

# GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS PARA UN ROBOT MÓVIL EMPLEANDO REDES NEURONALES

## Path Generation for a Mobile Robot using Neural Networks

### RESUMEN

En este artículo se presenta una metodología de navegación de robots móviles en ambientes estructurados, utilizando Redes Neuronales Artificiales del tipo propagación hacia atrás. Para la generación de la trayectoria óptima se realiza la clasificación de superficies típicas de ambientes de robótica móvil, utilizando la base de datos obtenida de un anillo de sensores ultrasónicos. Se diseñan las interfaces gráficas, tanto para generar las bases de datos de las superficies, como para generar la trayectoria óptima que le permita al robot desplazarse de un punto inicial a un punto final llamado objetivo.

**PALABRAS CLAVES:** Interfaz Gráfica, Redes Neuronales, Robótica Móvil.

### ABSTRACT

In this paper a methodology for navigation of a mobile robot in structured environments is presented. This methodology uses backpropagation neural network- to generate the optimal trajectory based of previously classification of typical surfaces of robotics environments. For the classification to use a database obtained from a ring of ultrasonic sensors. The graphical interfaces is designed, both to generate databases of surfaces, such as to generate the optimal trajectory that allows the robot to move from a starting point to goal point.

**KEYWORDS:** Graphical interface, Mobile robot ,Neural network.

### 1. INTRODUCCIÓN

La utilización de técnicas Inteligentes como Redes neuronales (NN), algoritmos genéticos (GA), Lógica difusa (FL),etc, para la solución de problemas de robótica móvil es un tema de investigación abordado por muchos grupos, en los actuales momentos[1],[2]; cada una de estas técnicas tiene de manera individual características propias para la solución de determinado tipo de problemas, que le permiten obtener a unas mejores resultados, que a otras. La complejidad de los problemas de robótica móvil hacen muy atractivo la combinación de éstas, es así como los sistemas híbridos producto de la combinación de diferentes técnicas permiten la solución de problemas complejos con muy buenos resultados.

Una de las características básicas de una plataforma móvil es la capacidad de navegar autónomamente en ambientes no estructurados y/o inexplorados [3], [4].

Típicamente los Robots Móviles tienen la habilidad de operar y moverse libremente sin intervención humana [5], [6].

Dada las complejas características de los entornos de trabajo de los robots móviles (Entornos difíciles de modelar con comportamientos impredecibles), así como

la ambigüedad e incertidumbre de la información obtenida del entorno, a través de los diferentes sensores de éste, hacen de las técnicas inteligentes una herramienta de gran potencia para la solución de dichos problemas.

El principio general de la navegación autónoma es simple:

Sensar → Mapear → Generar un Plan → Actuar

A esta estrategia se le denomina SMPA.

La generación óptima de trayectorias, surge allí donde el robot móvil debe reaccionar de manera inteligente ante los eventos dinámicos del entorno, especialmente en aquellos entornos de características desconocidas.

Los robots deben operar de manera similar a los animales y humanos, que por su inteligencia tienen la capacidad de enfrentar la incertidumbre de los sensores, los ambientes inciertos y los cambios dinámicos de éstos [1], [7].

Una de las técnicas más utilizadas por los investigadores para implementar estrategias de navegación son las redes neuronales artificiales, las cuales permiten implementar esquemas de navegación inteligente, que aseguran un buen comportamiento, sin necesidad de un modelo previo, utilizando una base de datos confiable.

### LUÍS HERNANDO RIOS G.

Ingeniero Electrónico, M. Sc.  
Profesor Titular  
Universidad Tecnológica de Pereira  
lhgonza@utp.edu.co

### MAXIMILIANO BUENO L.

Ingeniero Electricista, M. Sc.  
Profesor Catedrático  
Universidad Tecnológica de Pereira  
max@ohm.utp.edu.co

### SANTIAGO SANCHEZ A.

Ingeniero Electricista  
Profesor Catedrático  
Universidad Tecnológica de Pereira  
ssa@ohm.utp.edu.co

