

# Diseño de prototipo de enjambre de robots como herramienta educativa de bajo costo

**Luis J. DOMÍNGUEZ**

Facultad Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
luis.dominguez@ug.edu.ec

**Luis E. ARGUELLO**

Facultad Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
luis.arguelloc@ug.edu.ec

**María F. PEÑAFIEL**

Facultad Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
mariaf.penafiel@ug.edu.ec

**Julio V. MARCILLO**

Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación, Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
julio.marcillo@ug.edu.ec

**Mario SÁNCHEZ**

Facultad Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
mario.sanchezd@ug.edu.ec

**Angel M. PLAZA**

Facultad Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil  
Guayaquil, Ecuador  
angel.plazav@ug.edu.ec

## RESUMEN

El impulso de proyectos en el área de la robótica educativa permite enlazar diferentes campos del conocimiento con aplicaciones o prototipos desarrollados en clase, donde los estudiantes se encuentren en un ambiente con la autonomía necesaria para explorar sus propias ideas y poder imaginar, crear, construir y resolver problemas específicos. La presente investigación tiene como objetivo el evaluar un prototipo de enjambre de robots autónomos como herramienta educativa de bajo costo, enfocado al proceso de aprendizaje y aplicación del conocimiento adquirido en la materia de Fundamentos de Programación del segundo semestre de la carrera de Ingeniería en Telemática. Los prototipos de enjambre de robots fueron desarrollados en otros proyectos, en este trabajo se usaron como base para la práctica de un conjunto de actividades de la materia. En el artículo se describen las estrategias didácticas que se han implementado durante las actividades se muestran algunos resultados cuantitativos relacionados con la efectividad del prototipo, se pueden observar resultados interesantes en los estudiantes tanto en términos de aprendizaje como de interés y participación.

**Palabras Claves:** Robótica, programación, aprendizaje, educación.

## 1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de la robótica ha sido mencionada por diversos investigadores como una tecnología con potencial significativo para impactar en la educación. La definición actual del campo

es todavía vaga y abierta a cualquier interpretación, lo que hace posible que se la utilice sin tener en consideración el objetivo real de la Robótica Educativa. [1]

El desarrollo del presente proyecto tiene como objetivo realizar un uso creativo y crítico de algunos prototipos de bajo costo realizados por los mismos estudiantes en semestres académicos anteriores y evaluados de acuerdo con los alcances propuestos en sus respectivos ámbitos. Estos prototipos se usan como base para evaluar el impacto de metodologías ágiles educativas dentro del ambiente universitario. En el caso del presente estudio se pretende hacer uso de metodologías como: aprendizaje basado a retos y aprendizaje basado a problemas.[2] Los componentes aquí presentados son los resultados del trabajo realizado durante los últimos cuatro años con diferentes grupos de estudiantes, que han ido aportando ideas, recursos y dedicación en el análisis, diseño y desarrollo de diversos prototipos robóticos alineado a los que se conoce como educación maker, basada en tecnología en la educación, creación de herramientas y el término “Hágalo usted mismo”.

En el contexto de la robótica educativa, se pueden tener en consideración las interfaces de programación simples y visuales que se encuentran ampliamente disponibles. Mediante el uso de estos kits de robótica disponibles de diversas maneras (hardware programable o entorno de software de simulación) o elementos diseñados por los mismos estudiantes para resolver problemas específicos, lo importante es construir un plan de estudio y de desarrollo donde se marquen hitos de control para la verificación del uso tecnológico positivo, en algunos estudios se ha asociado el comportamiento creativo con el uso de una variedad de materiales o con el uso de posibilidades de los materiales en formas inesperadas [3].

A pesar de todos los beneficios que la robótica podría tener en el fomento de habilidades digitales (programación, física, matemática, ) y habilidades blandas (creatividad, liderazgo, trabajo en equipo, capacidad analítica y comunicación asertiva) su uso incorrecto puede ser contraproducente y podría detener su implementación en entornos de educación formal [4]. Por lo tanto, es imprescindible tener definición concreta, que especifique el significado de la robótica educativa para evitar cualquier mal uso de la misma, este aspecto es obligatorio para que su uso crezca correctamente de forma estructurada [5].

