

# Desarrollo de una Herramienta Académica para el Aprendizaje de Algoritmos Genéticos en el Entorno de Matlab, Aplicada a Telecomunicaciones

Mónica R. Reyes, Código: 051079, Carlos A. Pardo, Código: 051068,  
Fundación Universitaria San Martín, Facultad de Ingeniería.

**Abstract**—This paper is a tutorial about the using of genetic algorithms to find the desired radiation pattern of an antenna and a signal with a specific power. The genetic algorithms are a technique used to solve optimization and search problems, based on the approach that made Charles Darwin about the survival of the fittest through natural selection, which is inspired by biological evolution. After providing a detailed explanation of how a genetic algorithm works, this paper presents two examples that demonstrate the basic operation of genetic algorithm. Programs were developed in the MATLAB environment.

**Palabras Clave**—Algoritmo, Algoritmos genéticos, Patrón de radiación, Optimización, Selección natural, MATLAB.

## I. INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de diferentes métodos de optimización eficientes, es importante tener numerosas ideas de soluciones y realizar combinaciones entre ellas con el fin de que éstas puedan representar una mejor solución que las encontradas inicialmente. Es por esto que los algoritmos genéticos nacen como una alternativa importante, que ha tomado fuerza debido a la eficacia en sus métodos. En particular, este artículo muestra dos aplicaciones desarrolladas a partir del uso de los algoritmos genéticos. En la primera abordamos el tema de las señales generadas por medio de Fourier y en la segunda reportamos los resultados de búsqueda por medio de este método estocástico, para encontrar la ganancia directiva deseada de una antena.

## II. ALGORITMOS GENÉTICOS

El algoritmo genético es una técnica utilizada para la solución de problemas de búsqueda y optimización, basada en el planteamiento que hizo Charles Darwin sobre la supervivencia de los más fuertes por medio de la selección natural, es decir se inspira en la evolución biológica. Este método algorítmico imita precisamente este proceso creando

soluciones para problemas actuales, evolucionando estas soluciones con el fin de ir encontrando los valores óptimos necesarios para el problema.

El algoritmo parte de la creación dentro de la máquina de una población de individuos representados por cromosomas, los cuales pasan por un proceso de simulación llamado evolución, esta evolución comienza desde una población aleatoria. En cada generación la selección natural será la encargada de elegir a los individuos más aptos, realizándoles modificaciones y mutaciones con el fin de ser transmitidos a otras generaciones. Estos algoritmos realizan un proceso continuo el cual repite ciclos de evolución controlados siempre por los criterios de parada definidos [1].

### A. Población

Conjunto de individuos que representan todas las posibles soluciones a un problema dado, éstos forman una cadena de bits que se evalúan después de la decodificación a números reales o enteros, representando las variables existentes de un problema. A partir del proceso de selección natural que se aplica sobre la población inicial y el uso de operadores genéticos como el cruce y la selección, se originan los descendientes de una nueva generación [2].

### B. Gen

Es la unidad funcional de la herencia, que tiene la capacidad de almacenar información capaz de soportar mutación, replicación y expresión.

### C. Cromosoma

El material genético se encuentra empaquetado en unidades discretas llamados cromosomas. Estos son los portadores de la mayor parte de este material y condicionan la organización de la vida y los caracteres heredados por cada especie. En los algoritmos genéticos es un individuo o elemento de una población, quién representa una posible solución al problema planteado [2].

#### D. Función Fitness o de aptitud

Se considera una expresión matemática encargada de evaluar la aptitud o calidad de los individuos que conforman una población. A la hora en que una función Fitness se define, ésta debe retornar los valores más altos de los individuos que más se aproximan a la solución óptima [3].

#### E. Selección

Escoge cromosomas dentro de la población con el fin de que se reproduzcan. Durante el proceso evaluativo, el gen es decodificado convirtiéndose en un conjunto de parámetros derivados del problema, los cuales proporcionarán la solución al mismo. La solución óptima está dada por la puntuación que tendrán éstos parámetros [3]. A esta puntuación se le denomina fitness. El fitness entonces será el encargado de escoger los cromosomas que se van a reproducir, quienes conformarán la población de la siguiente generación. Después de haberse evaluado el fitness la nueva población creada deberá tener en cuenta que sean transmitidos los mejores rasgos.

