

# Redes Neuronales Artificiales para Navegación Reactiva en Robots Móviles

Jonathan Villanueva Tavira  
 Centro Nacional de Investigación y  
 Desarrollo Tecnológico  
 Laboratorio de Sistemas Híbridos Inteligentes  
*Estudiante Posdoctoral*  
 villanueva.jonathan@ieee.org

David Caleb Moreno Alquicira  
 Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del  
 Estado de Morelos  
 División Académica de Mecánica Industrial  
 Laboratorio de Internet de las Cosas  
 20213mc155@utez.edu.mx

Andrea Magadán Salazar  
 Centro Nacional de Investigación y  
 Desarrollo Tecnológico  
 Laboratorio de Inteligencia Artificial  
 Profesor -Investigador  
 magadan@cenidet.edu.mx

Juan Gabriel González Serna  
 Centro Nacional de Investigación y  
 Desarrollo Tecnológico  
 Laboratorio de Sistemas Híbridos Inteligentes  
 Profesor -Investigador  
 gabriel@cenidet.edu.mx

Roberto Ávila Trujillo  
 Universidad Tecnológica Emiliano Zapata del  
 Estado de Morelos  
 División Académica de Mecánica Industrial  
 Laboratorio de Internet de las Cosas  
[20213mc120@utez.edu.mx](mailto:20213mc120@utez.edu.mx)

Rosendo M.J. Vargas Valle  
 Universidad Tecnológica Emiliano  
 Zapata del Estado de Morelos  
 División Académica de Mecánica  
 Industrial  
 Laboratorio de Internet de las Cosas  
 rosendovargas@utez.edu.mx

**Abstract**— Nowadays, the mobile robots can be seen in different fields of engineering. These robots use robot navigation strategies can be divided in two approaches: reactive navigation and local navigation. In this paper, we presented an artificial neural networks controllers for reactive navigation.

**Keywords**—Robotics, Artificial Neural Networks, Mobile Robotics .

## I. INTRODUCCIÓN

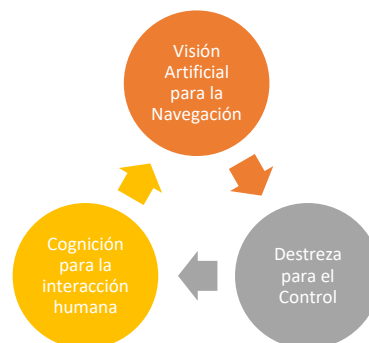
La Robótica ha sido siempre un área de mucho interés para toda la sociedad. Esta disciplina a través de la historia ha generado expectativas y ha sembrado mitos incluso muchos años antes de la Edad Media como: los argonautas, el robot gigante Talos, la tecno-bruja Medea, el hombre artesano Dédalo, así como el portador de fuego Prometeo y Pandora. Sin embargo, todos estos personajes e ideas por crear la vida artificial personifican el concepto de seres autómatas con inteligencia artificial [1].

Por otro lado, en la mitología judía podemos encontrar la leyenda del gigante llamado Golem, un ser artificial creado mediante materiales como la arcilla y el barro de forma antropomorfa. Construido con la finalidad de proteger al pueblo judío, Golem cada día se volvía más fuerte y su creador tenía que darle instrucciones muy precisas, ya que, en algunas ocasiones, se le asignaba tareas como recolectar leña y por no precisar la cantidad exacta, Golem podría talar un bosque completo. Era un ser muy fuerte, que no tenía la capacidad de hablar, lento y torpe en sus movimientos. El Golem funcionaba a partir de instrucciones escritas en su frente, como lo son hoy las líneas de código capturadas en algún lenguaje de programación. Bastaba con escribir la palabra “EMET” (palabra que en hebreo significa vida) para que se moviera y cuando se deseaba apagar se borraba la primera letra se la palabra escrita en su frente, obteniendo la palabra “MET” (muerte en hebreo), que apagaba inmediatamente al gigante [2].