La robótica de enjambres es una rama de la robótica colectiva, que abarca desde el diseño de piezas, movimientos, patrones, secuencias, iteraciones, estrategias hasta la coordinación y desempeño de pequeños o grandes grupos de robots, tomando de referencia o inspiración el comportamiento de enjambres naturales. La misma que se origina a partir de la idea de que se puede crear y replicar comportamiento de especies en un sistema multi-robot, así pudiendo buscar que estos exhiban las mismas cualidades de supervivencia y flexibilidad observado en la naturaleza real de los enjambres. Desde la perspectiva de vista de la Ingeniería, se desea que estos pequeños grupos replicados, cumplan con múltiples propósitos y resolver problemas del mundo real trabajando de manera colectiva, reduciendo así pruebas exhaustivas con especies de animales reales. [6]

La meta planteada como producto de las diversas practicas elaboradas es entrenar múltiples robots de manera que estos se comporten como un enjambre tal como diseñando patrones y características que determinen dichos comportamientos que definen un trabajo colectivo a medida que estos puedan ser evaluados con facilidad a su vez desarrollando nuevas posibilidades de mejoras continuas para el progreso del mismo, otro elemento que se tomará en cuenta es la posibilidad de implementar una posible red de comunicación interna reconocible y asociable para el entendimiento mutuo de los integrantes del enjambre. [6] [7]

## 2. ANTECEDENTES

### Robótica educativa

Para entender qué es la robótica educativa, es necesario determinar los campos de estudio involucrados. La Figura 1 presenta una vista simplificada de los campos involucrados y sus interconexiones. Se representan solo campos generales y se omiten otros campos (por ejemplo, inteligencia artificial), solo con el propósito de aumentar la claridad. Se muestran tres campos principales: educación, Robótica e Interacción Humano Computador[8].

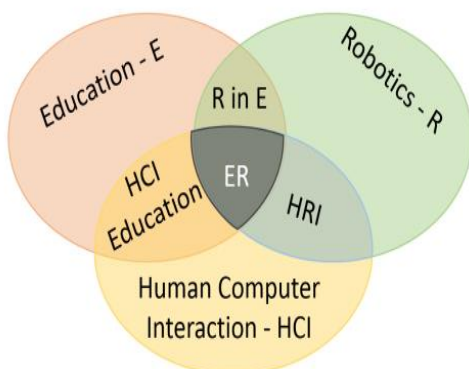


Figura 1 - Campos relacionados con la robótica

La educación abarca todos los subcampos que están relacionados con el estudio y la mejora de las experiencias de aprendizaje de las personas en todos los niveles, desde la primera infancia hasta la universidad.

La robótica es el campo que estudia, diseña y mejora los robots. Un resultado tangible, entre otros, son las plataformas robóticas que en algunos casos se han utilizado en la educación, conocidas como robótica en la educación. Estas plataformas han sido diseñadas e implementadas sin considerar su uso en educación. Por lo tanto, brindan un centenar de funcionalidades pero no hay mucho espacio para crear actividades básicas.

Lo que se denomina Interacción Humano Computador es un campo que estudia la interacción entre la computadora y los humanos, con el objetivo de mejorar la experiencia del usuario. Este campo ha mostrado la importancia de considerar a los humanos en el diseño de plataformas robóticas, lo que ha dado como resultado el campo de Interacción Humano Robot (HRI), que se dedica a comprender, diseñar y evaluar plataformas robóticas para ser utilizadas con o por humanos [9].

### Movimiento maker en la educación

Se conoce como cultura o movimiento Maker las posibilidades que ofrece internet y los medios de comunicación de conectar a grupos afines al desarrollo de prototipos o fabricación de objetos, unido a la posibilidad de adquirir, a precios asequibles, componentes y equipamientos digitales, como las impresoras 3D o las cortadoras láser. Consiste en el diseño y la fabricación de objetos personalizados, aprovechando para ello las facilidades que ofrece la tecnología. Desde su inicio, en 2005, el número de publicaciones, comunidades y encuentros de “hacedores” no ha dejado de crecer; aglutinando a informáticos, entusiastas de la tecnología, diseñadores, científicos, artistas y, en general, a personas interesadas en desarrollar proyectos de forma colaborativa y multidisciplinaria. [10]