#### F. Cruce

Elige un lugar e intercambia las secuencias que se encuentran antes y después de la posición ubicada en el medio de dos cromosomas, a fin de que se produzca una descendencia. Los miembros escogidos son seleccionados aleatoriamente, por lo que sin importar pueden formarse parejas de descendientes de los mismos padres. Este hecho garantiza que un individuo con una excelente puntuación permanezca siempre constante en la población [4].

#### G. Mutación

Causa variaciones aleatorias en un cromosoma, las cuales contribuyen a la diversidad genética de la especie. Estas variaciones son poco probables de ocurrir, es decir tienen una frecuencia diminuta, a esta frecuencia se le denomina frecuencia de mutación. Una vez se establezca esta frecuencia se examinan los bits de las diferentes cadenas sólo en el momento en que se produzca un nuevo descendiente, si el número generado al azar está por debajo de esa frecuencia, inmediatamente el bit será cambiado, de lo contrario el bit seguirá igual.

Un algoritmo genético utiliza estas operaciones con el fin de encontrar la solución más apta [5].

### III. ARREGLOS LINEALES DE ANTENAS

Generalmente el patrón de radiación de un elemento aislado tiene un ancho de haz relativamente grande, y cada elemento individual provee niveles muy bajos de directividad (ganancia). Existen algunas aplicaciones donde es necesario diseñar antenas con muy buenas características de directividad, es decir muy altas ganancias, para alcanzar las demandas actuales de comunicación a larga distancia que han surgido con el desarrollo de las tecnologías de la información.

La ampliación de las dimensiones de una antena aislada conduce frecuentemente a una mejor directividad. Sin embargo, existe otra manera para ampliar las dimensiones de la antena sin necesariamente incrementar el tamaño de los elementos individuales, y consiste en establecer un grupo de elementos radiantes en una configuración eléctrica y geométrica determinada. Esta nueva antena, formada por múltiples elementos se conoce como arreglo.

Los arreglos de antenas, localizadas en una posición específica en donde se excitan adecuadamente, son una alternativa importante para generar patrones de radiación con las características deseadas; por ejemplo la ubicación de los nulos, el ancho de haz, entre otros.

Los arreglos lineales de antenas se caracterizan porque sus elementos se encuentran ubicados a lo largo de una línea recta, con una separación uniforme o no uniforme [6]. La Fig. 1 ilustra la disposición física de un arreglo lineal de antenas.

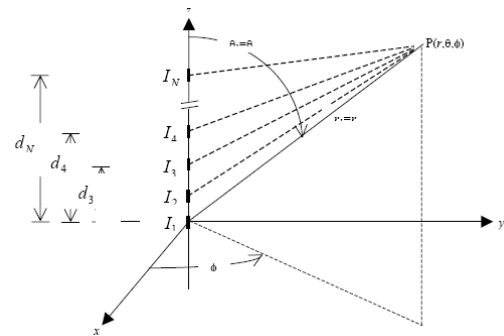


Fig. 1. Disposición física de un arreglo lineal de antenas.

Los arreglos son clasificados según la ubicación de sus elementos y las características de las señales de excitación.

### IV. PATRÓN DE RADIACIÓN DE UN DIPOLO

El dipolo consiste en dos alambres que se encuentran acomodados linealmente y separados por un espacio en el cual se aplica la excitación. Idealmente el diámetro del alambre y la separación entre éstos debe ser de cero, de modo que se va formando un alambre filamental continuo [6]. En la región de campo lejano, el campo eléctrico producido por un dipolo con una distribución de corriente filamental de forma senoidal está dado por la ecuación (1).

$$E_{\theta} \cong J\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left( \frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos\theta\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin\theta} \right) \quad (1)$$

## V. FACTOR DE ARREGLOS CON FASE PROGRESIVA

Dentro de los arreglos lineales con separación uniforme, existen desarrollos en los cuales se maneja la amplitud uniforme y la fase progresiva. El factor de arreglo normalizado para arreglos con amplitud uniforme y fase progresiva está dado por la ecuación (2).

$$AF_n = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\psi} \quad (2)$$

Dónde  $\psi = kd \cos \theta + \beta$ ,  $d$  es la distancia entre los elementos y  $\beta$  es la fase progresiva. Es posible demostrar que la ecuación (2) se puede escribir como la ecuación (3) de la siguiente manera:

$$AF_N = \frac{e^{j(n-1)\frac{\psi}{2}} \text{sen} N \frac{\psi}{2}}{N \text{sen} \frac{\psi}{2}} \quad (3)$$