En la actualidad, inspirados en las leyendas mitológicas y aprovechando los avances tecnológicos, la robótica de asistencia y servicio busca la forma de diseñar y programar máquinas que sirvan de apoyo en diferentes áreas estratégicas de países de primer mundo en diferentes áreas como: la

agricultura, la construcción, la medicina, el deporte, el entretenimiento y el hogar por mencionar algunas. Sin embargo, aún existen algunos desafíos tecnológicos que conllevan a realizar investigación en tres líneas principalmente: la visión para la navegación, la destreza para el control y la cognición para la interacción humana [3] (Ver Figura 1). La presencia de los robots de asistencia y servicio ha avanzado hasta un punto que los están supliendo a personas en algunas labores simples trayendo consigo múltiples ventajas reduciendo costos y aumentando la eficiencia en los trabajos.

Los robots de asistencia y servicio cuentan con un gran campo de aplicación en la vida cotidiana de las personas, tanto así que actualmente en algunos países desarrollados tecnológicamente como Japón y Corea del sur se han empleado robots de asistencia y servicio para cubrir trabajos simples en la industria o para ayudar a las personas en tareas de la vida cotidiana [3].



**Figura 1.** Desafíos Tecnológicos de los robots de asistencia y servicio [3].

Sin embargo, existe la necesidad de que los robots realicen tareas inteligentes realizando la planificación de ruta como un problema común a resolver para la navegación de robots. Es importante mencionar que los robots tienen que moverse a su posición inicial y final a través de la evasión de obstáculos.

De acuerdo a la naturaleza del entorno, la planificación de las rutas la podemos dividir en dos tipos: estática y dinámica [4]. La navegación podemos definirla como el proceso de dirigir un vehículo para llegar a un destino previsto según el estándar IEEE 172-1983 [5]. La navegación también la podemos dividir en dos tipos: navegación global y local. Para la navegación global se tiene que contar con información del entorno, lo cual también es llamado modo fuera de línea para la planificación de rutas, por ejemplo: el algoritmo Dijkstra, A\*, gráfico de visibilidad, método del campo potencial artificial y el método de descomposición celular. En lo que concierne a la navegación local, también conocido como modo en línea para la planificación de rutas en el que robot decide su posición y orientación y puede controlar su movimiento empleando sensores como ultrasónicos, infrarrojos, láser y sensores de visión [4].

## II. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT

En primera instancia se procedió a diseñar el robot y su chasis en un programa de diseño asistido por computadora (CAD). Este robot es de tracción diferencial, es decir, cuenta con transmisión de dos ruedas independientes, junto con dos ruedas locas que permiten mantener el equilibrio del robot. Dentro del mismo chasis se prioriza la colocación y ubicación de los sensores. La colocación de los sensores permite que el robot tenga un desplazamiento adecuado, evitando colisiones y errores que produzcan comportamientos no deseados al momento de la navegación reactiva. En las figuras 2 y 3 se muestra el ensamblaje digital dentro de SolidWorks de las piezas diseñadas del prototipo del robot.



Figura 2. Chasis diseñado.



Figura 3. Chasis diseñado.

Para la elaboración de este prototipo se emplearon los siguientes componentes electrónicos:

TABLA I.

Cantidad	Componente
3	Sensores Ultrasónicos
6	Sensores Láser
1	Raspberry Pi Pico
1	Multiplexor
2	Driver para Motores
2	Encoders
1	Bateria Lipo 7.4 V

## III. COMPONENTES ELECTRÓNICOS

En lo que corresponde a la parte electrónica se diseñó un circuito impreso con el apoyo del programa EasyEDA para la conexión de los componentes electrónicos. El realizar la unión de los circuitos en un PCB, permite que la interacción de los componentes se lleve de manera adecuada (Ver Figura 4 y 5).