Dentro del aspecto educativo, es proveer a los estudiantes un lugar donde se puedan reunir para compartir recursos y conocimientos, trabajar en proyectos, construir cosas y establecer relaciones y contactos. Estos espacios, laboratorios, aulas o pasillos están destinados para idear y probar. En ellos se pueden encontrar todo tipo de herramientas y utensilios, máquinas, materiales y componentes, desde destornilladores, pinceles, imanes y motorcillos eléctricos hasta impresoras y escáneres 3D. Algunos de estos lugares pueden estar dirigidos o tutelados por expertos, pero lo habitual es aprender observando y preguntando a los demás. [11]

### Enjambre de robots

Una definición cercana de enjambre de robots afirma que “La robótica de enjambre es el estudio de cómo se puede diseñar una cantidad relativamente simple de agentes físicamente encarnados en un sistema de comportamientos colectivos deseados”, y estos desarrollan interacciones locales entre los individuos que se encuentran en el medio en el que se desenvuelven. Es importante que se emplee una forma eficiente de comunicación, requisito necesario para permitir la cooperación y trabajo en conjunto entre los miembros del enjambre. [12]

Los principios de la robótica en enjambre son inspirados normalmente en el comportamiento de insectos sociales que trabajan en grupo; como abejas, hormigas, etc. Para un solo fin como ejemplo la búsqueda de comida o exploración del área en el cual se encuentran o habitarán en un futuro, cada una de ellas usando distintas maneras de marcar, reconocer y memorizar áreas, como el uso de sustancias que ellas mismas segregan para atraer a otra de su especie, o feromonas. [13]

Determinadas especies hacen uso natural de feromonas como estrategia para reconocer el rastro del camino entre una fuente de alimento. Aplicado al desarrollo del enjambre robótico, se entiende que es importante determinar una cadena de trabajo colectivo, que siempre exista una auto organización entre los mismos, y un principal líder (reina) o encargado de ejercer la mayor parte de la función, el mismo que actuará como el principal responsable de delegar cada orden, y el resto de individuos que conforman el enjambre se encargará de ejecutarla con algunas decisiones individuales, no obstante evaluando los factores que influyen en el entorno en el que se encuentra y puedan alterar dicha decisión. [14] [15]

### Autonomía de robots

La autonomía en robots inteligentes es un gran avance en campo de estudios multidisciplinario, que se sostiene totalmente áreas de mecánicas sobre ingeniería (electrónica, eléctrica, informática, mecánica) y ciencias de investigación como (psicología, física, etc.). Sistemas automáticos de complejidad muy alta que los mismos presentan una estructura mecánica que es controlada por un principal control electrónico cuyas características resaltan de fiabilidad, versatilidad, movilidad y autonomía. [16]

Durante el proceso llamado “autonomía” los robots participan y producen interacciones inteligentes con los otros involucrados en su entorno, a través de movimientos preestablecidos que involucran una detección y percepción de un objeto que se interponga. Estas capacidades están directamente involucradas con la capacidad de procesamiento de la información que recibe el individuo. Los sensores son el factor principal para la operación de la autonomía en robots, debido a que los mismo asemejan a los sentidos de percepción de los seres vivos. [17]

### Robótica colectiva

Tanto los robots industriales tradicionales y los móviles se están modificando a gran escala para abordar nuevos sectores, así tan como la complejidad de manipulación, construcción, personalización, diseño y facilidad de estos para poder adaptarse frente a cualquier situación. En este ámbito surgen los sistemas multi-robot o robots de enjambre colaborativo, esto en el intento de desarrollar complejidad de sistemas robóticos de manera compleja que muestran el desempeño de grupos o equipos a ejercer una tarea en entornos desconocidos. [18]

Un ejemplo es el proyecto denominado “*Swarm-bots: Swarms of self-assembling artifacts*” patrocinado por la Comisión Europea, con objetivo a nuevos enfoques para diseño e implementación de proyectos de autoorganización y auto montaje de robots, actualmente se sigue trabajando nuevos diseños, y propuestas para entornos tridimensionales y de libre uso. Ver Figura 2.