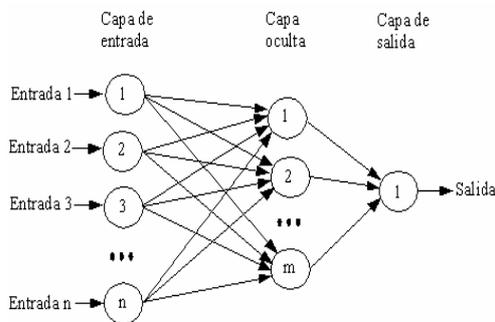
En este artículo se presenta una metodología de navegación de robots móviles en ambientes estructurados, utilizando Redes Neuronales Artificiales del tipo backpropagation. La utilización de las RNA se hace tanto para la clasificación de las diferentes superficies del entorno de trabajo del robot móvil, como para la generación de la trayectoria óptima de este a través de dicho entorno, permitiéndole el desplazamiento desde un punto inicial hasta un punto final, denominado objetivo. El modelo de percepción parte de la información obtenida de un anillo de sensores de ultrasonidos, que le permite al robot extraer características y clasificar superficies del entorno como : Pared Derecha, Pared Izquierda, Frente, Centro, Esquina Derecha, Esquina Izquierda,, etc, El proceso de clasificación de estas superficies se hace utilizando una RNA. A partir de la información suministrada por la RNA, se decide cual es la trayectoria óptima que debe seguir el robot móvil. El proceso de navegación se hace utilizando el sistema Neurodifuso.

## 2. REDES NEURONALES.

Dentro de una red neuronal, los elementos de procesamiento se encuentran agrupados por capas, una capa es la de colección de neuronas, de acuerdo a la ubicación de la capa en la RNA, esta recibe diferentes nombres:

capa de entrada, capa oculta y capa de salida .

Esquema de una red neuronal.



En nuestra aplicación se trabajó con la red neuronal Backpropagation que es un tipo de red de aprendizaje supervisado, que emplea un ciclo de propagación – adaptación de dos fases. Una vez que se ha aplicado un patrón a la entrada de la red como estímulo, este se propaga desde la primera capa a través de las capas superiores de la red, hasta generar una salida. La señal de salida se compara con la salida deseada y se calcula una señal de error para cada una de las salidas. Las salidas de error se propagan hacia atrás, partiendo de la capa de salida, hacia todas las neuronas de la capa oculta que contribuyen directamente a la salida. Sin embargo las neuronas de la capa oculta solo reciben una fracción de la señal total del error, basándose aproximadamente en la contribución relativa que haya aportado cada neurona a la

salida original. Una señal de error que describa su contribución relativa al error total. Basándose en la señal de error percibida, se actualizan los pesos de conexión de cada neurona, para hacer que la red converja hacia un estado que permita clasificar correctamente todos los patrones de entrenamiento.

La importancia de este proceso consiste en que, a medida que se entrena la red, las neuronas de las capas intermedias se organizan a sí mismas de tal modo que las distintas neuronas aprenden a reconocer distintas características del espacio total de entrada [8], [9].

### 2.1 Estructura de la Red.

El algoritmo Backpropagation es una generalización del algoritmo LMS, ambos algoritmos realizan su labor de actualización de pesos y ganancias con base en el error medio cuadrático. La red trabaja bajo aprendizaje supervisado y por tanto necesita un arreglo de entrenamiento que le describa cada salida y su valor de salida esperado