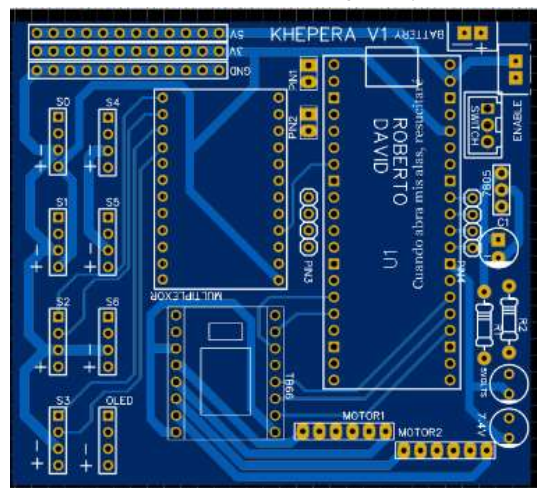


Figura 4. Diseño del circuito impreso (PCB).

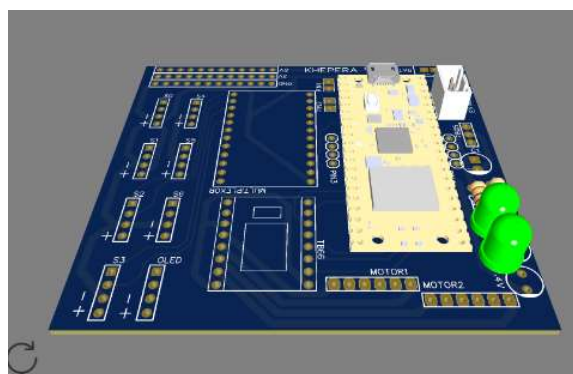


Figura 5. Diseño del circuito impreso (PCB).

En la figura 6 se observa un diagrama electrónico de la placa controladora del robot, así como en la figura 7 se muestra una imagen del circuito impreso finalizado con los componentes electrónicos ensamblados y listo para controlar los motores y leer los dos tipos de sensores con los que cuenta el robot. Se eligió a la Raspberry Pi Pico como la unidad central de control.

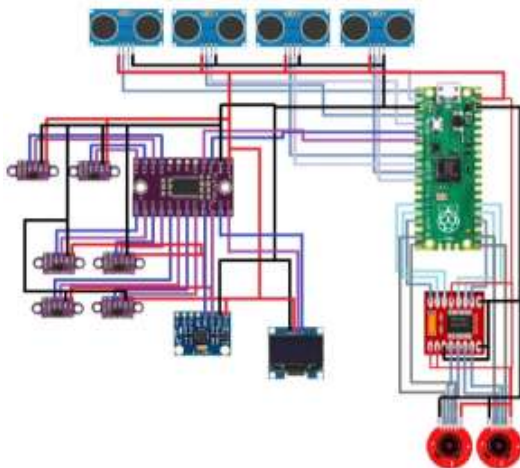


Figura 6. Diseño del circuito impreso (PCB).



Figura 7. Diseño del circuito impreso (PCB).

Finalmente, en la figura 7 y 8 se observa el circuito electrónico y el prototipo finalizado. Este robot fue inspirado en el robot Khepera, con la diferencia que fue elaborado con componentes electrónicos open source.



Figura 8. Robot Móvil completo ensamblado.

En la siguiente sección se abordará la parte del sistema de navegación reactiva mediante redes neuronales artificiales con la finalidad de comprobar el mejor algoritmo para la navegación del prototipo.

#### IV. NAVIGACIÓN REACTIVA

La Navegación reactiva, también llamada navegación local es aquella que se realiza a partir de las señales proporcionadas por los sensores del robot. En este caso se utilizó un controlador basado en redes neuronales artificiales [4]. Para los experimentos se emplearon 3 tipos de algoritmos para comparar el funcionamiento del robot en su navegación por un entorno controlado. A continuación se muestra la forma en que este tipo de controladores realizan su función. (Ver Figura 9).