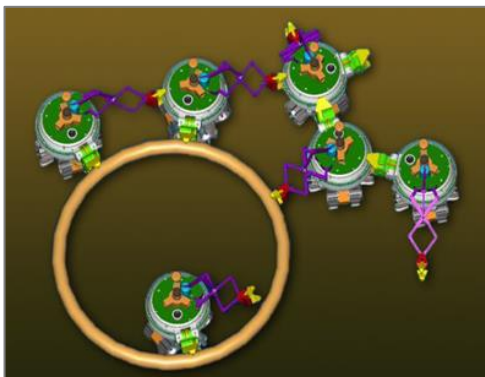


Figura 2 - *Swarm-bots: Swarms of self-assembling artifacts*

De acuerdo con lo que menciona Daniel López Enseñat, este tipo de robótica se refiere a un grupo de robots que interactúan entre sí pero no necesariamente han de colaborar explícitamente para realizar una tarea. La solución del problema está ligado al concepto de inteligencia colectiva, es decir, que el problema es resuelto gracias al comportamiento como grupo de los individuos implicados. Esta inteligencia hace que el sistema desarrollado sea más robusto, ya que al existir varios robots pueden repartirse las tareas y conseguir solucionar el problema con una mayor tasa de éxito. Por consiguiente, es más eficiente tener varios robots simples realizando una tarea que un único robot más complejo. En robótica colectiva, cada individuo puede ser programar de forma diferente, es decir, cada uno tiene su propia inteligencia. Además, tienen capacidad de comunicación y, por tanto, de coordinación y cooperación. [19]

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio empírico evaluó un prototipo de enjambre de robots como herramienta educativa de bajo costo, aplicado al proceso de aprendizaje y aplicación del conocimiento adquirido en la materia de Fundamentos de Programación del segundo semestre de la carrera de Ingeniería en Telemática.

El estudio se realizó en el segundo semestre del año 2019, con dos paralelos de la materia de Fundamentos de Programación cada uno con un número inicial de 45 estudiantes, de la misma jornada de clases y con similares características de conocimientos académicos anteriores y proceso de ingreso previo, para lo cual se les realizó un diagnóstico preliminar a ambos grupos.

El propósito de la investigación pretende evaluar el impacto del uso del componente robótico y la aplicación de los conocimientos adquiridos en la materia para programar comportamientos específicos a los equipos de pruebas. Se pretende comparar la diferencia entre el grupo donde se aplica un proceso tradicional de aprendizaje, con el otro grupo donde se aplica una estructura de aprendizaje basada en retos, como parte de la aplicación de metodologías activas de enseñanza.[20]

Durante el estudio los estudiantes desconocían la diferencia de modelos de aprendizaje que se evaluó entre ambos grupos. La selección de cual grupo se aplicaba el prototipo de enjambre de robot dependió de una variable del diagnóstico preliminar, en este caso era el conocimiento previo de microcontroladores y destreza en el uso de lenguaje de programación C. En la tabla se muestra como están conformados ambos grupos en cuanto a su percepción de género.

El paralelo que mantuvo la metodología tradicional de enseñanza se denominó GRUPO T, y el paralelo que aplico el uso del componente robótico se denominó GRUPO G.

Tabla 1 – Genero de los grupos G y T.

Grupo	Varones	Mujeres
T	69.99%	30.11%
G	58.62%	41.38%

Para la evaluación de componente robótico se diseñaron 6 actividades específicas que implicaban el conocimientos de programación, configuración y uso de la tarjeta Arduino de cada prototipo y comunicación entre los elementos del enjambre. Las seis actividades se desarrollaron a lo largo del segundo parcial.

Se propone la determinación autónoma de cada elemento del enjambre, de acuerdo con el desarrollo del algoritmo que deben de diseñar como parte de las seis practicas establecidas, las cuales abarcan los siguientes aspectos:

- Reconocimiento de módulos y aspectos técnicos del robot reina.
- Reconocimiento de módulos y aspectos técnicos de los bots.
- Pruebas de códigos para la comunicación entre los elementos del enjambre.
- Uso de código para el manejo de datos de los sensores a emplear.
- Determinación de comportamiento individual de acuerdo con las instrucciones iniciales.
- Pruebas y correcciones.

Para el proceso de evaluación se usó como matriz de referencia las sub-escalas del cuestionario MSLQ (Motivated Strategies Learning Questionnaire), desde la cual se elaboró una plantilla de seguimiento de 15 indicadores organizados en tres dimensiones: 5 de Motivación (metas extrínsecas, metas intrínsecas, resolución de problemas, control de la tarea, autoeficacia), 9 de Estrategias de Aprendizaje (repetición, elaboración, organización, pensamiento crítico, autorregulación metacognitiva, manejo del tiempo y del ambiente, regulación del esfuerzo, aprendizaje en grupo, búsqueda de ayuda) y 1 de Personalización del Aprendizaje. [21] [22]

### Componentes del robot

La placa principal de desarrollo del proyecto “enjambre de robot”, de uso esencial en IoT similar a Arduino, esta tarjeta está totalmente basada en el SoC (System on Chip), posee un chip de procesamiento integrado de arquitectura de 32 bits y dualidad con el sistema de WiFi, de esta manera convirtiéndolo en una potente placa a un precio económico.

