

## **Análisis de Comportamientos de Vehículos de Braitenberg para la búsqueda robótica usando El Robot LEGO EV3**

### **Analysis of Behaviour of Vehicles Braitenberg search for using The Robot LEGO Robotics EV3**

Marcelo Saavedra Alcoba<sup>1</sup>  
msaavedra@doc.ulasalle.edu.bo

Mariela Gutierrez Callejas<sup>2</sup>  
mgutierrez@est.ulasalle.edu.bo

Luigi Enríquez Paz<sup>3</sup>  
lpenriquez@est.ulasalle.edu.bo

**Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología,  
Universidad La Salle Bolivia**

---

---

### **Resumen**

En el presente artículo se realiza el estudio del funcionamiento de dos diseños del conjunto de vehículos propuestos por Valentino Braitenberg en 1984, mediante la plataforma robótica LEGO EV3. Los vehículos estudiados son el comportamiento explorador y el temeroso, cada uno con características y configuraciones diferentes pero con un objetivo común, lograr evitar los obstáculos que se les presentan mientras se explora todo el ambiente. Para completar este proceso se puso una meta, es decir cuando el robot detecte una marca de un color la exploración finaliza. Se analiza el tiempo total por cada exploración realizada, esto con el fin de determinar cuál de las configuraciones es el más óptimo al momento de buscar un objeto en un ambiente determinado.

---

1 Marcelo Saavedra: Magister en Ciencias de la Ingeniería mención Eléctrica, Experto en Robótica y Visión Artificial, Ingeniero en Sistemas, Docente de la Universidad La Salle Bolivia carrera de Ing. de Sistemas

2, 3 Investigadores Junior del Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología, Universidad La Salle Bolivia

## **Palabras Claves**

Braitenberg, Comportamientos robóticos, Inteligencia Artificial, Robótica móvil, Vehículo.

## **Abstract**

In this article the study of the operation of two proposed designs set in 1984 by Valentino Braitenberg vehicles is done by LEGO robotics platform EV3. Vehicles studied are the browser behavior and fearful, each with different characteristics and configurations but with a common goal, achieving avoid obstacles that are presented as whole environment is explored. To complete this process set a goal, ie when the robot detects a mark of a color scan ends. The total time for each scan performed is discussed, that in order to determine which is the most optimal configurations when searching an object in a given environment.

## **Key words**

Braitenberg, Robotic Behavior, Artificial Intelligence, Mobile Robotics, Vehicle.

## **Introducción**

La búsqueda de objetos en la vida cotidiana es una de las tareas más fundamentales de los seres humanos. “Por esta razón, la tarea de buscar es una de las tareas más básicas que se espera de un robot” (Saavedra Alcoba & Enríquez Paz, 2015, p. 40). “Los problemas sobre búsqueda de rutas óptimas han sido muy estudiados en el área de la Inteligencia Artificial, pero buscar un objeto en un ambiente real es un trabajo más costoso ya que los objetos no siempre estarán al alcance del robot, y pueden estar ocluidos por otros objetos” (Burlington & Dudek, 1999, págs. 5-9) . Para este propósito los robots deben poseer la capacidad de percibir y representar el mundo de forma aproximada como lo hacen los seres humanos.

Por otro lado, los vehículos de Braitenberg (Braitenberg, 1984, p. 137-139): con comportamiento temeroso, agresivo, amistoso, explorador son experimentos mentales basados en movimientos de las plantas y animales cuando se acercan o se alejan por un estímulo. Lo interesante de un vehí-

culo de Braitenberg, son los dispositivos simétricos compuestos de dos entradas sensoriales frontales junto con dos ruedas traseras impulsadas por motores y una rueda loca (Rañó, 2014, p. 223-235) El vehículo se rige por un circuito que hace una conexión cruzada desde el sensor de la izquierda al motor derecho y el sensor derecho al motor izquierdo. Si se dispara el sensor de la izquierda, el motor derecho acelera el vehículo y circula girando a la izquierda; cuando el sensor izquierdo recibe la señal, el vehículo avanza girando a la derecha, hasta que el vehículo llega a la fuente del estímulo (González & Cases, 2006)