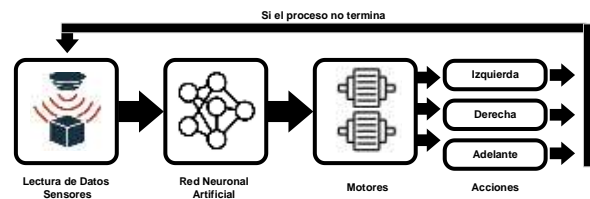


Figura 9. Navegación reactiva empleando redes neuronales artificiales.

A continuación, se presentan las pruebas y los resultados obtenidos a partir del uso de los algoritmos de:

- Perceptrón.
- Hopfield
- Backpropagation

**Perceptrón.** - La red neuronal artificial de tipo Perceptron fue inventada por el psicólogo Frank Rosenblatt en el año 1957. Su intención era ilustrar algunas propiedades fundamentales de los sistemas inteligentes. El perceptrón simple es capaz de asociar durante el proceso de aprendizaje,

patrones de entrada, representados por arreglos de valores numéricos continuos, con una salida binaria. El algoritmo de aprendizaje del Perceptron es de tipo supervisado, lo cual requiere que sus resultados sean evaluados y se realicen las modificaciones del sistema en caso de ser necesario, ya que finalmente los valores de los pesos son los que van a determinar el funcionamiento de la red neuronal artificial. Los valores de los pesos se pueden fijar o adaptar utilizando diferentes algoritmos de entrenamiento (Ver Figura 10 y) [6].

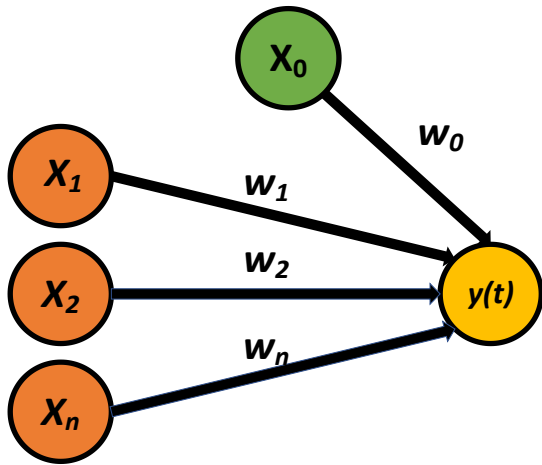


Figura 10. Red Neuronal Artificial tipo Perceptron.

**Hopfield.** – Este tipo de red neuronal artificial fue descrita por J.J. Hopfield en el año de 1982, mientras realizaba experimentos trabajando con el comportamiento magnético de los sólidos los cuales emplean dos estados (1 y -1). La topología de la red neuronal de Hopfield consiste en una red con una sola capa con N neuronas [7]. Cada neurona se encuentra conectada a todas las demás, pero no con ella misma. Los pesos asociados a las conexiones son simétricos [6]. En la figura 11 se puede observar la topología de la red neuronal artificial de Hopfield.

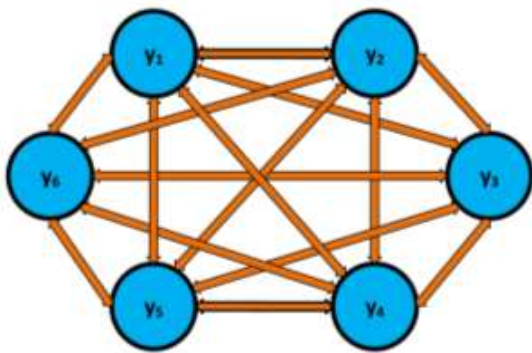


Figura 11. Red Neuronal Artificial de tipo Hopfield.