Tabla 2 – Especificaciones técnicas de los prototipos

Componente	Especificaciones Técnicas
Node MCU ESP8266	Voltaje de Entrada: 5v DC Voltaje de Salida: 3.3 v DC CPU: Tensilica Xtensa LX3 (32 bits) Frecuencia de Reloj: 80MHz/160MHz Data RAM: 96KB Memoria Flash Externa: 4MB Pines Digitales GPIO: 17 Chip USB – Serial: CP2101 Antena: En PBC Estándar: 802.11 b/g/n
Servo Motor sg90	Velocidad de avance: 0.1 seg/60 grados Torque: 1.2 Kg por cm Ancho de pulso actuador: 4useg Voltaje de operación: 3 – 5V Peso de servo: 9g Engranajes: Plástico
Sensor FC-51 Modulo detector de obstáculos	Número de modelo: FC-51 Ángulo de cobertura: 35 ° Voltaje de funcionamiento: 3.0V – 6.0V Rango de detección: 2 cm – 30 cm (ajustable con el potenciómetro) Consumo actual: en 3.3V: ~ 23 mA Consumo actual: en 5.0V: ~ 43 mA
Batería LIPO 3C 500 mAh	Batería Lipo Turnigy 11.1V – 500mAh Lipo 3S 20C

### Diseño del robot

Para la configuración del movimiento se optó por un diseño similar a los robots Micromouse de competencias de laberintos, este se muestra a continuación para nuestros individuos del enjambre. [23] [24] [25]

Entre los componentes principales del robot se mencionan:

- **Sensores:** Se seleccionó el modelo FC -51 por su relación calidad – precio y sensibilidad de respuesta en su funcionamiento, el mismo que a pesar de carecer precisión comparado al resto, con un perfecto encaje al individuo.
- **Motores:** Uno de los problemas al momento de seleccionar los motores, fue que la mayoría son de funcionamiento independientes (necesitan una fuente externa para ser controlados y no obstante un controlador que le permite saber qué dirección tomar), en este caso se optó por un servo.
- **Llantas:** Se elaboraron las llantas mediante un molde de silicona y el uso de algunos catalizadores, se tomó como base el diseño de los engranajes.

Cada robot que pertenece al enjambre dispone de los siguientes componentes:

- 2 servo motores sg90.
- 1 modulo Esp8266.
- 4 sensores Infrarrojos FC-51.
- 1 Shield de Esp8266 con regulador incluido.
- 1 kit de llantas.
- 1 kit de engranajes y piñones clonados.

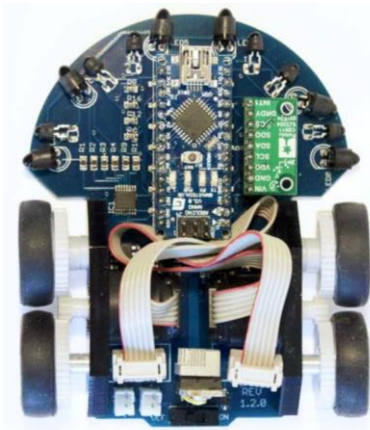


Figura 3 - Tracción Micromouse

### Arquitectura de comunicación

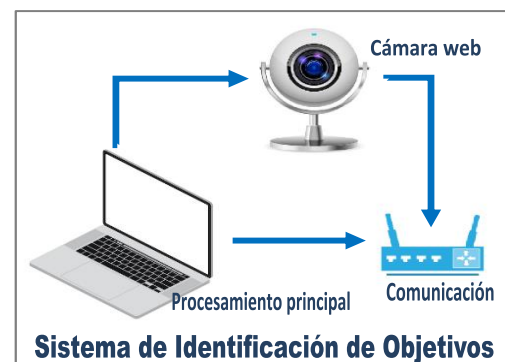


Figura 4 - Sistema de identificación de Objetivos

La arquitectura de software abarca desde la conexión interna o externa que permitirá el correcto funcionamiento y desempeño del prototipo. Se cuenta con un equipo portátil como centro de control del enjambre. La comunicación de nuestro control (ordenador) a los individuos (Microcontrolador) será por medio de comunicación inalámbrica Wi-Fi, los mismos que tiene preestablecidos movimientos acorde a sus sensores y situaciones. Los datos serán interpretados por el ordenador y ejecutará a cada individuo una orden, estos a su vez cumpliendo su comportamiento colectivo como enjambre. [26]