### 2.2 Redes Neuronales en Robótica Móvil.

Las redes neuronales tienen varias aplicaciones en el área de robótica móvil. Se han implementado esquemas de control inteligente empleando algunos modelos de tipo inverso que son obtenidos a partir del trabajo con redes neuronales [5]. En [6] se describe una red neuronal modelada para la navegación reactiva de un robot móvil a través de comportamientos, los comportamientos definidos son: parar, evadir un obstáculo y seguir una pared. Para el diseño se emplean un conjunto de sensores de proximidad distribuidos en la periferia del robot, se utiliza una red del Tipo Backpropagation debido a la rapidez con que el error en estas redes es llevado a 0. En el grupo GIROPS se han desarrollado algunos trabajos que incluyen la clasificación de superficies empleando redes neuronales [7], esto permite a un robot móvil crear una idea del lugar donde se encuentra y posteriormente elegir un camino a seguir. En [8] se presenta la implementación de una estrategia de autoguiado de un robot móvil en entornos desconocidos empleando como núcleo de decisión una red neuronal, se ha desarrollado un entorno en MATLAB para la generación de trayectorias de entrenamiento, el entrenamiento propiamente dicho y la simulación de la red, además en la fase de desarrollo se han tenido en cuenta las peculiaridades del microbot PICBOT3, microbot sobre el que se implementa la red neuronal. En [9] se muestra una metodología para navegación de robots móviles a través de comportamientos, el objetivo es desarrollar métodos de programación que permitan diseñar sistemas expertos los cuales son utilizados en robots semi-autónomos, a través de redes neuronales se realiza la implementación deseada, y la base de datos para el entrenamiento de la

red se genera empleando un mouse-driven, un joystick y una PDA (PalmPilot).

Dentro de las redes neuronales existen también subdivisiones, una de estas son los sistemas CMAC que son ampliamente utilizados en el modelamiento de sistemas de control debido a su velocidad de entrenamiento [10], y junto con estos la contraposición a los sistemas ANFIS el P-CMAC [8].

Las redes neuronales ofrecen ventajas como aprendizaje, lo que indica que no es necesario conocer el sistema dinámico de la planta, sino el comportamiento que se quiere de ella. La relevancia de las redes neuronales en control radican en que se adaptan a los cambios de la planta, de esta manera tienen un comportamiento satisfactorio en plantas variables no lineales como es el caso de los robots móviles. Al adaptarse a los cambios de la planta, no se requiere conocer el sistema dinámico de la misma, sino que estas adaptan el controlador, aunque este entrenamiento es pesado computacionalmente.

### 3. REALIZACIÓN BASE DE DATOS. BASE DE DATOS PARA RECONOCIMIENTO DE SUPERFICIES.

Para esta base de datos se tomaron inicialmente las lecturas de los ocho sensores que componen el anillo, pero debido a las limitaciones propias de los sensores de ultrasonido cuando se utilizan para medición de distancia (Pobre direccionalidad, por tener un haz de sensibilidad muy ancho, velocidad de propagación del sonido, dependiente de la temperatura y la humedad, ruido especular, etc), lo cual puede ocasionar medidas de distancia incorrectas, manifestadas en falsas lecturas, que ocasionan errores de clasificación, se realizó una base de datos a partir del agrupamiento de los sensores del anillo en cuatro diferentes grupos. La figura 1 muestra el anillo de sensores ultrasónico utilizado para la adquisición de la base de datos y la distribución de los sensores en el anillo y los grupos seleccionados.

De cada uno de los grupos se considera la lectura del sensor que entrega una distancia máxima. La conformación de la base de datos se hizo a partir de la toma de la lectura de los sensores de diferentes superficies desde diferentes posiciones del robot.

#### 3.1 Clasificación de Superficies

Inicialmente se ha realizado el proceso de reconocimiento de superficies, empleando una red Neuronal del tipo Backpropagation, debido a las características de esta, para minimizar el error rápidamente.

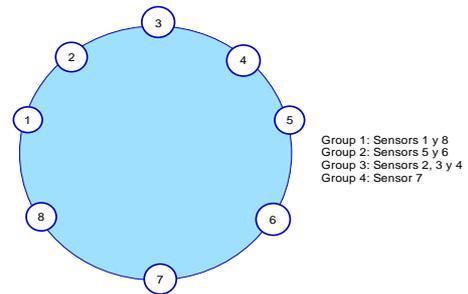


Figura 1. Distribución de los sensores en el anillo y el agrupamiento de éstos para realizar la clasificación.

La primera de las redes diseñada posee las siguientes características: Red Backpropagation, 4 capas ocultas, la primera con 12 neuronas, la segunda con 10 neuronas, la tercera con 8 neuronas y la cuarta con 2 neuronas. La función de activación empleada es del tipo tansig. La figura 2 muestra la disminución del error en el entrenamiento de la red.

