

---

# Una propuesta para potenciar el aprendizaje STEM basado en Robótica BEAM

A proposal to enhance STEM learning based on BEAM Robotics

基于BEAM机器人课强化STEM学习的提案

Предложение по совершенствованию системы обучения STEM на основе робототехники BEAM

---

**Carlos Boya-Lara**

Universidad Interamericana de Panamá (Panamá)

carlos.boya@uip.pa

<https://orcid.org/0000-0001-8582-3580>

**Melany Vega**

Universidad Interamericana de Panamá (Panamá)

mvega@uip.edu.pa

<https://orcid.org/0000-0002-8201-1955>

---

## Fechas · Dates

Recibido: 2020-07-22

Aceptado: 2020-10-30

Publicado: 2020-12-31

---

## Cómo citar este trabajo · How to Cite this Paper

Boya-Lara, C., & Vega, M. (2020). Una propuesta para potenciar el aprendizaje STEM basado en Robótica BEAM. *Publicaciones*, 50(4), 125–140. doi:10.30827/publicaciones.v50i4.17786

## Resumen

El presente trabajo describe y presenta el estado de una propuesta que busca potenciar el currículo STEM en estudiantes de ingeniería, a través del desarrollo de un currículo y curso basado en la construcción de robots BEAM. La robótica BEAM es acerca de robots biomórficos, controlados por una computadora análoga simple, tiene como objetivo la autonomía y autopreservación del robot, además de ser independiente del ser humano una vez en ejecución. Dado estos principios, en el curso se pretende utilizar, como recurso didáctico, la construcción de estos robots con el objetivo de soportar un proceso de enseñanza-aprendizaje de competencias técnicas, tales como: biología, mecánica, electrónica, sistemas de control, inteligencia artificial, matemática y procesos secuenciales o algorítmicos. Además, otro criterio de la robótica BEAM es la utilización para su construcción, de elementos recuperados de equipo eléctrico y electrónico de descarte o WEEE (Waste electric and electronic equipment), con el objetivo de construir robots de bajo costo. Actualmente, la propuesta está en su primera fase, desarrollando el currículo, la logística para el curso y las herramientas para evaluar la hipótesis de la propuesta. Con esto, se espera disponer de un curso de bajo costo y entretenido para el aprendizaje de la robótica que potencialice el currículo STEM, y que pueda ser implementado, no solo en instituciones de educación superior, sino en escuelas del país.

---

Palabras clave: STEM; robótica educativa; BEAM; pensamiento computacional; reciclaje; electrónica; electricidad; mecánica; ingeniería

---

## Abstract

This work describes and presents the status of a proposal that seeks to enhance the STEM curriculum in engineering students, through the development of a curriculum and course based on the construction of BEAM robots. BEAM robotics is about biomorphic robots, controlled by a simple analog computer that aims for the autonomy and self-preservation of the robot, and which is independent of the human once running. Given these principles, the course is intended to use, as a didactic resource, the construction of these robots with the aim of supporting a teaching-learning process of technical competences, such as: biology, mechanics, electronics, control systems, artificial intelligence, mathematics and sequential or algorithmic processes. In addition, another criterion of BEAM robotics is the use for its construction of elements recovered from discarded electrical and electronic equipment or WEEE (Waste electric and electronic equipment) with the aim of building low-cost robots. The proposal is in its first phase, currently developing the curriculum, the logistics for the course and the tools to evaluate the hypothesis of the proposal. With this proposal, it is expected to have a low-cost and entertaining course for learning robotics that enhances the STEM curriculum, and that can be implemented, not only in higher education institutions, but also in schools in the country.

---

Keywords: STEM, educational robotics, BEAM, computational thinking, recycling, electronics, electricity, mechanics, engineering

---

## 概要

本文描述并介绍了一项通过开发基于BEAM机器人课程强化工程专业学生的STEM 学习计划的提案。 BEAM机器人是由简单的模拟计算机控制的生物形态机器人,它的目标是使机器人具有自主性和自我保护性,并且可以独立运行无须人工。

鉴于这些原则,本课程计划将构造这些机器人作为教学资源,以支撑对技术能力的教学过程,例如:生物学,机械学,电学,控制系统,人工智能,数学以及顺序或算法过程。另

外, BEAM机器人技术的另一个标准是用于构造从废弃的电气和电子设备或WEEE (废电气和电子设备)中回收的零件,目的是构建低成本的机器人。

目前,该提案处于第一阶段,包括开发学习计划,课程组织以及评估提案假设的工具。这样,我们希望它成为一门低成本且有趣的,它可以强化STEM学习的机器人技术的课程。此外我们希望这个项目不仅可以在高等教育机构中实施,而且可以在中小学中实施。

