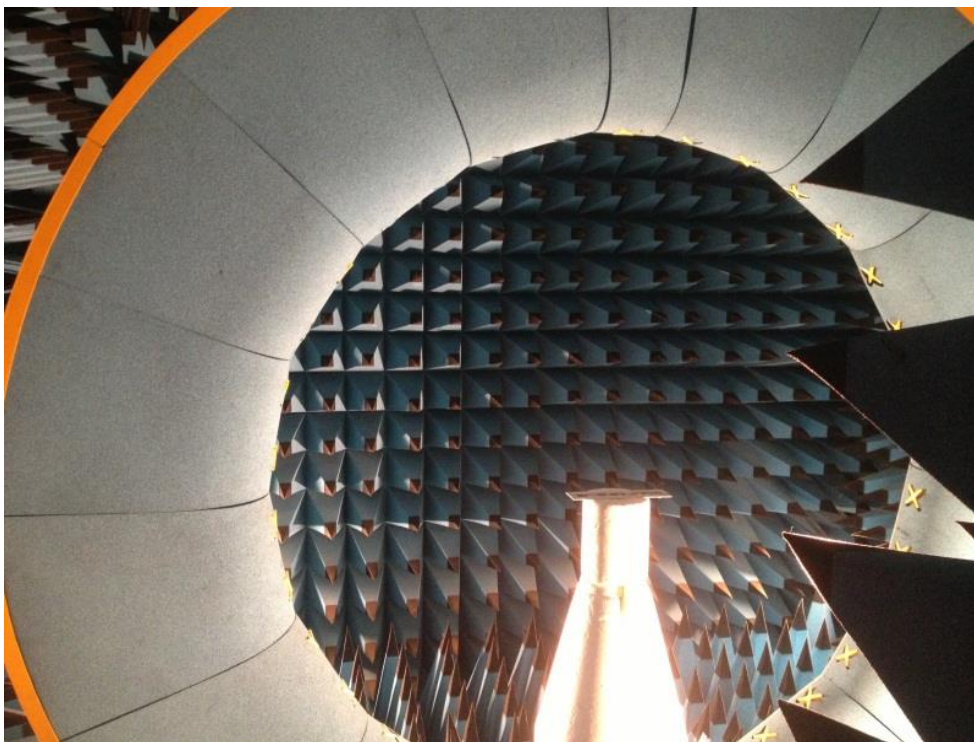
<sup>1</sup> Una antena de alta directividad es aquella que permite concentrar la potencia electromagnética radiada en una porción muy limitada del espacio, radiando muy poco en otras direcciones

La Figura 16 (a) muestra una antena GA alta directividad con un perfil rectangular. Al igual que en los casos anteriores, el rectángulo original se divide en diferentes celdas con el objetivo que sea el GA quien decida cuales deben estar presentes de conductor y cuáles no.

Finalmente, a modo de ilustración, los parámetros de radiación de una antena se miden en una cámara anecoica (Figura 16b) [23].



(a)



(b)

Fig. 16 a) Antena microstrip de alta directividad [26]; b) cámara anecoica utilizada para la medida de los parámetros de radiación

## VI. CONCLUSIONES

GA es una técnica de optimización que se utiliza en muchos campos de la ciencia y la ingeniería  
 Es muy útil cuando el espacio de la solución es extremadamente grande  
 GA es un proceso natural inspirado, que utiliza cruce y mutación  
 GA optimización abre la ventana para un diseño completamente automático  
 Se utiliza en la ingeniería de antena para mejorar el rendimiento de las antenas