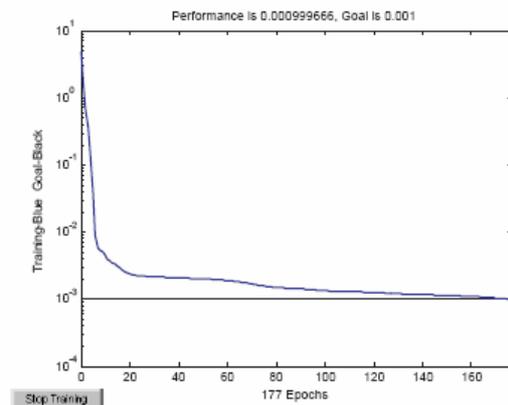


Figura 2. Error en el entrenamiento de red neuronal para clasificación de superficies

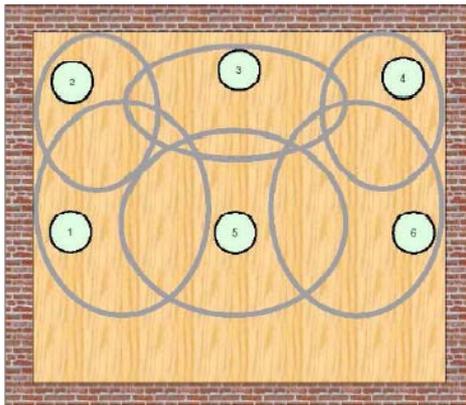


Figura 3. Superficies Clasificadas

La base de datos se ha organizado en un arreglo de 8 columnas que corresponden a la lectura de cada uno de los sensores, y 114 filas que corresponden al número de lecturas tomadas. Se ha realizado una prueba con diferentes valores que corresponden a las superficies de interés.

Todos los datos han sido clasificados correctamente, lo que indica que en la clasificación de superficies, la red neuronal tiene una efectividad del 100%.

La figura 3 muestra cada una de las superficies consideradas. Los números al interior de cada uno de los círculos tienen el siguiente significado:

1. Pared Izquierda (PIZ).
2. Esquina Izquierda (EIZ).
3. Frente (FRN).
4. Esquina Derecha (EDE).
5. Centro (CNT).
6. Pared Derecha (PDE).

Las elipses alrededor de cada uno de los círculos indican el alcance aproximado de cada tipo de superficie, y representan el nivel de pertenencia aproximado de un dato a cada clase, en los diferentes casos se presentan traslapes en las lecturas, esto origina errores en la clasificación.

### 3.2 Generación de Trayectorias

Para la generación de trayectorias se implementó una interfaz gráfica( ver figura 4), cuyo objetivo es generar una base de datos con la cual se entrenara la red neuronal para que el robot móvil pueda desplazarse desde un punto inicial a un punto final previamente establecidos. Para el entrenamiento de la red se requiere definir los siguientes parámetros:

- Coordenadas iniciales y finales.
- Número de trayectorias a generar.
- Ángulo de corrección inicial

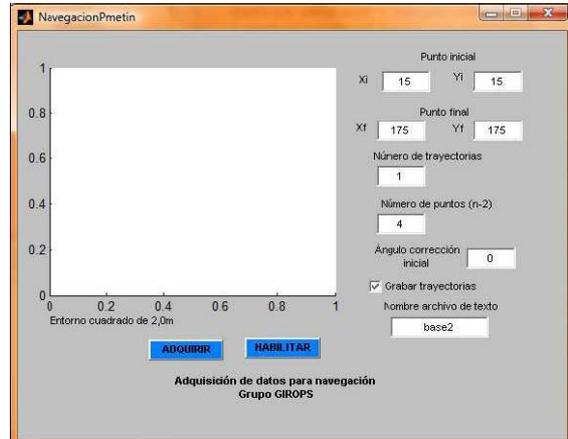


Figura 4. Interfaz para generación de base de datos empleada en la navegación de un robot móvil

El número de trayectorias a generar permite generar una base de datos completa, para entrenar la red neuronal, lo cual permitiría a esta una mejor selección de la trayectoria óptima. En la figura 5 se muestra una de las trayectorias generadas y en la figura 6 se presenta un entorno con 7 posibles trayectorias para llegar al objetivo.