#### 4. RESULTADOS

Como parte de la recopilación de información se realizó una encuesta final para obtener datos con respecto a las percepciones de los estudiantes de la forma en que el curso fue impartido. Se incluyó una serie de preguntas comunes para los estudiantes en ambos paralelos, así como preguntas específicas adicionales para cada grupo.

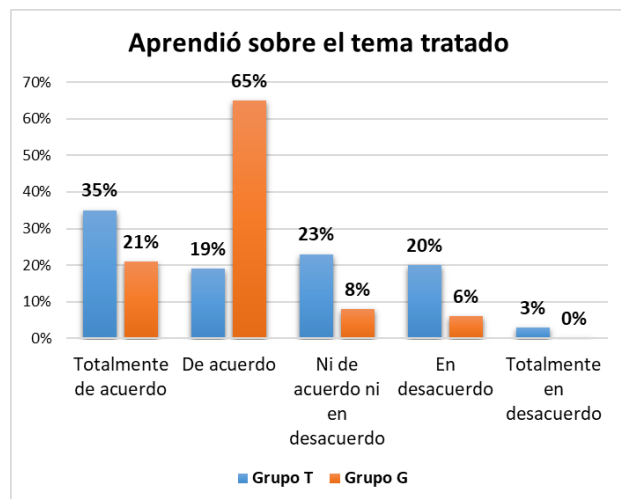


Figura 5 - Evaluación de las herramientas por los dos grupos

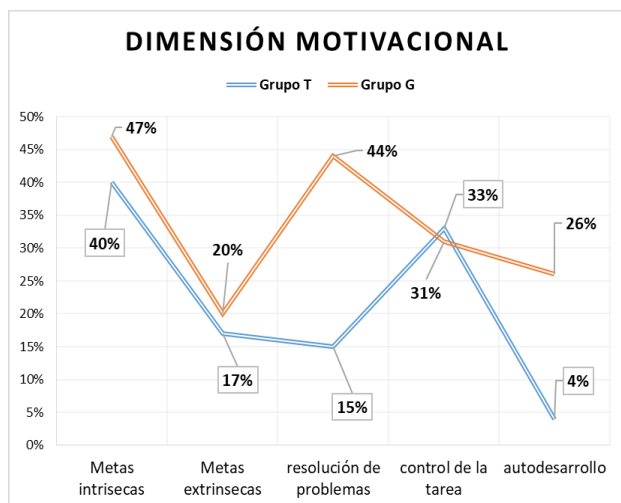


Figura 6 - Evaluación de la dimensión motivacional

En el proceso de evaluación del nivel de percepción del aprendizaje por parte del estudiante, en el caso del Grupo T, la herramienta a evaluar fueron las prácticas en clase de ejercicios propuestos de programación, desarrollados en el laboratorio de cómputo.

- Con respecto a la evaluación de la dimensión motivacional, la prueba de diferencia de proporciones, en tres variables la desigualdad encontrada entre el porcentaje mayor y el menor no es estadísticamente significativa, salvo en la confianza en resolución de problema y el aprendizaje asumido de forma autónoma donde el Grupo G muestra una gran diferencia porcentual.
- En la evaluación de estrategias de aprendizaje se marca una diferencia en dos variables (organización y pensamiento crítico), en las otras seis no existe una diferencia significativa.