## VII. AGRADECIMIENTOS

A la Fundació Caixa Vinaròs y a National Science Foundation Sri Lanka.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] [www.yttrium-technology.com](http://www.yttrium-technology.com)
- [2] Y. Rahmat-Samii and E.Michielsen, "Electromagnetic Optimization by Genetic Algorithms", *Wiley Series in Microwave and Optical Engineering*, 1999
- [3] R.L. Haupt, "An introduction to genetic algorithms for electromagnetics", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 37, No. 2, 7-15, 1995.
- [4] J.M. Johnson and Y. Rahmat-Samii, "Genetic Algorithms in Engineering Electromagnetics", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol.39, 7-21, 1997.
- [5] D.S. Weile and E. Michielssen, "Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics: A review", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 45, nº. 3, 343-353, 1997.
- [6] H. Choo, A. Hutani, L.C. Trintinalia, H. Ling, "Shape optimisation of broadband microstrip antennas using genetic algorithm", *Electronics Letters*, Vol.36, No. 25, 2057-2058, 2000.
- [7] F.J. Villegas, T. Cwik, Y. Rahmat-Samii and M. Manteghi, "A parallel Electromagnetic genetic-Algorithm optimization application for patch antenna design", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 52, 2424-2435, 2004.
- [8] S. Sun, L.V. Yinghua, and J. Zhang, "The Application of Genetic Algorithm Optimization in Broadband Microstrip antenna Design", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, 1-4, 2010.
- [9] K. Michael, A.A. Kucharski, "Genetic Algorithm Optimization for Broadband Patch Antenna Design", *International Conference on Microwaves, Radar & Wireless Communications*, 748-751, 2006.
- [10] L.A. Griffiths, C. Furse, and Y.C. Chung, "Broadband and multiband antenna design using the genetic algorithm to create amorphous shapes using ellipses", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 54, nº 10, 2776-2782, 2006.
- [11] T. G. Spence, D. H. Werner, and R. D. Groff, "Genetic algorithm optimization of some novel broadband and multiband microstrip antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Vol. 4, 4408-4411, 2004.
- [12] F.J. Villegas, T. Cwik, Y. Rahmat-Samii and M. Manteghi, "A parallel Electromagnetic genetic-Algorithm optimization application for patch antenna design", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 52, 2424-2435, 2004.
- [13] M. Ohira, H. Deguchi, M. Tsuji, H. Shigesawa, "Multiband single-layer frequency selective surface designed by combination of genetic algorithm and geometry-refinement technique", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 52, nº 11, 2925- 2931, 2004.
- [14] [www.yttrium-technology.com](http://www.yttrium-technology.com)
- [15] <http://darwin2009.christs.cam.ac.uk/Beagle.html>
- [16] R.L. Haupt and S.E. Haupt, "Practical genetic algorithms", *John Wiley & Sons*, 2004.
- [17] [http://www.bbc.co.uk/history/historic\\_figures/darwin\\_charles.shtml](http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/darwin_charles.shtml)
- [18] F. Martínez at al. "Ciències naturals", Teide, 1984.
- [19] <http://www.takdangaralin.com/science/genetics-the-beginning-of-genetics/>
- [20] J. Anguera and A. Pérez, "Teoría de Antenas", ISBN: 978-84-935665-4-8
- [21] <http://www.metivity.com/>
- [22] T. Schneider (<http://www.youtube.com>)
- [23] J. Anguera and A. Andújar, "Antenas: Elementos Indispensables de las Telecomunicaciones", *ciènciaprop*, vol.1, nº1, 2018.
- [24] J.W. Jayasinghe, J. Anguera, and D.N. Uduwawala, "A simple design of multi band microstrip patch antennas robust to fabrication tolerances for GSM, UMTS, LTE, and Bluetooth applications by using genetic algorithm optimization", *Progress In Electromagnetics Research M*, Vol. 27, 255-269, 2012.
- [25] J. W. Jayasinghe, J. Anguera, and D. N. Uduwawala, "A high-directivity microstrip patch antenna design by using genetic algorithm optimization", *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 37, 131-144, 2013.
- [26] J.M.J.W. Jayasinghe, J. Anguera, and D.N. Uduwawala, "Genetic algorithm optimization of a high-directivity microstrip patch antenna having a rectangular profile", *Radioengineering*, Vol. 22, nº.3, pp. 700-707, 2013.