## 1. Estado del Arte

La búsqueda de objetos en un ambiente real es compleja, ya que el objeto a buscar no siempre estará visible. En el trabajo de Baeza-Yates et al., titulado “Searching in the Plane” (Baeza-Yates, Culberson, & Rawlins, 1993, págs. 234-252) se estudian exhaustivamente varias técnicas sobre búsqueda robótica con el objetivo de encontrar las más óptimas dentro de un ambiente plano. Los autores toman en cuenta que el ambiente es desconocido (quizás ilimitado) y además que existe un problema real respecto a la localización del robot. En los resultados obtenidos, los autores sugieren que una manera adecuada de realizar la búsqueda es a través de la aplicación continua de espirales logarítmicas. Posteriormente, Burlington y Dudek en su trabajo titulado “*Spiral search as an efficient mobile robotic search technique*” (Burlington & Dudek, 1999 p. 70-87 ) utilizan este método calibrando valores en la iteración de la búsqueda en espiral para los ejemplos en ambientes dentro de polígonos que pueden ser representados como pasillos, en las conclusiones ellos mencionan que la búsqueda mediante espirales es la forma más óptima de buscar si es que no hay obstáculos en el ambiente.

El desarrollo de robots para utilizarlos con fines educativos, tiene la intención de motivar y enseñar a niños y jóvenes. La robótica en el aula enriquece estrategias de aprendizaje como la colaboración, lo lúdico y el aprendizaje basado en problemas que apoyan la formación integral de los estudiantes. “El aprendizaje de la robótica puede lograrse desde dos puntos de partida diferentes: a partir de la conceptualización sobre robótica y/o a partir del diseño y construcción de aparatos robóticos” (Ramírez & Sosa,

2013 p. 43-63.) En los talleres actuales en el área de la robótica, los robots se utilizan para integrar la teoría con la práctica, ya que son modelos de aplicación multidisciplinaria que incluyen temas como sensores, controles, mecatrónica, cinemática y programación de conductas en el robot. De esta manera, los estudiantes se involucran en la teoría, pero también se ven enfrentados a los desafíos del mundo real donde se presentan errores y limitación por parte de los sensores y actuadores (Berry, 2010, p. 1-12). Uno de los mayores dilemas al momento de diseñar un curso, taller o proyecto de robótica, es la elección de la plataforma robótica a utilizar. Particularmente en Bolivia hace algunos años atrás no había muchas opciones sobre que plataformas a utilizar si se refiere a tener un robot físicamente, lo común para los estudiantes era reciclar componentes móviles (juguetes con ruedas) y armar circuitos con sensores obteniendo uno mismo su propia plataforma, obviamente los móviles quedaban con muchos “supuestos” y algunas fallas se descartaban. Actualmente ya existen algunas opciones en el mercado, entre ellas se tiene a Lego MindStorms y Arduino con sus distintos kits de plataforma móvil. Estos robots, se pueden utilizar para aprender conceptos y fenómenos importantes de la electrónica, computación y de las ciencias básicas.

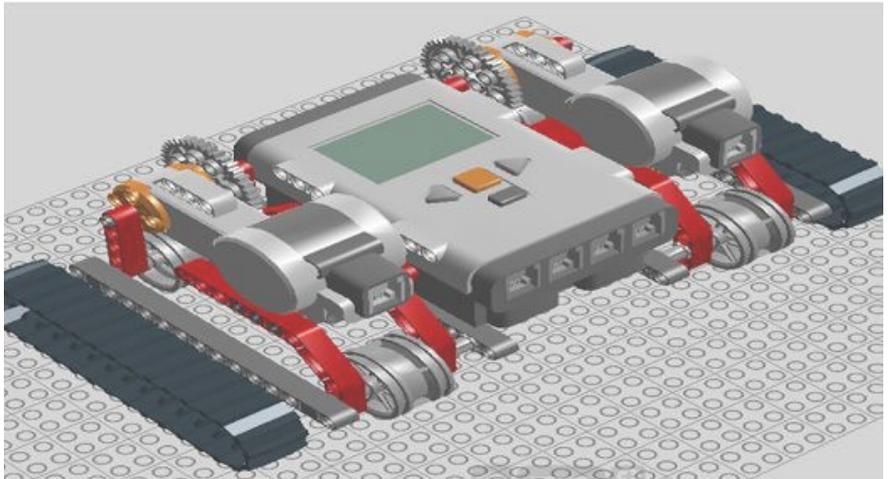
De estas plataformas mencionadas, la de Lego MindStorm (<http://www.lego.com/es-es/mindstorms>) es una de las más apropiadas para todos los niveles educativos. Con las piezas de MindStorm se pueden construir máquinas que simulan comportamientos de animales reales, a través de un aparato sensorial, por ejemplo, sensores sensibles a la luz o al calor, un sistema motor (tales como brazos mecánicos o ruedas controladas por motores) y un cerebro, representado por un programa informático que controla el sistema motor utilizando la información del aparato sensorial (Miglino, Lund, & Cardaci, 1999, págs. 25-48.).