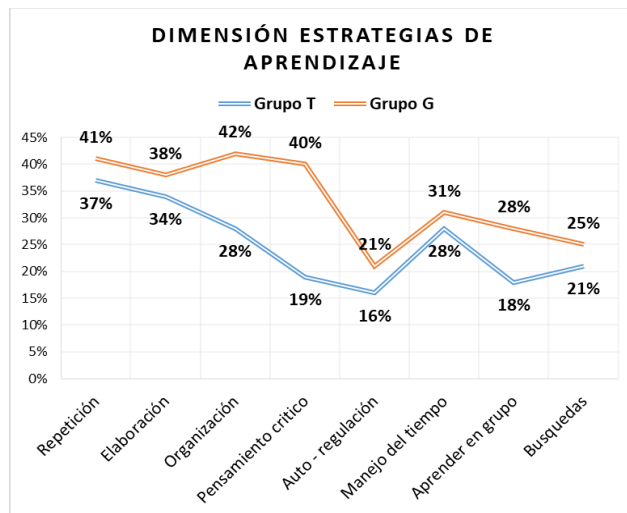


Figura 7 - Evaluación de la dimensión estrategias de aprendizaje

Dentro de la propuesta planteada a los estudiantes que formaron parte del estudio, se cumplió con los siguientes retos planteados como proceso de colaboración:

- Probar los diferentes microcódigos propuestos en el proyecto, evaluando, modificando y ejecutando en el ambiente de prueba.
- Unificar y evaluar resultados usando los prototipos de prueba proporcionados.
- Presentar resultados y proponer mejoras.

#### 5. CONCLUSIONES

Como parte de los resultados finales del proyecto se obtuvo información sobre la percepción de los estudiantes sobre el conocimiento adquirido en la materia de fundamentos de programación, sin tomar en consideración las notas al final del semestre, el 54% de los estudiantes del grupo de control T se mostraron satisfechos con el conocimiento adquirido, siendo el 86% en el caso del grupo G, en este último solo el 14% de los estudiantes no consideraban haber mejorado en conocimiento de programación. Ver figura 5.

Con respecto al rendimiento académico, que implica la comprensión teórica del material de estudio y las destrezas para resolución de problemas, se notó una clara diferencia entre ambos grupos favoreciendo al Grupo G. Se encontró una mayor diferencia en las variables pensamiento crítico y autodesarrollo, que se evidenció en la forma de asumir los retos para resolver lo más rápido posible problemas de física relacionadas a la temática.

Los datos obtenidos en cada una de las variables han permitido conocer con mayor detalle los beneficios en el rendimiento para el estudiante si se logra aplicar de forma apropiada y con

herramientas bien planificadas un entorno mixto de enseñanza que permita la participación activa en clase, desarrollo de actividades grupales más justas y evidenciables, así como la estimulación de los distintos aspectos del estudiante (como el intelectual, espiritual, social, motivacional y afectivo) a través de las cuales se promueve una mejor personalización del proceso de enseñanza.

Además, teniendo en cuenta el planteamiento inicial para el desarrollo del presente proyecto, se pretendía usar el proceso y los elementos elaborados en tres áreas específicas del proceso de enseñanza aprendizaje dentro de nuestra unidad académica, los cuales menciono a continuación:

- Se cumplió con la propuesta de la aplicación de un prototipo educativo de bajo costo como son los pequeños robots programables como parte del enfoque práctico de la materia de fundamentos de programación. De parte de los estudiantes que participaron en el estudio se recibieron un gran número de sugerencias que permitirán mejorar los prototipos.
- Se cumplió con la propuesta de evaluar microcódigos dentro de la programación de los elementos del enjambre, esto permitirá ampliar prácticas donde el estudiante proponga cambios en este código funcional, el grupo de programación empezó la construcción de un repositorio de códigos para futuros grupos y pruebas.
- Se cumplió con el desarrollo de diseños de elemento 3D, la prueba de diversas opciones y materiales y el uso de la impresora 3D disponible, al mejorar el diseño electrónico del prototipo se pretende disminuir los costos de materiales de las impresiones 3D.
- El siguiente paso es ampliar el número de elementos del enjambre y el uso de una red P2P en el proceso de comunicación inalámbrico.

## 6. REFERENCIAS

[1] Ángel-Díaz, C. M., Segredo, E., Arnay, R., & León, C. (2020). Simulador de robótica educativa para la promoción del pensamiento computacional. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 20(63).

[2] Luy-Montejo, C. (2019). El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en el desarrollo de la inteligencia emocional de estudiantes universitarios. *Propósitos y representaciones*, 7(2), 353-383.

[3] Sullivan, Amanda, and Marina Umaschi Bers. "Dancing robots: integrating art, music, and robotics in Singapore's early childhood centers." *International Journal of Technology and Design Education* 28.2 (2018): 325-346.

[4] Shmatko, Natalia, and Galina Volkova. "Bridging the skill gap in robotics: Global and national environment." *Sage Open* 10.3 (2020): 2158244020958736.