## IX. AUTORES



**JEEVANI JAYASINGHE** nació en 1981. Recibió su Ph.D. y licenciatura en Ingeniería de Telecomunicación por la Universidad de Peradeniya, Sri Lanka en 2014 y 2006, respectivamente. En 2008, se unió Departamento de Electrónica de la Universidad Wayamba de Sri Lanka como profesora asociada y se convirtió en profesor titular en 2014. Recibió una beca de investigación para realizar una estancia en la Facultad de Telecomunicación de la Universitat Ramon Llull, Barcelona, España en 2013. Asimismo, de abril a mayo 2018 realizó una estancia de investigación en la Universidad de Macquarie, Sydney, Australia.

Coordinadora de la Licenciatura del programa de grado en la Universidad de Tecnología de Ingeniería Wayamba de Sri Lanka.

Autora de 16 artículos en revistas internacionales, 16 artículos en conferencia internacionales, y 3 capítulos de libro. Ha dirigido 7 proyectos final de carrera. Revisora en más de 12 revistas internacionales, incluyendo revistas SCI tales como *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, *International Journal of Antennas and Propagation*, *Journal of Electromagnetic Waves*

and Applications, Journal of National Science Foundation and Radioengineering. Ha impartido conferencias invitadas en Barcelona y Vinaròs, España y Gwalior, India. Miembro IEEE Senior. Sus intereses de investigación incluyen el diseño de antenas de parche microstrip y optimización mediante algoritmos genéticos.



**JAUME ANGUERA** nació en Vinaròs, España, en 1972. Director Científico (CTO) y cofundador de Fractus Antennas y profesor titular de la Universitat Ramon Llull (URL), Barcelona. Recibió el título de Ingeniero Técnico en Sistemas Electrónicos y de Ingeniero Superior en Electrónica ambos por la URL. Recibió, asimismo, el título de Ingeniero Superior de Telecomunicación y Doctor Ingeniero de Telecomunicación ambos por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona. Su tesis doctoral recibió la máxima calificación: excelente cum-laude.

De 1997 a 1999, fue investigador en el grupo de Ingeniería Electromagnética y Fotónica del Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la UPC. En 1999 fue investigador en Sistemas Radiantes (Madrid) donde estuvo involucrado en el diseño de antenas para comunicaciones móviles. Ese mismo año inicia también su etapa de profesor en la facultad de Telecomunicación y Electrónica de la URL donde imparte docencia en diversas asignaturas de teoría y diseño de antenas, propagación electromagnética y seminarios de doctorado.

Desde el mismo año 1999 inicia también su actividad profesional en la empresa de tecnología Fractus hasta julio del 2017. En Fractus, ha dirigido proyectos de diseño de antenas en el ámbito de la telefonía móvil celular (antenas de estación base y antenas por terminales móviles) y automoción. Sus intereses de investigación incluyen: diseño de antenas miniatura multibanda, arrays microstrip y arquitecturas de alimentación, optimización de antenas mediante algoritmos genéticos, antenas impresas muy directivas, dosimetría electromagnética, sistemas de diversidad/MIMO y aplicación de la geometría fractal al diseño de antenas. El 2003-2004 trabajó en Seúl (República de Corea del Sur) donde gestionó el inicio y desarrollo del departamento de I+D de Fractus en Corea, dirigiendo proyectos de diseño de antenas miniatura y multibanda para dispositivos móviles. En Corea se ganaron numerosos proyectos con empresas coreanas como por ejemplo Samsung, LG, entre otras. Fruto de su labor en Corea, ha publicado un libro sobre experiencias coreanas.