## VI. DIRECTIVIDAD

El patrón de radiación de un dipolo se vuelve más direccional a medida que aumenta su longitud. Cuando la longitud total es mayor que la longitud de onda, el número de lóbulos aumenta y la antena pierde sus propiedades direccionales [5]. La directividad está definida matemáticamente por la ecuación (4).

$$D = 4\pi \frac{FA^2}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (FA^2) \text{sen} \theta d\theta d\varphi} \quad (4)$$

## VII. SERIE TRIGONOMÉTRICA DE FOURIER

Una gran cantidad de señales periódicas representadas como  $f(t)$ , las cuales poseen un periodo definido  $T$ , se pueden expresar mediante la Serie Trigonométrica de Fourier. La ecuación (5) muestra la estructura general de esta serie [7].

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos(\omega_0 t) + a_2 \cos(2\omega_0 t) + \dots \\ + b_1 \text{sen}(\omega_0 t) + b_2 \text{sen}(2\omega_0 t) + \dots \quad (5)$$

$$\text{En donde } \omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

Esta serie puede expresarse mediante la siguiente sumatoria:

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \text{sen}(n\omega_0 t)] \quad (6)$$

La Serie de Fourier, se puede representar de una forma similar, operando el término  $a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \text{sen}(n\omega_0 t)$ , como lo muestra la ecuación (7).

$$\sqrt{a_n^2 + b_n^2} \left( \frac{a_n}{\sqrt{a_n^2 + b_n^2}} \cos(n\omega_0 t) + \frac{b_n}{\sqrt{a_n^2 + b_n^2}} \text{sen}(n\omega_0 t) \right) \quad (7)$$

Para comprender de manera simple como la compactación de los coeficientes de esta ecuación, se debe tomar como base la representación de un triángulo rectángulo. La Fig. 2 ilustra la compactación de los coeficientes de serie mediante la utilización de un triángulo rectángulo utilizando la relación que se demuestra en la ecuación (8).

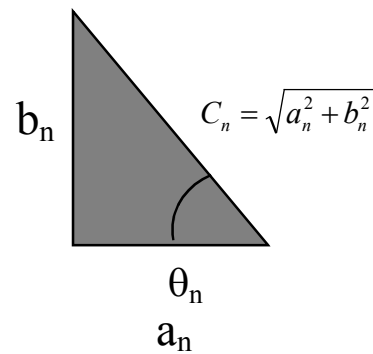


Fig. 2. Compactación de los coeficientes de una serie relacionado mediante un triángulo rectángulo.

$$\frac{a_n}{\sqrt{a_n^2 + b_n^2}} = \cos \theta_n \quad (8)$$

$$\frac{b_n}{\sqrt{a_n^2 + b_n^2}} = \text{sen} \theta_n$$

La ecuación (9) muestra el reemplazo de las nuevas variables.

$$C_n [\cos \theta_n \cos(n\omega_0 t) + \text{sen} \theta_n \text{sen}(n\omega_0 t)] \\ = C_n [\cos(n\omega_0 t - \theta_n)] \quad (9)$$

Para esto, podemos expresar el primer término como  $C_0 = \frac{a_0}{2}$ .

Finalmente, la serie de Fourier se puede definir de la siguiente manera:

$$f(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n [\cos(n\omega_0 t - \theta_n)] \quad (10)$$

$$\text{En donde } C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{y } \theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{b_n}{a_n}\right)$$

### VIII. COMPONENTES ARMÓNICAS

Una función periódica, denotada mediante la expresión  $f(t)$ , se puede representar como la suma de varios componentes sinusoidales de diferentes frecuencias  $\omega_n = n\omega_0$ .

En base a esto, se definen todos los términos que involucra la representación de la Serie Trigonométrica de Fourier. Componente sinusoidal de frecuencia  $(n\omega_0 = C_n \cos(n\omega_0 t + q_n))$ , denominada la  $n$ -ésima armónica de la señal  $f(t)$ . Primera armónica ( $n=1$ ), denominada componente fundamental [7].

Frecuencia  $W_0 = 2pf_0 \Rightarrow W_0 = \frac{2p}{T}$ , denominada frecuencia angular fundamental.

Componente de frecuencia cero (C0), llamada componente de corriente directa (cd) y correspondiente al valor promedio de  $f(t)$  en cada periodo.

Coefficientes  $C_n$  y los ángulos  $q_n$  son respectivamente las amplitudes y los ángulos de fase de cada una de las armónicas.