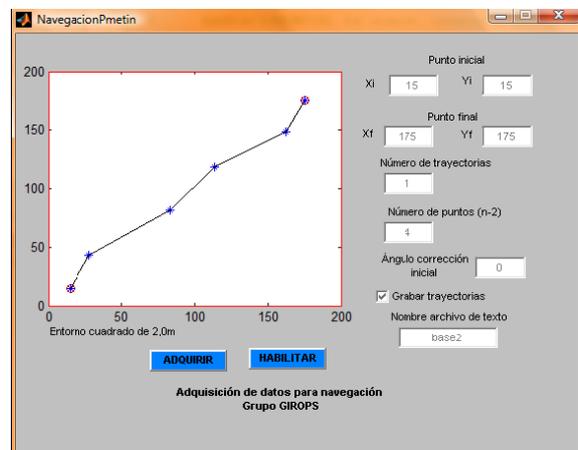


Figura 5. Trayectoria Generada

Con la base de datos generada se entrena una red neuronal, buscando que el robot móvil logre llegar desde un punto de origen a un punto objetivo. La figura 7 muestra la interfaz diseñada para el entrenamiento de la red y la generación de la trayectoria óptima realizada por esta.

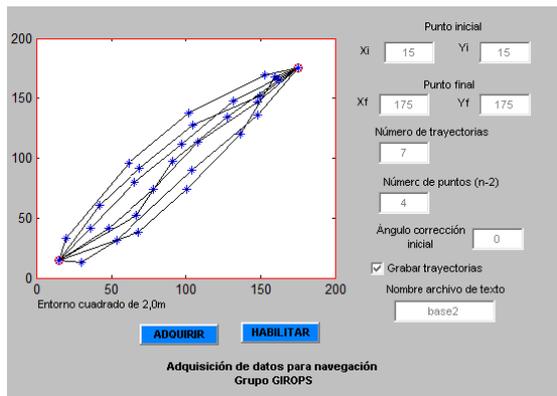


Figura 6. Siete posibles Trayectorias Generadas

En las figuras 8, 9 y 10 se presentan tres posibles caminos que entrega la red para alcanzar el objetivo deseado.

En las figuras 11 y 12 se presenta una nueva base de datos generada para dos puntos diferentes. En las figuras 13 y 14 se muestra la trayectoria generada por la red neuronal a partir del entrenamiento realizado con la base de datos obtenida.