En el libro titulado “Vehículos: Experimentos en Psicología Sintética”, se describen varios comportamientos ideados, que fundamentan la creación de vehículos y mecanismos de control simples que muestran comportamientos aparentemente complejos. El objetivo de estos experimentos era ilustrar algunos aspectos esenciales de la estructura interna del cerebro perteneciente a un animal. (Braitenberg, 1984, p. 137-139). Braitenberg propone que puede ser posible llegar a comprender varias cuestiones de la investigación psicológica por medio de la construcción de pequeños robots

móviles, denominando a estos 19 vehículos en términos de las personalidades humanas, que se observan en el comportamiento de éstos. Una parte muy importante que se describió fue la idea de introducir la creación de agentes que pueden moverse de forma autónoma por un entorno en los cuales la percepción y acción están directamente acopladas. Todos los vehículos de Braitenberg eran imaginarios y aunque no fueron diseñados para ser efectivamente fabricados, a las personas les resultó un ejercicio divertido e intelectualmente interesante crearlos para experimentar estos comportamientos (Kumar, 2008).

## 2. Modelado de un Robot Móvil Diferencial

Existen diferentes formas de clasificar a los tipos de configuraciones de robots móviles, tales como: marinos, aéreos, de desplazamiento sobre otros fluidos, de locomoción por medio de patas, de locomoción por bandas y vehículos con ruedas.



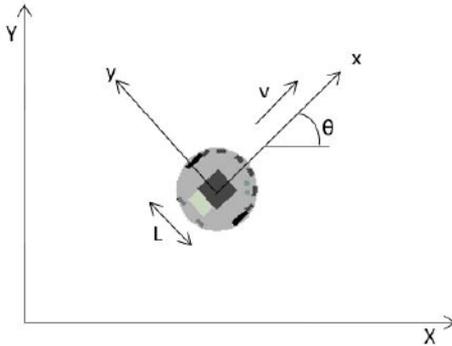
**Figura 1.** Modelo de Robot Lego

La clasificación en robótica móvil puede ser aún más extensa, por ejemplo bípedo, hexápodo, acuático, entre otros, estas configuraciones dependen principalmente de la aplicación del vehículo (Grisales, 2013, págs. 43-63). Este trabajo se enfoca en un modelo de robot lego de tipo tanque, este tipo de modelos estarían dentro la configuración tipo *diferencial* como se puede ver en la **Figura 1**.

Las diferentes configuraciones de robots móviles se pueden modelar en función de las coordenadas globales mediante que significa un punto ubicado en la Tierra, con un sistema de coordenadas inercial X-Y donde la posición del robot móvil está representada mediante sobre las coordenadas cartesianas, donde  $t$  es el tiempo y  $\theta(t)$  es el ángulo respecto al tiempo, es decir es la orientación relativa al eje x.

La velocidad lineal y angular son representadas mediante respectivamente. La ecuación de movimiento del robot móvil está dada mediante:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= v(t) \cos \theta(t) \\ \dot{y}(t) &= v(t) \sin \theta(t) \\ \dot{\theta}(t) &= \omega(t) \end{aligned} \quad (1)$$



**Figura 2.** Sistema de coordenadas de un Robot Móvil

La ecuación (1) que define el comportamiento del robot (ver **Figura 2**), está sujeto a una restricción no holonómica adicional:

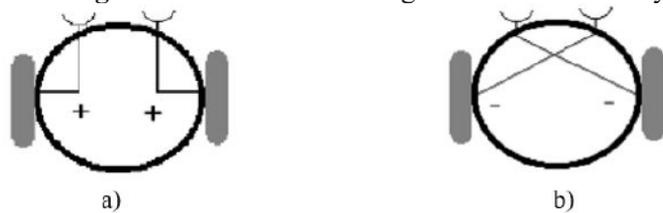
$$\dot{x}(t) \sin \theta(t) - \dot{y}(t) \cos \theta(t) = 0 \quad (2)$$