### IX. ORTOGONALIDAD DE SENOS Y COSENOS

Los conjuntos de funciones  $f_k(t)$  son ortogonales en el intervalo  $a < t < b$  si dos funciones cualesquiera  $f_m(t)$ ,  $f_n(t)$  de dicho conjunto cumplen la ecuación (11) el siguiente es un conjunto de una infinidad de funciones ortogonales en el intervalo  $-T/2 < t < T/2$  [7].

$$\int_a^b f_m(t) f_n(t) dt = \begin{cases} 0 & \text{para } m \neq n \\ r_n & \text{para } m = n \end{cases} \quad (11)$$

Es decir que para cualquier valor de  $W_0 = \frac{2p}{T}$ , se obtiene  $1, \cos\omega_0 t, \cos 2\omega_0 t, \cos 3\omega_0 t, \dots, \text{sen}\omega_0 t, \text{sen} 2\omega_0 t, \text{sen} 3\omega_0 t, \dots$

### X. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE LA SERIE

Para el cálculo de los coeficientes de la Serie, de una función periódica, representada mediante la  $f(t)$  que se muestra en la ecuación (12), primero se deben calcular los coeficientes  $0, a_1, a_2, \dots, b_1, b_2, \dots$

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \text{sen}(n\omega_0 t)] \quad (12)$$

Para realizar esto, se debe considerar la ortogonalidad que poseen las funciones seno y coseno:

1) Multiplicando ambos miembros por  $\cos(n\omega_0 t)$  y realizando la integral entre los intervalos  $\frac{-T}{2}$  y  $\frac{T}{2}$ , se obtiene la ecuación (13).

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos(n\omega_0 t) dt \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (13)$$

2) Este mismo proceso lo debemos hacer multiplicando por  $\text{Sen}(n\omega_0 t)$  e integrando  $\frac{-T}{2}$  y  $\frac{T}{2}$ , como se muestra en la ecuación (14).

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \text{sen}(n\omega_0 t) dt \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

3) Finalmente, debemos integrar la función entre  $\frac{-T}{2}$  y  $\frac{T}{2}$ , representado en la ecuación (15).

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt \quad (15)$$

Se debe tener en cuenta que el intervalo de integración no necesita ser simétrico respecto al origen.

Gracias a que la ortogonalidad de las funciones seno y coseno no sólo se da en el intervalo de  $\frac{-T}{2}$  y  $\frac{T}{2}$ , sino en cualquier intervalo que cubra un periodo completo, se puede realizar el cálculo en cualquier otro intervalo que cumpla este requisito [7].

### XI. GENERADOR DE SEÑALES

A continuación se presenta el desarrollo de la implementación de un generador de señales con base en algoritmos genéticos en el entorno de Matlab.

#### A. Generar la población inicial

Las señales aleatorias que conforman la población inicial se implementaron mediante las series de Fourier. Esta población consta de 20 señales generadas mediante una serie de pasos que van a ser descritos a continuación. El número de términos de la serie definido fue 12, es decir que la cantidad de deltas generados que van a ser representados en las gráficas tanto de magnitud como de fase van a ser 12.

Los coeficientes de la serie son expresiones algebraicas, que van en función de la cantidad de términos definidos. Estos coeficientes son generados aleatoriamente.

La frecuencia definida para las funciones a ser representadas fue de 4 KHz.

El número de periodos a representar definido fue de 1.

El cálculo de los módulos se hizo mediante la ecuación (16).

Y el cálculo de la fase mediante la ecuación (17).

$$A = \sqrt{(ak^2) + (bk^2)} \quad (16)$$

$$Fase = \tan^{-1}\left(\frac{bk}{ak}\right) \quad (17)$$

En la representación de los módulos se grafica la magnitud de las señales. Para demostrar cómo se representan éstos módulos se van a graficar solamente para las dos primeras señales que conforman la población inicial.

Al igual que la representación de los módulos las fases van a ser graficadas sólo para las dos primeras señales que conforman la población inicial.

La señal se reconstruye teniendo en cuenta la magnitud y la fase de cada señal. Se realiza una sumatoria de cada uno de los deltas de la magnitud y de la fase.

Los pasos descritos anteriormente se realizan 20 veces, con el fin de representar las 20 señales aleatorias que conforman la población inicial. Estas señales generadas simulan a los padres, quienes conforman la primera generación.

La Fig. 3 ilustra tan sólo una señal de las 20 que conforman la población inicial generadas aleatoriamente, con su respectiva gráfica de magnitud y fase.