---

关键词: STEM; 教育型机器人; BEAM; 计算机思维; 回收; 电学; 电力; 机械学; 工程

---

## Аннотация

В этом документе описывается предложение, направленное на совершенствование учебной программы STEM для студентов инженерных факультетов путем разработки учебной программы, основанной на конструкции роботов BEAM. Роботизация BEAM - это биоморфные роботы, управляемые простым аналоговым компьютером, она направлена на автономию и самосохранение робота, помимо того, что он независим от человека после того, как он запущен. Учитывая эти принципы, курс намерен использовать, в качестве дидактического ресурса, построение этих роботов с целью поддержки процесса преподавания-обучения технических компетенций, таких как: биология, механика, электроника, системы управления, искусственный интеллект, математика и последовательные или алгоритмические процессы. Кроме того, еще одним критерием робототехники BEAM является использование для её конструирования элементов, извлеченных из отходов электрического и электронного оборудования или WEEE (Waste electric and electronic equipment), с целью создания недорогих роботов. В настоящее время предложение находится на первом этапе разработки учебной программы, специалиста по материально-техническому обеспечению курса и инструментов для оценки гипотезы предложения. Предполагается, что при этом будет создан недорогой и увлекательный курс по изучению робототехники, который будет способствовать укреплению учебной программы в области STEM, и который может быть реализован не только в высших учебных заведениях, но и в школах страны.

---

Ключевые слова: STEM, образовательная робототехника, BEAM; компьютерное мышление; переработка отходов; электроника; электричество; механика; инженерное дело

---

## Introducción

Los robots educativos se han convertido en una herramienta muy popular para la enseñanza STEM (Science, Technology, Engineering, Math) para todos los niveles de educación (Ucguil & Cagiltay, 2014). Se utilizan, comúnmente, robots educativos basados en microprocesadores y "kits" para armado rápido; lo que ofrece cierta flexibilidad morfológica (diversas formas de cómo construirlo y operarlo). La principal forma de expresar su conducta, es decir, concretar la idea cognitiva de su interacción con el ambiente, es a través de un lenguaje de programación. Estos robots tienen como objetivo fundamental, a través de su diseño, programación y ejecución, potenciar el aprendizaje del currículo STEM. Pero además, entrenar en un pensamiento que evoluciona, "para la resolución de problemas, el pensamiento creativo, el trabajo en equipo, el enganche hacia la ciencia y la ingeniería y la reducción de mitos y barreras culturales sobre todos estos temas anteriores" (Barak & Assal, 2018).

Sin embargo, dentro del currículo enfocado en estos robots, se deja de lado, “temas más íntimos de la estructura del robot, tales como: la morfología (sistema electromecánico), el funcionamiento físico de los sensores y motores, circuitos electrónicos y la optimización energética del robot” (Rihtaršič, Avsec, & Kocijancic, 2016) and mechanical and electrical engineering, these three areas should be emphasized equally. Many studies reveal impressive learning of computer science and mechanical engineering, but clear evidence of the effectiveness of electronics learning in the higher order thinking skills of middle school students is still lacking. We designed three different robotics courses with electronics subject matter introduced through experiential learning. A parallel group design was used, where three different open learning courses were implemented for middle school students. Based on results of the first and second implementations, we improved students’ learning of relevant content for each successive step of the experiment. In total, 381 middle school students participated in all experiments and were surveyed using pre- and post-tests. The collected data were analyzed using a quantitative research methodology. The findings revealed that the teaching approach was effective. During the learning process, student interest in robotics increased, and overall achievement improved with a medium effect size ( $\eta^2 = 0.13$ ). Es importante que estos temas no queden relevados en el proceso de enseñanza-aprendizaje y se incentive el descubrimiento y la investigación sobre lo que hay en la “caja negra”, es decir, las partes internas mecánicas, eléctrica y electrónicas del robot y como se relacionan entre sí. Está claro, que este conocimiento puede apoyar en la comprensión de la tecnología actual de una manera más íntima, que actualmente, tiene un soporte altamente eléctrico y electrónico. También, con la inteligencia artificial, que cada vez se integra más en las máquinas como los robots en sí mismos, sería una limitante tener solo habilidades de programación. Por otro lado, comprender lo abstracto que puede llegar a ser un programa de software, puede quedar implícito en la morfología concreta de un artefacto electromecánico. Es decir, que:

La construcción morfológica de un robot es un proceso que sigue un algoritmo determinado desde un diseño previo que resuelve problemas de interacción con el ambiente, tales como: percepción de magnitudes físicas para actuar en consecuencia permitiendo la movilidad para la autopreservación, y no solo para cumplir una tarea especificada por un usuario. (Hasslacher & Tilden, 1995)

Este es un tema que está relacionado con el pensamiento computacional, como abordaremos posteriormente.