[5] Screpanti, Laura, et al. "Educational Robotics and social relationships in the classroom." *Makers at School, Educational Robotics, and Innovative Learning Environments*. Springer, Cham, 2021. 195-201.

[6] Rais Martínez, Jasmina. "Computación evolutiva en comportamientos de robótica de enjambre." (2021).

[7] Dorigo, Marco, et al. "Evolving self-organizing behaviors for a swarm-bot." *Autonomous Robots* 17.2 (2004): 223-245.

[8] Gubenko, Alla, et al. "Educational Robotics and Robot Creativity: An Interdisciplinary Dialogue." *Frontiers in Robotics and AI* 8 (2021): 178.

[9] Evripidou, Salomi, et al. "Educational robotics: Platforms, competitions and expected learning outcomes." *IEEE access* 8 (2020): 219534-219562.

[10] Schad, M., & Jones, W. M. (2020). The maker movement and education: A systematic review of the literature. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(1), 65-78.

[11] Toivonen, T., Jormanainen, I., Montero, C. S., & Alessandrini, A. (2018). Innovative maker movement platform for K-12 education as a smart learning environment. In *Challenges and Solutions in Smart Learning* (pp. 61-66). Springer, Singapore.

[12] Nedjah, Nadia, and Luneque Silva Junior. "Review of methodologies and tasks in swarm robotics towards standardization." *Swarm and Evolutionary Computation* 50 (2019): 100565.

[13] Long, Nathan K., et al. "A comprehensive review of shepherding as a bio-inspired swarm-robotics guidance approach." *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence* 4.4 (2020): 523-537.

[14] Hamann, Heiko. "Swarm robotics: A formal approach." (2018).

[15] Díaz, Álvaro Díez. "Aprendizaje por Refuerzo para Robótica de Enjambre."

[16] Chatila, R., & Havens, J. C. (2019). The IEEE global initiative on ethics of autonomous and intelligent systems. In *Robotics and well-being* (pp. 11-16). Springer, Cham.

[17] Sam, Shuzhi, Ge Frank, and L. Lewis. "Autonomous Mobile Robots: Sensing Control." *Decision Making and Applications* (2006).

[18] Cazenille, L., Bredeche, N., & Aubert-Kato, N. (2019, December). Exploring self-assembling behaviors in a swarm of bio-micro-robots using surrogate-assisted map-elites. In *2019 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)* (pp. 238-246). IEEE.

[19] López Enseñat, Daniel. "Desarrollo de herramientas para aplicaciones de coordinación en robótica colectiva." (2019).

[20] A. M. Plaza, F. S. Pincay, and P. E. Moreno, 'Application and evaluation of technological resources to support learning: Gamification in the classroom, Aplicación y evaluación de recursos tecnológicos de apoyo al aprendizaje: Gamificación en el aula', CИСCI 2017 - Decima Sexta Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática, Décimo Cuarto Simposio Iberoamericano en Educación, Cibernética e Informática, SIECI 2017 - Memorias, σσ. 440-445, 2017.

[21] Randall, N. (2019). A survey of robot-assisted language learning (RALL). *ACM Transactions on Human-Robot Interaction (THRI)*, 9(1), 1-36.

[22] Kleeberger, K., Bormann, R., Kraus, W., & Huber, M. F. (2020). A survey on learning-based robotic grasping. *Current Robotics Reports*, 1(4), 239-249.

[23] SURYANARAYANA, S.; AKHILA, V. Autonomous maze solving robot using arduino. *Technology (IJARET)*, 2021, vol. 12, no 3, p. 595-603.

[24] A. M. Plaza, L. J. Dominguez, L. E. Arguello, and F. S. Pincay, 'Design and development of portable Arduino-based mini laboratory as a learning tool, Diseño y desarrollo de mini laboratorio portátil basado en Arduino como herramienta de aprendizaje', CИСCI 2019 - Decima Octava Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática, Décimo Sexto Simposio Iberoamericano en Educación, Cibernética e Informática - Memorias, τ. 2, σσ. 132-137, 2019.

[25] SAJID, Khan Aqsa, et al. Una reseña sobre: Robot de resolución de laberintos con Arduino Uno. 2019.

[26] SOLÍS-ORTEGA, Rebeca. Enjambres de robots y sus aplicaciones en la exploración y comunicación. En *Memorias de congresos TEC*. 2017.