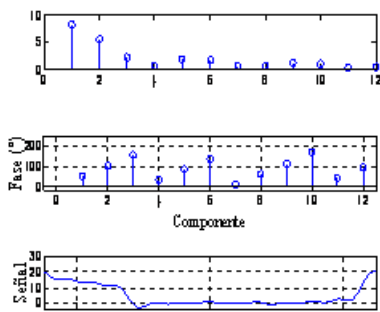


Fig. 3. Representación del módulo y la fase de una señal.

### B. Operador de cruce

El criterio de cruce seleccionado se ilustra en la Fig. 4.

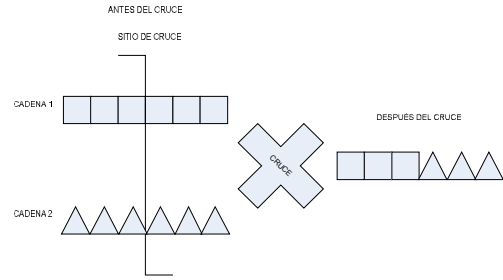


Fig. 4. Representación gráfica del criterio de cruce seleccionado para el generador de señales.

El cruce como lo ilustra la Fig. 4, intercambia información entre la magnitud y la fase de dos señales. La selección de las dos señales que van a ser cruzadas se hace de manera aleatoria, es decir que el cruzamiento puede realizarse entre cualquiera de las 20 señales que conforman la población inicial. La cantidad de señales que resultaran de los cruces van a ser 20. Este número fue definido de esta forma, con el fin de que la segunda generación fuera del mismo tamaño que la primera generación.

La Tabla I muestra cómo se seleccionan las señales que van a realizar el cruce.

TABLA I  
SELECCIÓN DE LA SEÑALES QUE VAN A REALIZAR EL OPERADOR DE CRUCE.

q Va desde la señal 1 hasta la señal 20	r Toma valores aleatorios entre 1 y 20	Cruce
[Mag. Señal1]	[Mag. Señal5]	[Mag. Señal1- Mag. Señal5]
[Fase Señal1]	[Fase Señal5]	[Fase Señal1- Fase Señal 5]

Cuando se realiza el intercambio de la magnitud y de la fase de dos señales, se procede a reconstruir la señal con las nuevas magnitudes y fases resultantes. Esta señal tendrá entonces una mitad con la información de la primera señal y la otra mitad con la información de la segunda señal.

La Fig. 5 ilustra el cruce entre la señal Padre s2 y la señal padre s19.

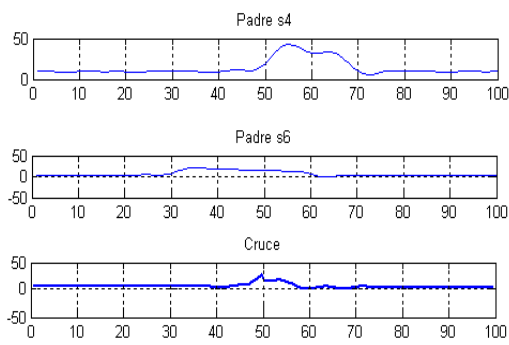


Fig. 5. Ejemplo del cruce entre dos señales.

### C. Operador de mutación

El operador de mutación va a ser ejecutado en las 20 señales resultantes del cruce. La mutación consiste en realizarle cierta o ciertas modificaciones en alguna parte a las señales de la segunda generación.

El criterio de mutación seleccionado consiste en agregarle un valor de 6 al delta de la magnitud y de la fase que están en una posición ya definida. Esta posición se definió en 6.

La Tabla II explica con un ejemplo como es el proceso de mutación en una señal.

TABLA II  
PROCESO DE MUTACIÓN EN UNA SEÑAL

SEÑAL	SEÑAL MUTADA
<b>Magnitud</b> = [5 1 7 2 4 5 8 9]	<b>Magnitud</b> = [5 1 7 2 4 11 8 9]
<b>Fase</b> = [4 3 7 5 1 2 9 1]	<b>Fase</b> = [4 3 7 5 1 8 9 1]

Cuando la mutación de la magnitud y de la fase de las 20 señales está hecha se procede a reconstruir las señales con las nuevas magnitudes y fases resultantes. Estas señales tendrán entonces un cambio en la posición 6 tanto de la magnitud como de la fase.

La Fig. 6 ilustra la mutación realizada a la señal 10.