Como alternativa a los robots educativos convencionales, enfocados en programación por software, presentamos los robots BEAM (Biology, Electronics, Aesthetic, Mechanics). Un enfoque en robótica educativa poco explorado pero que tiene el potencial de llegar a convertirse en una herramienta didáctica para el descubrimiento y la investigación de esa “caja negra” que soporta la tecnología electrónica actual. La robótica BEAM fue introducida en los años noventa por Tilden como una robótica no convencional y bioinspirada, donde los robots no son diseñados para cumplir con tareas específicas y programadas para servir a un usuario; más bien, “se busca que las máquinas sean autónomas y que puedan interactuar en un ambiente desconocido y hostil” (Hasslacher & Tilden, 1995). Es decir, que su objetivo es vivir y preservarse a sí mismos y no depender de un humano, una vez construido. Entre los varios criterios de diseño de los robots BEAM, es que sean robots simples; normalmente, construidos con elementos electrónicos análogos, por lo que no tienen un procesador complejo (un microprocesador). Que presenten una morfología simple (armadura y piezas mecánicas) y una fuente de

energía sostenible en el tiempo, como la solar. Estos requisitos de diseño promueven que los robots BEAM sean construidos a base de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos disponibles en equipos electromecánicos y electrónicos de uso cotidiano, tales como: computadoras, impresoras, reproductores de sonido, calculadoras, etc. Estos equipos al momento de su descarte, se les pueden extraer esos elementos: sensores ópticos, resistencias, capacitores, motores, engranajes, cables, etc.

Todos estos criterios de diseño estimulan la robótica de bajo costo y por lo tanto un recurso didáctico basado en este objetivo. También, la valorización del equipo eléctrico y electrónico de descarte, equipo conocido como residuo eléctrico y electrónico o WEEE (Waste electric and electronic equipment) y que es un residuo que crece de manera sostenida cada año siendo un gran problema ambiental (Ilankoon, Ghorbani, Nan, Herath, & Moyo, 2018). La robótica BEAM, aunque no busca ser una solución a esta problemática, tiene la bondad de fomentar el reciclaje del WEEE atribuyéndole valor añadido y una propiedad didáctica.

En este documento, se describe y presenta el estado actual de una propuesta para la enseñanza-aprendizaje del currículo STEM basado en la robótica BEAM, la cual se está desarrollando en nuestra institución. Normalmente, los robots educativos, como recurso didáctico para la enseñanza aprendizaje, son utilizados con tres principales enfoques tal como lo plantean en su trabajo, Muñoz-Repiso y Caballero-González, (2019) trying to get children to take an active and creative role in the use of technologies. The objective of this article is to verify the repercussion of educational robotics activities on kindergarten students in the acquisition of computational thinking and programming skills. The research design is quasi-experimental, with pre-test and post-test measures, using experimental and control groups. The sample consists of 131 students from the second cycle of early education (between 3 and 6 years old: “el robot educativo como objeto principal de aprendizaje, es decir, como recurso para aprender robótica. El segundo, el robot como medio de aprendizaje y tercero, como un medio para desarrollar el aprendizaje”. Esta propuesta se enfoca en el segundo, por el cual el robot BEAM es utilizado como un medio para desarrollar competencias técnicas de ciencia e ingeniería y facilitar el currículo STEM en el proceso enseñanza-aprendizaje de los estudiantes.

La propuesta no tiene como objetivo la construcción del robot para realizar tareas específicas, ni para potenciar la programación de lenguajes informáticos; más bien, plantea utilizar el proceso de diseño, construcción y ejecución como recurso didáctico en sí mismo, tal y como expresan Ruiz-del-solar, Member, y Avilés, (2004) “la robótica es una manera, no un fin”. De esta manera, el proceso de construcción de diversos robots BEAM, llevado dentro de un curso desarrollado para tal fin, será parte fundamental de un currículo que busca potenciar habilidades STEM. Se desarrollarán actividades de aprendizaje de electrónica, electricidad y mecánica básica que serán parte de este currículo y los resultados de estas experiencias se podrán integrar en la construcción, prueba y ejecución de los robots. La propuesta lleva como nombre: “Desarrollo de un curso experimental de robótica básica empleando residuos eléctricos y electrónicos” es financiada por la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá (SENACYT) otorgado a través de la Convocatoria Pública para Proyectos Educativos en Ciencia y Tecnología 2019, código APR-IACP-05-19.