Ha realizado contribuciones pioneras dentro del campo de las antenas siendo inventor de más de 130 patentes concedidas en USA, Europa y Asia y 30 solicitudes de patente sobre antenas miniatura y multibanda para dispositivos de comunicación móvil, muchas de las cuales han estado licenciadas a grandes empresas multinacionales. Posee además dilatada experiencia en diseño de producto donde la tecnología de antenas Fractus ha superado la cifra de más de treinta y cinco millones de antenas comercializadas en todo el mundo.

Es autor de más de 230 publicaciones en revistas científicas, congresos nacionales e internacionales (índice h=48). Ha dirigido más de 110 proyectos final de carrera. Director de cuatro tesis doctorales. Es autor de 6 libros en el campo de antenas y electromagnetismo aplicado.

El Dr. Anguera fue miembro del equipo fractal que el año 1998 recibió el European Information Technology Grand Prize por parte del "European Council for the Applied Science an Engineering and the European Commission" por su contribución a "Fractal-shaped antenna application to cellular telephony". Fue finalista a la mejor tesis doctoral en 2003 ("Fractal and BroadBand Techniques on Miniature, Multifrequency, and High-Directivity Microstrip Patch Antennas") en UMTS, premio otorgado por Telefónica Móviles España. En 2004, recibió el premio a la mejor tesis doctoral en Redes y Servicios de Banda Ancha otorgado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación y por la empresa ONO. El mismo año recibe el "New Faces of Engineering 2004" (IEEE, IEEE Foundation). A nivel de grupo de investigación en Fractus, ha recibido el Technology Pioneer distinción concedida por el World Economic Forum en el 2005 y el de Academiae Dilecta por la Real Academia de Ingeniería en el 2015. En el 2011 recibe el "Alé Vinarossenc" otorgado por la Fundació Caixa Vinaròs. Finalista European Patent Award 2014.

En 2007, después de un proyecto de investigación en la empresa tecnológica Fractus (Barcelona), el Dr. Jaume Anguera y la Dra. Aurora Andújar inventaron una nueva y rompedora tecnología de antena conocida comercialmente como Virtual Antenna™ Technology. Esto ha dado lugar a muchas patentes, artículos científicos, tesis, conferencias, cursos y productos que catalizan la creación de una nueva empresa en la que es cofundador y CTO: Fractus Antennas para comercializar Virtual Antenna™ technology. Hoy en día son ya muchos los dispositivos Wireless que llevan integrados Virtual Antenna™.

El Dr. Anguera es revisor en numerosas revistas científicas, así como de varios congresos nacionales e internacionales. Editor en International Journal of Antennas and Propagation and Electronics Letters. Ha ejercido de *session chair* y ha estado en el comité científico de numerosos congresos del área de antenas y propagación electromagnética. Ha participado en más de 20 proyectos nacionales del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, ACCIÓ (Generalitat de Catalunya) y de la Comisión Europea (Horizon 2020) muchos de ellos como investigador principal con una financiación superior a los 6 millones de euros.

Desde 2001 dirige proyectos de investigación sobre antenas pequeñas y multibanda para dispositivos móviles en el marco de colaboración entre el Departamento de Electrónica y Telecomunicación de la URL y la empresa de tecnología Fractus (2001-2017) y desde 2017 con Fractus Antennas. Los estudiantes que han elaborado sus trabajos dentro de este marco han sido galardonados con premios a los mejores trabajos de fin de carrera otorgados por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT), por el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación (CITT), y por el programa Arquímedes del Ministerio de Ciencia e Innovación.

En el 2013, funda *ciènciaprop*®, programa de divulgación de ciencia y tecnología.

Fruto de sus aportaciones en el campo de antenas miniatura y multibanda para dispositivos de telecomunicación, es nombrado IEEE Fellow en el 2020, donde Virtual Antenna™ es su aportación más sobresaliente.

Su curriculum vitae aparece en Who'sWho in the World y en Who'sWho in Science and Engineering.

Más información sobre el autor en: <http://users.salleurl.edu/~jaume.anguera/>