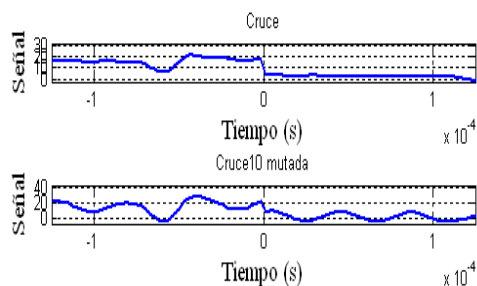


Fig. 6. Gráfica de la mutación realizada a una señal.

### D. Operador de selección

El criterio de selección utilizado se basa en la potencia de las señales. Por consiguiente, en primer lugar se calcula la potencia de las 20 señales mutadas.

Este criterio que se definió previamente, consiste en seleccionar una señal que tenga una potencia entre los 25 dB y 26 dB.

Si se encontró la señal que se desea con esta potencia, el algoritmo llegará a su fin; pero por el contrario si no se encontró la señal requerida, el algoritmo volverá a realizar los mismos pasos ya descritos desde el punto de cruce, es decir volverá a cruzar las 20 señales padres, para obtener una nueva generación; aplicará a éstas el criterio de mutación y de selección, y si se obtiene la señal requerida con la potencia deseada, llegará a su fin, pero si no se tiene hará de nuevo el mismo proceso, hasta que el requerimiento del programa se cumpla.

La Fig. 7 muestra 3 señales que cumplen el criterio de selección definido.

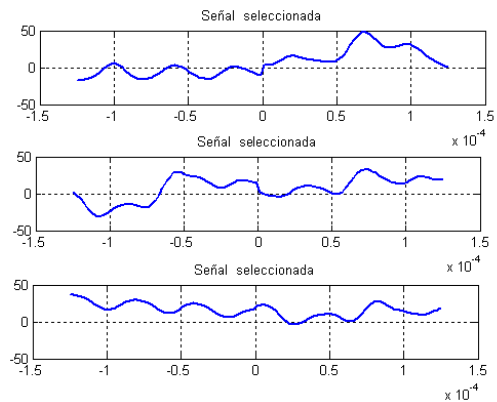


Fig. 7. Señales seleccionadas que cumplen el criterio de selección definido.

Gracias a la buena definición de los operadores genéticos (cruce, mutación y selección), se encontró la señal que cumplía con el criterio que previamente se había definido.

## XII. ANTENA

Diseño de una antena tipo panel a partir del uso de algoritmos genéticos. La Fig. 8 ilustra los pasos básicos para la realización de esta aplicación. El objetivo del programa es encontrar un patrón de radiación que tenga una ganancia promedio entre los 26 y 27 dB.

### A. Generar la población inicial

Los patrones de radiación de las antenas generados de manera aleatoria que conforman la población inicial se implementaron mediante la ecuación (18). Esta población consta de 8 patrones de radiación.

$$D = \frac{(FA)^2}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (FA)^2 \sin\theta d\theta d\phi} \quad (18)$$

Donde FA = Factor de arreglo.

Para generar los patrones de radiación aleatoriamente, se asigna la función *random* de Matlab a las variables  $d$  y  $\beta$ , y se grafican con la función *polar*.

La Fig. 8 ilustra tan sólo dos patrones de radiación de los 8 que conforman la población inicial.

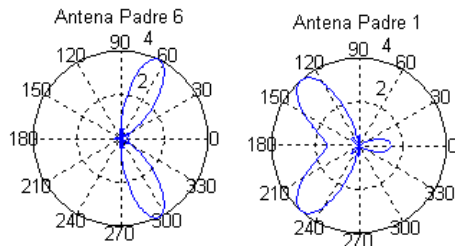


Fig. 8. Patrones de radiación de dos antenas padres.

### B. Operador de cruce

El criterio de cruce seleccionado consiste en intercambiar información entre dos patrones de radiación que son seleccionados aleatoriamente, es decir que el cruzamiento puede realizarse entre cualquiera de los 8 patrones de radiación que conforman la población inicial. La cantidad de patrones de radiación que resultaran de los cruces van a ser 8. Este número fue definido así, con el fin de que la segunda generación fuera del mismo tamaño que la primera generación. La Fig. 9 ilustra el criterio elegido.