### Métodos y materiales

El trabajo está inspirado en los vehículos con comportamiento temeroso y explorador. El temeroso es capaz de moverse hacia delante, en una línea recta. Tiene un sensor de luz de umbral que apunta hacia arriba. Cuando el sensor detecta luz, la criatura se mueve hacia delante, si no fuera así este se queda quieto. El umbral del sensor de luz debería estar establecido para luz ambiental. De esta manera, cuando la criatura “vea la luz, se moverá. Al entrar en una sombra (que puede ser proyectada por una mano o cualquier

otro objeto), se detendrá. Si lo que sea que está proyectando la sombra se mueve, la criatura volverá a moverse. Por eso, el tímido es un buscador de sombra (Kumar, 2008).

Por otro lado el explorador se detendrá de espaldas a la fuente de luz y quizás se aleje dependiendo de la presencia de otras fuentes de luz. En la forma de como estén conectados los sensores y motores, el vehículo mostrará distintos comportamientos. Basándonos en esta idea podemos definir dichas conexiones con objeto de cumplir cierto objetivo o comportamiento (Electricbricks, 2010). El diseño de un vehículo de Braitenberg es sencillo, en la **Figura 3** se muestra la configuración de sensores y motores.



**Figura 3.** a) Vehículo temeroso, b) Vehículo explorador.

El vehículo que se presenta en el documento está construido en la plataforma lego EV3 y se basa en el modelo Tracker de lego Mindstorms EV3 de tipo explorador, mide 18 cm de largo y 25 cm de ancho. Está constituido por dos sensores uno de proximidad y otro sensor ultrasónico además de un sensor de toque situado en la parte del frente. La calibración de los sensores para detectar los obstáculos, está determinado por una distancia no menor a los 100 cm. entre el objeto y el vehículo en el sensor de proximidad y en el sensor ultrasónico es de 250 cm, es decir que con el ajuste de estos datos en el lego, se afirma que en términos reales la distancia para poder evadir los obstáculos al momento de recorrido del vehículo por el mapa debe ser menor a los 20 cm. entre el vehículo y el obstáculo, si de ser así este tendría que girar a cualquier lado o retroceder evitando así colisionar con el obstáculo que se le presenta. El criterio del experimento es el tiempo máximo de exploración y la detección de los obstáculos.

En la **Figura 3a** se muestra la configuración de un vehículo con comportamiento temeroso, en donde cada uno de los dos sensores con los que cuenta el robot está conectado con el motor del lado correspondiente, la velocidad

de cada uno de los motores es proporcional a la intensidad de la percepción de los sensores.

A diferencia del vehículo explorador (Figura 3b) donde la percepción y la acción están acoplados de manera negativa, esto significa que a mayor percepción la velocidad de los motores es máxima.

La configuración del comportamiento del robot temeroso y explorador está basado en el siguiente conjunto de reglas.

#### **Regla 1**

**Si:** Sensor Ultrasónico (derecho) capta valor de distancia MENOR a 20 cm.

**Entonces:** motor derecho aumenta su velocidad y el motor izquierdo mantiene la potencia actual, lo que permite dar un giro evitando el obstáculo y simulando la acción de escapar.

#### **Regla 2**

**Si:** sensor de proximidad (izquierdo) capta valor de distancia menor a 20 cm.

**Entonces:** motor izquierdo aumenta su velocidad y el motor derecho mantiene la potencia actual, lo que permite dar un giro evitando el obstáculo y simulando la acción de escapar.