**Backpropagation.** - En 1986, Rumelhart, Hinton y Williams [8] basándose en los trabajos de otros investigadores [9] [10] formalizaron un método para que una red neuronal aprendiera la asociación que existe entre los patrones de entrada de la misma y las clases correspondientes. Es un método para

entrenar sistemáticamente una red neuronal artificial multicapa. Una de las características de este método es la representación interna del conocimiento que es capaz de organizar en la capa intermedia de las células para conseguir cualquier correspondencia entre la entrada y la salida de la red (Ver Figura 12).

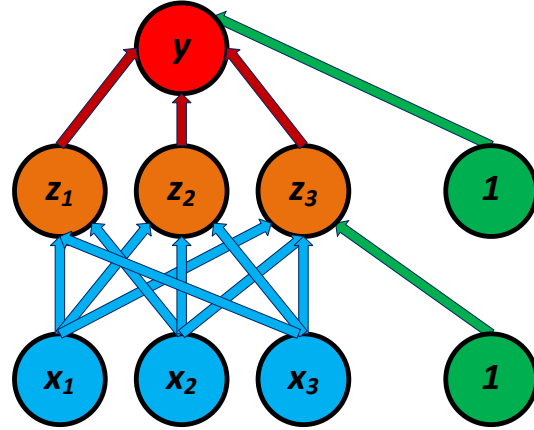


Figura 12. Red Neuronal Artificial de tipo Backpropagation.

## V. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS.

En esta sección se describen los experimentos y resultados obtenidos después de aplicar cada uno de los algoritmos anteriormente mencionados para la navegación reactiva de los robots móviles. Las pruebas fueron realizadas en un laberinto de 2.4 x 2.4 metros con la finalidad de verificar el enfoque con mejores resultados. En las figuras 13 y 14 se observa el laberinto empleado para las pruebas del robot en un ambiente controlado.

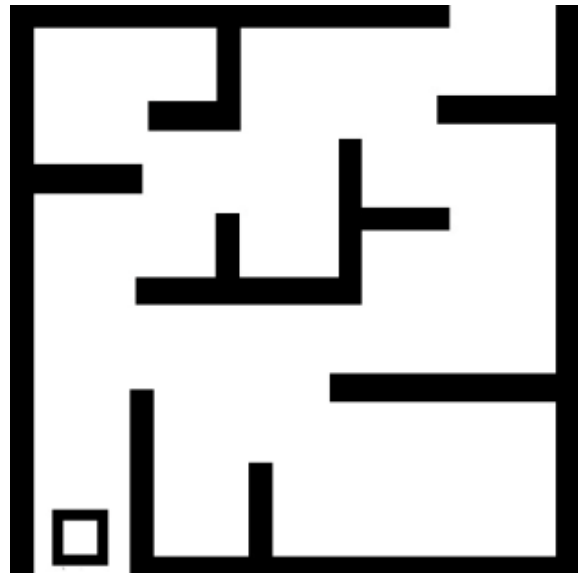


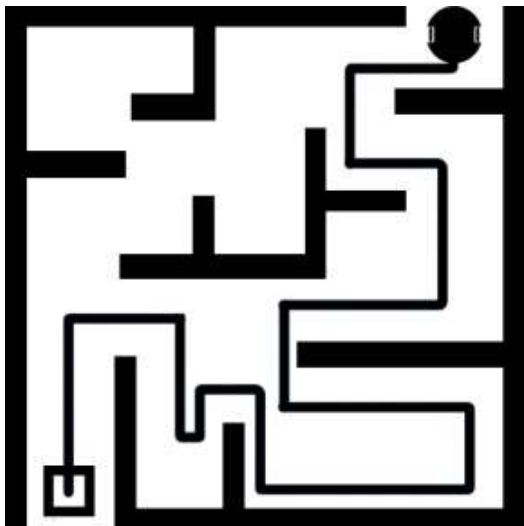
Figura 13.- Laberinto de Pruebas para la Navegación.