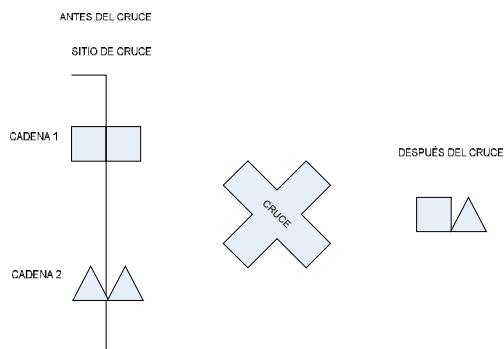


Fig. 9. Representación gráfica del criterio de cruce seleccionado para las antenas.

La información intercambiada entre los patrones de radiación es el ángulo de fase y la distancia entre los elementos.

La Tabla III muestra con un ejemplo el criterio de cruce seleccionado.

TABLA III  
CRITERIO DE CRUCE SELECCIONADO

x	y	Patrón de radiación después del cruce
Va desde el patrón de radiación 1 hasta el 8	Toma valores aleatorios entre el patrón de radiación 1 al 8	
<b>Antena 1:</b> $d_1 = 0.6$ $\beta_1 = 100$	<b>Antena 5:</b> $d_5 = 0.5$ $\beta_5 = 120$	<b>Cruce:</b> $d_1 = 0.6$ $\beta_5 = 120$

Cuando se realiza el intercambio de la fase y la distancia entre los patrones de radiación de las antenas, se procede a dibujar el nuevo patrón de radiación con las nuevas distancias y fases resultantes. Este patrón de radiación tendrá entonces la distancia de la antena 1 y la fase de la antena 2.

La Fig. 10 ilustra el cruce realizado entre la Antena Padre 1 con la Antena Padre 7. El patrón resultante de este cruce tiene la misma distancia que la de la Antena Padre 1 pero con la fase de la Antena Padre 7.

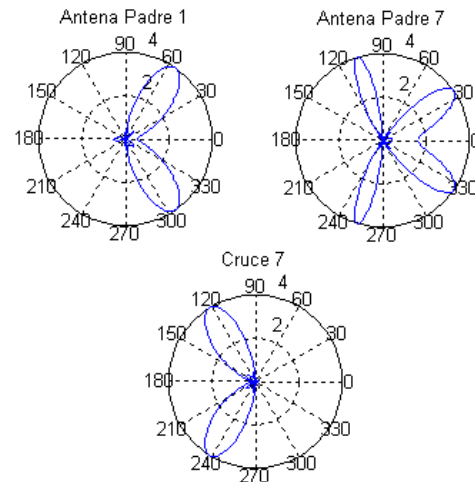


Fig. 10. Representación de dos antenas padres y su respectivo cruce.

### C. Operador de mutación

El operador de mutación va a ser ejecutado en los 8 patrones de radiación resultantes del cruce. La mutación consiste en realizarles cierta o ciertas modificaciones en algún parámetro a los patrones de radiación de la segunda generación.

El criterio de mutación elegido, consiste en agregarle un valor de 0.2 a la distancia entre los elementos del arreglo. La Tabla IV explica con un ejemplo como es el proceso de mutación en un patrón de radiación.

TABLA IV  
PROCESO DE MUTACIÓN EN UN PATRÓN DE RADIACIÓN

PATRÓN DE RADIACIÓN	PATRÓN DE RADIACIÓN MUTADO
$D1 = 0.57$	$D1 = 0.57 + 0.2 = 0.72$

Cuando la mutación de la distancia entre los elementos del arreglo de los 8 patrones de radiación está hecha se procede a graficar los patrones de radiación con las nuevas distancias resultantes.

La Fig. 11 ilustra la mutación realizada al patrón de radiación del cruce 20. Este cruce resulta del intercambio de información entre la Antena Padre 3 y la Antena Padre 4.

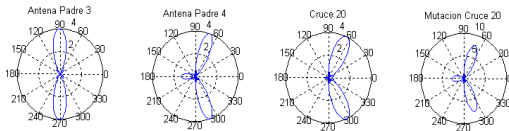


Fig. 11. Proceso por el cual atraviesa una antena tratada con algoritmos genéticos. (Cruce entre padres y mutación).

#### D. Operador de selección

El criterio de selección utilizado se basa en la ganancia de los patrones de radiación. Por consiguiente, en primer lugar se calcula la ganancia de los 8 patrones de radiación mutados. Este criterio que se definió previamente, consiste en seleccionar un patrón de radiación que tenga una ganancia promedio entre los 26 y 27 dB.