Esta propuesta que se desarrolla en la Universidad Interamericana de Panamá, tiene como antecedente, que el autor principal de este proyecto fuera un profesor de electrónica y electricidad en el Instituto Politécnico Arnulfo Arias Madrid de la provincia de Chiriquí, Republica de Panamá; quince años atrás. Allí utilizó como enfoque didáctico

la robótica BEAM con el objetivo de desarrollar competencias técnicas en los alumnos, tales como: identificación de partes electrónicas, soldadura eléctrica, ensamble circuitos electrónicos y seguridad en el taller obteniendo excelentes resultados. En la Figura 1 se muestra a los estudiantes construyendo los robots BEAM, cuando soldaban las partes mecánicas y electrónicas de los robots. También, se muestra como guiaban al robot por medio de la luz (prueba de un “devorador de luz”).



Figura 1. Estudiantes construyendo robots BEAM

Con esa experiencia se observó que los estudiantes desarrollaban habilidades técnicas, y las mismas fueron evaluadas en una feria de tecnología desarrollada en el colegio. A partir de entonces, la comunidad educativa, incluyendo padres de familia, se integraron a la actividad de la construcción de los robots, en apoyo de sus hijos, y expusieron la necesidad de un curso para adultos. De esa actividad, resurge en el investigador, la intención de recuperar, valorizar y potenciar la experiencia descrita anteriormente, pero esta vez en un entorno universitario, la Universidad Interamericana de Panamá, y usar esa misma estrategia para asegurar la calidad de la formación de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería.

En la revisión del estado del arte, no se ha encontrado una propuesta sobre un currículo de robótica educativa basado en la filosofía BEAM, tampoco, muchos estudios donde se investigue la relación STEM con el pensamiento computacional o de otro tipo. Sólo se encontró el trabajo presentado en Ruiz-del-solar et al., 2004, que trata de una descripción de cursos de robótica educativa, en general, pero que contaban como robot educacional, y previo al estudio de robots más avanzados, la robótica BEAM. En este trabajo se desarrollaron actividades para enganchar a estudiantes de primaria y secundaria en la ciencia y la tecnología, incrementando el conocimiento tecnológico y desarrollo extracurricular en ciencia e ingeniería.

## Objetivo

El objetivo principal de la propuesta es desarrollar un recurso didáctico para la enseñanza STEM basado en el proceso de diseño, construcción y ejecución de robots BEAM. La hipótesis de la propuesta es: un recurso didáctico basado en el proceso de diseño, construcción y ejecución de robots BEAM mejora las capacidades y habilidades STEM en estudiantes universitarios de ingeniería.

En base a esta hipótesis, la propuesta se fundamenta en el desarrollo de un currículo y un curso de robótica BEAM dirigido a estudiantes universitarios de las áreas de ingeniería, que permita valorar las capacidades y habilidades STEM antes y después del desarrollo del mismo.

Como objetivos específicos se plantean:

- Desarrollar un curso, basado en el currículo para robótica BEAM, para estudiantes de ingeniería de la Universidad Interamericana de Panamá.
- Evaluar las capacidades y habilidades STEM de los estudiantes, previo y posterior al curso de robótica BEAM.
- Diseñar una propuesta programática basada en un enfoque constructorista (Papert & Harel, 1991) con estrategias y actividades basadas en el diseño, construcción y ejecución de robots BEAM, que sea posible insertar en el currículo nacional existente.