**Figura 14.-** Laberinto de Pruebas para la Navegación.

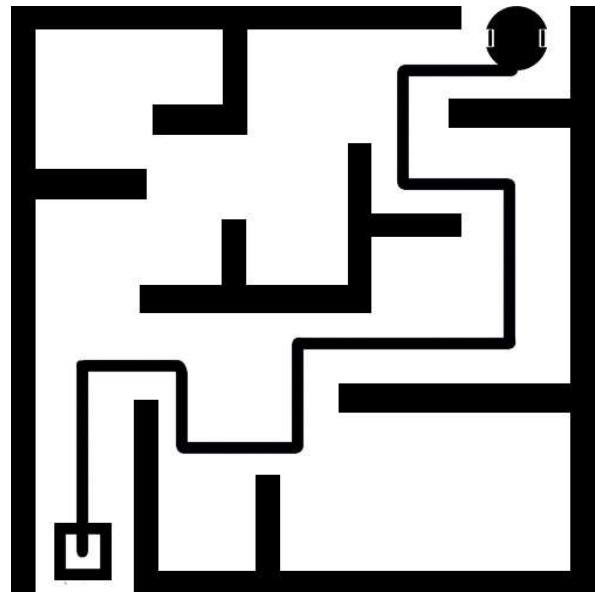
A continuación, se describen los resultados de las pruebas realizadas con los diferentes algoritmos de navegación reactiva. Para cada una de las pruebas se emplearon los tres diferentes algoritmos con la finalidad de comprobar el algoritmo con mayor desempeño para la navegación del robot móvil.

En lo que respecta a la prueba con el algoritmo del perceptron, esta red neuronal artificial fue entrenada con el programa MATLAB y con los datos provenientes de 6 sensores láser colocados en el robot. Además, la red se configuró con 4 neuronas de salida correspondientes para el control de los 2 motores. (Ver Figura 15).



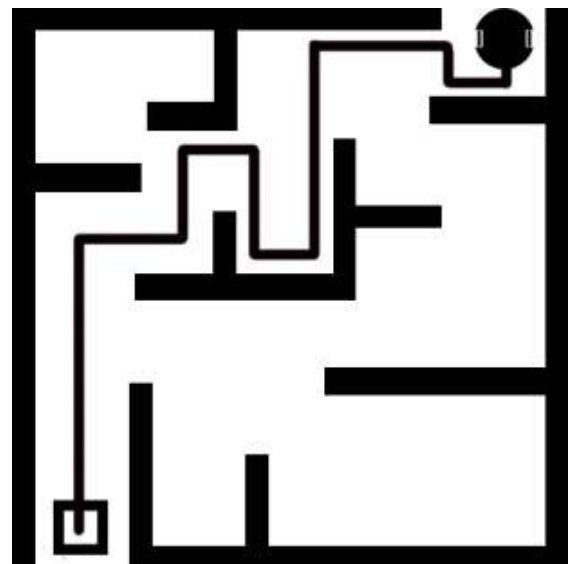
**Figura 15.-** Laberinto de pruebas para el algoritmo perceptron.

En lo concerniente al algoritmo Backpropagation se realizó el entrenamiento con el apoyo de la librería de Deep Learning Toolbox de MATLAB. Para ello la red diseñada constó de 6 neuronas en la capa de entrada, 5 neuronas en la capa oculta y 4 neuronas en la capa de salida. En la figura 16 se observa el comportamiento de la navegación reactiva con este algoritmo (Ver Figura 16).



**Figura 16.-** Laberinto de pruebas para el algoritmo Backpropagation.

Finalmente, se realizaron experimentos con un algoritmo distinto, de tipo no supervisado con la finalidad de observar la diferencia entre los algoritmos de redes de una sola capa o más. El algoritmo empleado fue el de la Red Neuronal Artificial de Hopfield con 4 neuronas donde cada una de ellas recibe el estímulo de cada uno de los sensores infrarrojos. (Ver Figura 17). En total se contemplaron 11 vectores con las lecturas provenientes de los sensores infrarrojos.