Si se encontró el patrón de radiación que se desea con esta ganancia, el algoritmo llegará a su fin; pero por el contrario si no se encontró el patrón de radiación requerido, el algoritmo volverá a realizar los mismos pasos ya descritos desde el punto de cruce, es decir volverá a cruzar los 8 patrones de radiación padres, para obtener una nueva generación; aplicará a éstos el criterio de mutación y de selección, y si se obtiene el patrón de radiación requerido con la ganancia deseada, llegará a su fin, pero si no se tiene hará de nuevo el mismo proceso, hasta que el requerimiento del programa se cumpla.

La Fig. 12 ilustra el patrón de radiación que cumple el criterio de selección definido.

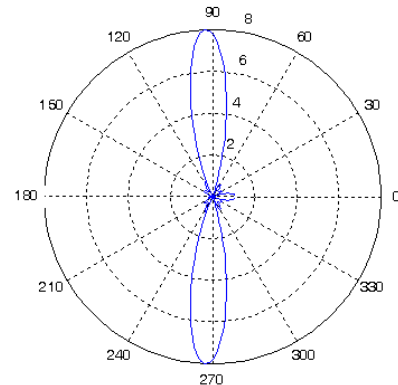


Fig. 12. Patrón de radiación de la antena seleccionada.

Gracias a la buena definición de los operadores genéticos (cruce, mutación y selección), se encontró el patrón de radiación que cumplía con el criterio que previamente se había definido.

Para encontrar información más detallada respecto al desarrollo planteado y realizar la descarga de los archivos de este proyecto, puede ingresar al sitio web: [www.tutorialalgoritmosgeneticos.co.cc](http://www.tutorialalgoritmosgeneticos.co.cc)

### XIII. CONCLUSIONES

Tras realizar el análisis comparativo entre la programación habitual y los algoritmos genéticos, se identificaron correctamente las ventajas y desventajas que ofrece la utilización de los algoritmos genéticos, entre ellas, la capacidad de trabajo en forma paralela, la utilización de variables continuas y discretas, la opción de resolver un problema sin poseer un conocimiento específico sobre un tema, la posibilidad de brindar no solo una única solución a un problema, sino un listado de parámetros óptimos para resolverlo, entre otros.

Es necesaria la utilización de un lenguaje de programación robusto que sea tolerable a los continuos cambios aleatorios que ejecutan cada una de las instrucciones debido a los operadores genéticos aplicados con el fin de que no se produzcan errores fatales constantemente y también para evitar resultados sin sentido.

Los problemas denominados como “no lineales”, es decir, aquellos donde cambios múltiples que, individualmente, son perjudiciales, en combinación pueden conducir hacia una solución óptima en todo el sistema, son los ideales para abordar por medio de algoritmos genéticos, gracias a la facultad de paralelismo implícito que estos poseen para encontrar un enorme número de posibilidades.

Una buena definición de los operadores genéticos permite la ejecución óptima de del programa realizado. De no ser así, se deben esperar resultados que no demuestran el verdadero potencial que puede llegar a tener la solución de problemas utilizando algoritmos genéticos.

No se debe utilizar algoritmos genéticos para la solución de problemas que pueden resolverse de manera analítica, debido a que los métodos analíticos tradicionales consumen mucho menos tiempo y potencia computacional que los algoritmos genéticos.

En el caso de la utilización de algoritmos genéticos para encontrar un parámetro de optimización de un arreglo de antenas, debido al trabajo de los mismos por medio de métodos heurísticos, es necesaria la intervención humana para afinar algunos parámetros que están involucrados con ellas, sin embargo los resultados obtenidos fueron muy prometedores y es por eso se invita a seguir un estudio posterior para así desarrollar un sinnúmero de aplicaciones basadas en algoritmos genéticos.

#### REFERENCIAS

- [1] S.H. Sumathi, "Evolutionary Intelligence: An Introduction to Theory and Applications with Matlab", Ed. Springer, 2008.
- [2] D.E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machina", 1989.
- [3] R.L. Haupt, "Genetic Algorithms in Electromagnetic", Ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007.
- [4] M. Mitchel, "An Introduction to Genetic Algorithms (Complex Adaptive Systems)", 2nda ed., 1998.
- [5] W. Annicchiarico, "Algoritmos de optimización estructural basados en simulación genética", Ed. Illustrated, 1996.
- [6] C.A. Balanis, "Antenna Theory, Analysis and Design", 3era ed., Ed. Wiley Interscience, 2005.
- [7] E. Pérez, "Comunicaciones I: señales, modulación y transmisión", vol. 1, 2001.