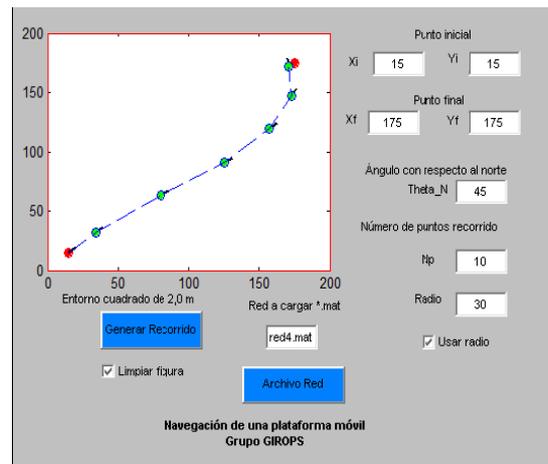


Figura 9. Segunda Trayectoria Generada

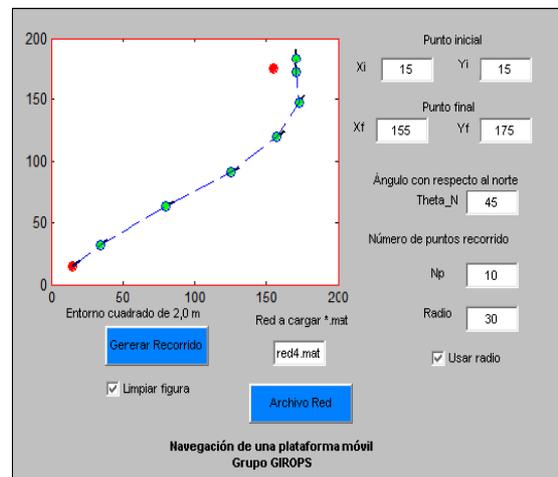


Figura 10. Tercera Trayectoria Generada

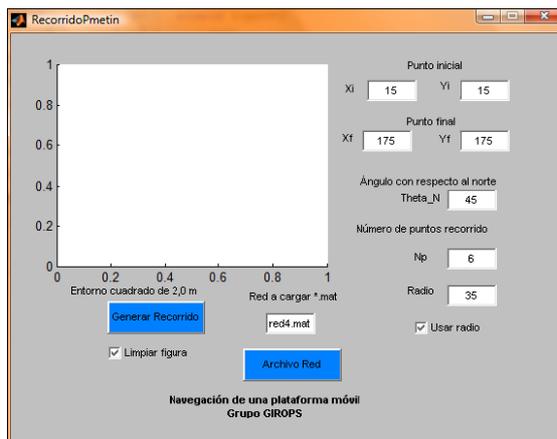


Figura 7 Interfaz para generación de trayectorias

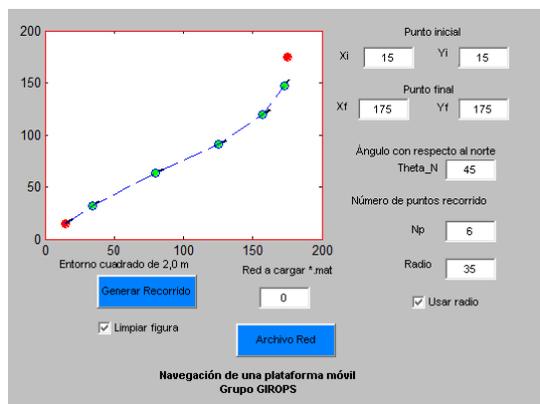


Figura 8 Primera Trayectoria Generada

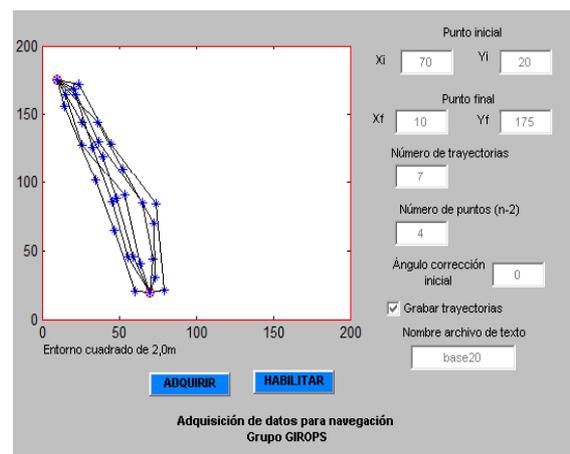


Figura 11. Prueba a interfaz para generación base de datos

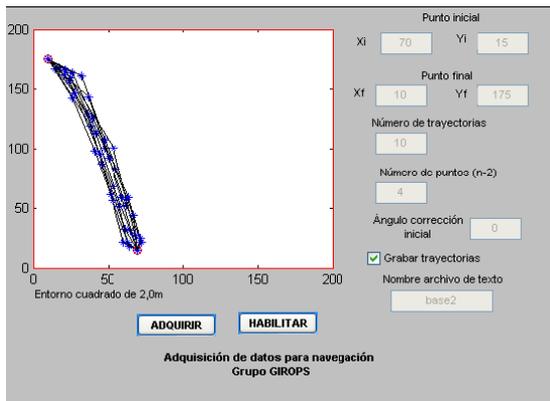


Figura 12. Prueba a interfaz para generación base de datos

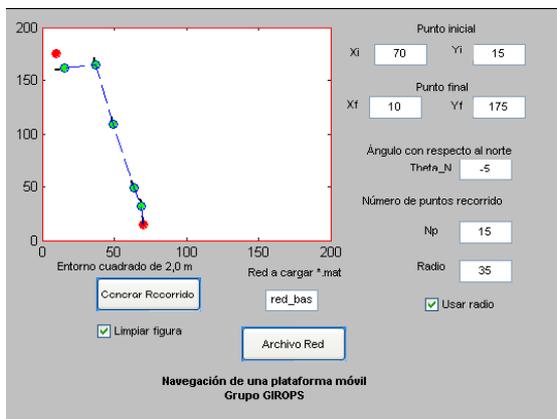


Figura 13. Prueba a interfaz para generación de trayectoria

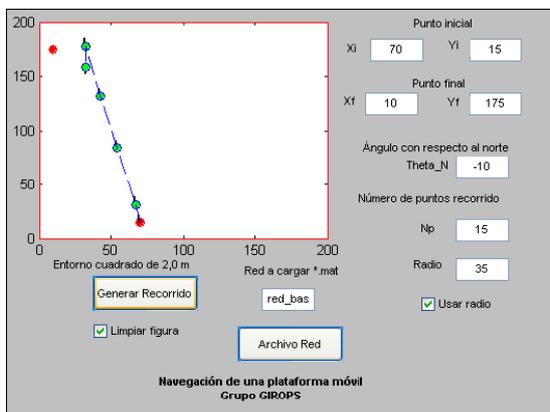


Figura 14 Prueba a interfaz para generación de trayectoria

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el trabajo realizado se muestra la potencialidad de las Redes Neuronales Artificiales para la solución de problemas de Robótica Móvil.

Se comprobó la efectividad de las redes neuronales en la clasificación de superficies de robótica móvil. De las superficies clasificadas se obtuvo una eficiencia del 97%. Se contribuye a la navegación de vehículos móviles en ambientes dinámicos, dotados de alto grado de autonomía, posibilidades de planeación y generación óptima de trayectorias.

Es importante resaltar que los resultados obtenidos, tanto en clasificación como en navegación se pueden mejorar implementando una nueva base de datos, que incluya casos no considerados hasta ahora.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. B. Elena López, Rafael Barea and M. Escudero, "Aplicación del método de Markov a la localización de un robot móvil en entornos interiores," 2002, Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá.