**Figura 17.-** Laberinto de pruebas para el algoritmo Hopfield.

Para finalizar, con las pruebas se realizó una tabla comparativa para visualizar cada uno de los parámetros utilizados en la etapa de las mismas.

TABLA II. CONFIGURACIONES DE LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES EMPLEADAS.

Red Neuronal Artificial	Neuronas de Entrada	Neuronas en la Capa Oculta	Neuronas en la Capa de Salida
Perceptron	6	NA	4
Hopfield	4	NA	NA
Backpropagation	6	5	4

En las figuras 17 y 18 se observa las topología resultantes del entrenamiento en MATLAB de las redes neuronales artificiales.

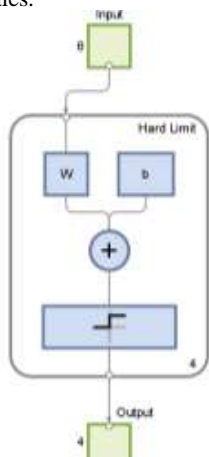


Figura 17.- Arquitectura de la Red Neuronal Artificial de tipo Perceptron.

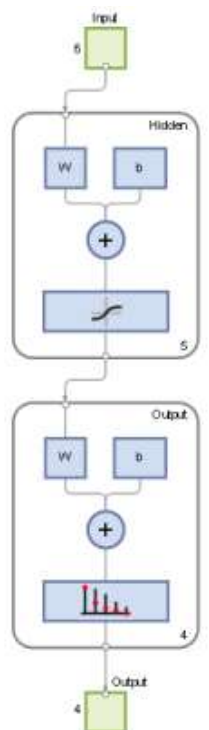


Figura 18.- Arquitectura de la Red Neuronal Artificial de tipo Multicapa entrenada con el algoritmo BackPropagation.

## VII. CONCLUSIONES

Para concluir se destaca que durante las pruebas la red neuronal artificial que presentó un mejor desempeño fue la entrenada con el algoritmo Backpropagation debido a que permite una mejor navegación y presentó una mayor tolerancia al ruido de los sensores infrarrojos.

## VIII. REFERENCIAS

- [1] Adrienne Mayor (2019), Dioses y Robots: Mitos, Máquinas y Sueños Tecnológicos en la Antigüedad, Desperta Ferros Ediciones.
- [2] Isaac Bashevis Singer (1983), Golem, el coloso de barro, Editorial Noguer.
- [3] Balaguer, C., Gimenez, A., Jardon, A., Cabas, R., Coreal, R. (2005) Live experimentation of the service robot applications for elderly people care in home environments, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS).
- [4] Faiza Gul,Wan Rahiman & Syed Sahal Nazli Alhady,"A comprehensive study for robot navigation techniques", Cogent Engineering (2019).
- [5] Peter Corke, "Robotics, Visión & Control", Springer 2017, ISBN: 978- 3-319-54413-7.
- [6] Hernando, José Ramón Hilera González y Victor José Martínez, Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos, Modelos y Aplicaciones, 1994, Editorial Ra-Ma.
- [7] Sivanandam, S N, Introduction to Neural Networks usign MATLAB 6.0, Mc Graw Hill Education, 2006.
- [8] Rumelhart 86] D.Rumelhart, G.Hinton y R.Williams. "Learning representations by back-propagating errors". Nature, 323, pp. 533-536, 1986. Reimpreso en el texto "Parallel Distributed Processing: Explorations in the microstructure of cognition. vol.1, Foundations" (D.Rumelhart y J.McClelland ed.), pp. 318-362, MIT Press, 1986. Reimpreso en el texto "Neurocomputing", MIT Press, 1988.
- [9] P.Werbos. "Beyond Regression: New tools for prediction and analisis in the behavioral sciences". Ph.D. Thessis. Harvard University, 1974.
- [10] D.Parker. "Learning logic". Invention Report, S81-64, File 1. Office of Technology Licensing, Stanford University, 1982.