#### **Regla 3**

**Si:** sensor ultrasónico y el sensor de proximidad es menor a 20

**Entonces:** retrocede girando a la derecha o izquierda de manera randómica

#### **Regla 4**

**Si:** sensor ultrasónico y el sensor de proximidad es mayor a 20

**Entonces:** ambos motores avanzan a la misma velocidad

#### **Regla 5 (implementado vacío entre sensores)**

**Si:** el sensor de toque (frente) capta valor igual a 1 (toque)

**Entonces:** retrocede girando a la derecha o izquierda de manera randómica.

#### **Regla 6 (implementado caída)**

**Si:** el sensor de color (frente) capta valor igual a 1 (detecta un color que no es el específico)

**Entonces:** retrocede girando a la derecha o izquierda de manera randomica.

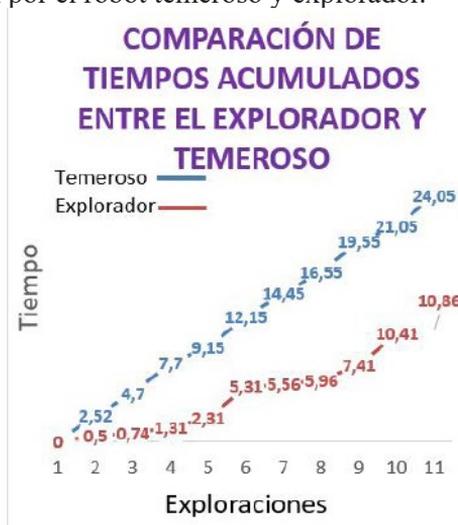
#### **Regla 7 (Final Programa)**

Cuando el sensor detecta el color verde el robot finaliza el programa.



TIMIDO	EXPLORADOR
Tiempo máximo 3 minutos	Tiempo máximo 3 minutos
0	0
2,52	0,5
4,7	0,74
7,7	1,31
9,15	2,31
12,15	5,31
14,45	5,56
16,55	5,96
19,55	7,41
21,05	10,41
24,05	10,86

En la **Figura 6** se muestra la comparación del tiempo total realizado en cada exploración por el robot temeroso y explorador.



**Figura 6.** Comparación de los Tiempos totales realizado por los vehículos

Se puede observar que el tiempo total registrado por el vehículo temeroso es igual a 24 minutos y 86 segundos y el registrado por el explorador es igual a 24 min y 5 segundos.

## Conclusiones

Se llegó a la conclusión que la configuración de Braitenberg denominado “Comportamiento Explorador” es la más óptima al momento de realizar una búsqueda ya que como se pudo observar en la **Figura 6**, en 10 exploraciones se tardó 10 minutos y 86 segundos al encontrar el objetivo, a comparación de la configuración del robot tímido que realizó la misma cantidad de exploraciones pero en un tiempo de 24 minutos y 5 segundos. Una diferencia notable de 13 minutos y 19 segundos, lo cual nos demuestra que la configuración física del robot explorador es más veloz que la configuración propuesta para el temeroso.

## Referencias

- Baeza-Yates, R. A., Culberson, J. C., & Rawlins, G. J. E. (1993). Searching in the plane. *Information and Computation* 106, 2, 234–252.
- Berry, C. (2010). “Mobile robotics: a tool for application-based integration of multidisciplinary undergraduate concepts and research”. *American Society for Engineering Education, AC 2010-22*, 1-12.
- Braitenberg, V. (1984). “Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology”. *MIT Press, 137-139*.
- Burlington, S., & Dudek, G. (1999). *Spiral search as an efficient mobile robotic search technique*. Paper presented at the Centre for Intelligent Machines McGill University, Rue University, Montreal, Canada., 70-87.
- Electricbricks. (2010). Vehículos de Braitenberg en RobotC Retrieved 11, 2015, from <http://blog.electricbricks.com/2010/04/vehiculos-de-braitenberg-en-robotc/>
- González-Nalda, P., & Cases, B. (2006). “*Topos: generalized Braitenberg vehicles that recognize complex real sounds as landmarks*”. Paper presented at the 10th International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems.
- Grisales Ramírez, E. (2013). *Control de un robot móvil en entornos*

*domesticos*. Magister en Ingeniería - Automatización Industrial, Universidad Nacional de Colombia., 43-63.

- Kumar, D. (2008). *Learning Computing With Robots*.
- Miglino, O., Lund, H. H., & Cardaci, M. (1999). "Robotics as an educational tool". *Journal of Interactive Learning Research*, 10, 25-48.
- Ramírez, P. A. L., & Sosa, H. A. (2013). "Aprendizaje de y con robótica, algunas experiencias". *Revista Educación (Universidad de Costa Rica)*, 37, 43-63.
- Rañó, I. (2014). "Results on the Convergence of Braitenberg Vehicle 3a". *Artificial Life*, 20(2), 223-235. doi: 10.1162/ARTL\_a\_00108
- Saavedra A., M., & Enríquez P., L. (2015). "Diseño de un algoritmo de búsqueda informada mediante el simulador robótico STAGE". *FIDES ET RATIO*, X, 40.

**Artículo Recibido:** 7-05-2016

**Artículo Aceptado:** 09-08-2016