- [2] J. T. G. Marichal and L. Acosta, "A neuro fuzzy method applied to the motors of a stereovision system," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 39, no. 8, 2006.
- [3] S. L. Valle, *Planning Algorithms*. University of Illinois: Prentice Hall, 2006.
- [4] E. V. Rodríguez, "Aprendizaje evolutivo de reglas fuzzy en un sistema clasificador modificado para control de agentes móviles," Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica de Valencia, 2004.
- [5] R. Alonso, "Aplicación de un sistema de control de navegación para un robot móvil usando una red neuronal entrenada por el sistema de adiestramiento supervisado caso: redes de retropagación," 2005, Universidad Tecnológica del centro. Venezuela.
- [6] M. E. Zalama and J. Perán, "Neural network for the behavioral navigation of a mobile robot," 1998, department of control Systems Engineering. University of Valladolid.
- [7] Bueno Maximiliano, Ríos Luis and S. Sánchez, "Procesamiento de señales ultrasónicas para la clasificación de superficies," 2007, XII Simposio de Tratamiento de Señales, imágenes y visión artificial.
- [8] R. A. Roberto Guzmán and C. Martínez, "Autoguiado de robots móviles mediante redes neuronales," 2004, XXV Jornadas de Automática.
- [9] G. Chronis and M. Skubic, "Experiments in programming by demonstration: Training a neural network for navigation behaviors," 2000, Dept. of Computer Engineering and Computer Science. University of Missouri.
- [10] B. L. Jasmin Velagic and B. Perunicic, "A 3-level autonomous mobile robot navigation system designed by using reasoning/search approaches," *Elsevier. Robotics and Autonomous Systems*, vol. 54, no. 54, 2006.