## Robótica BEAM

### La filosofía BEAM

La robótica BEAM fue introducida por Mark Tilden en los años 90 y buscaba una nueva forma de robótica no tradicional, en la cual el robot no es diseñado para realizar metas específicas para soporte de los humanos. Más bien, los robots son construidos con el objetivo de presentar una conducta autónoma y de autoconservación en un ambiente desconocido y hostil (Tilden, 1997). Tilden llamó a estas máquinas “biomórficas”, una forma paralela de vida que no tienen una “inteligencia” en la manera convencional, ya que no tienen un procesador complejo y por lo cual no pueden procesar una interna simbología para establecer la comunicación con humanos, es una computadora análoga la que le permite interactuar con el ambiente, moverse y sobrevivir. Mas que un ente, con un propósito funcional, es un diseño en base a paradigmas biológicos (Rietman et al., 2003). Su computación es realizada de manera análoga, modular y está implícita en la morfología o esqueleto del robot. En este sentido, existe un modelo neuronal llamado NV (Nervous Network), que funciona para expresar y comunicar señales de manera bidireccional y permiten detectar estímulos externos por medio de sensores y mover motores en consecuencia. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de robot BEAM con forma de un insecto, llamado “Walker” con dos motores y cuatro patas que le permiten desplazarse y, además, un sensor en el frente que le ayuda a evitar obstáculos. Este robot inicia su movimiento con apenas energía en sus circuitos y muestra un movimiento secuencial, potenciado por un conjunto de neuronas artificiales NV que están conectadas a los motores. En la Figura 3 se muestra un robot BEAM llamado QUL 1.4 (Quadrupedal Uncontrolled Locomotion), que tiene cuatro neuronas NV en anillo y cuatro motores, propuesto por Vadakkepat y Tan (2012) como una mejora para el Walker.

Existen robots BEAM con diseños más simples, tales como el SYMMET que se muestra en la Figura 4, y que tiene como fuente de energía, la solar. Este robot utiliza la energía solar, convertida en energía eléctrica por una celda fotovoltaica, para cargar los capacitores (pequeños tanques que almacena energía eléctrica). Un arreglo de resistencias eléctricas, transistores y un diodo led forman una computadora analógica simple que establece umbral de tensión y tiempo para que se active un motor. Este motor, recibe energía en forma impulsiva desde los capacitores y vibra, haciendo que el robot tenga un movimiento en forma de saltos. Dependiendo de la cantidad de energía solar recibida y convertida por la celda solar, el ciclo de saltos aumenta o disminuye. Es como un ser vivo, del cual, su movimiento depende aleatoriamente del lugar donde caiga en el siguiente salto.

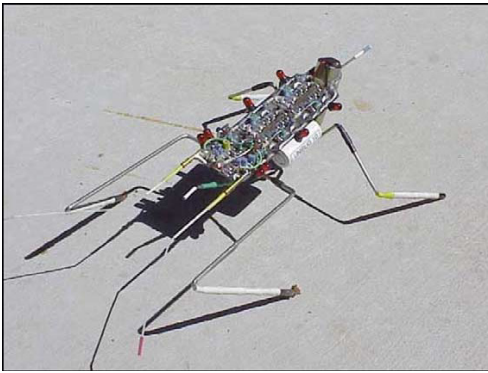


Figura 2. Robot BEAM con una forma similar a un insecto. Tomado de "Analog computation with rings of quasiperiodic oscillators : the microdynamics of cognition in living machines", por E. A. Rietman, M. W. Tilden, & M. Askenazi, 2003, *Robotics and Autonomous Systems*, 45, 249-263.

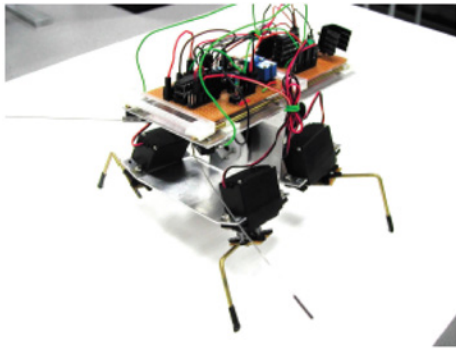


Figura 3. Un robot BEAM, llamado QUL 1.4. Tomado de "Analogue neuronal network in a biomorphic machine : modelling and simulation in ADAMS", por P. Vadakkepat, & S. J. Tan, 2012, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 34(2/3), 184-212.

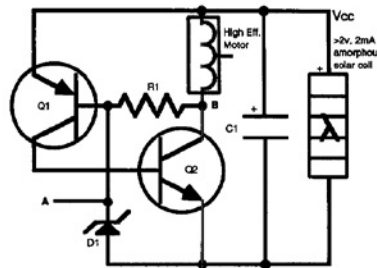


Figura 4. El robot BEAM SYMMET y su circuito electrónico. Tomado de "Living machines", por B. Hasslacher, & M. W. Tilden, 1995, *Robotics and Autonomous Systems*, 15(1-2), 143-169.



En la Figura 5, se muestra otro robot BEAM, llamado Photopopper o “devorador de luz” compuesto por dos circuitos similares al del SYMMET. Cada circuito controla un motor, para facilitar el movimiento a la izquierda o a la derecha, dependiendo hacia dónde hay más intensidad de luz solar. Los sensores ópticos, que simulan ojos, permiten detectar la intensidad de la luz y así, permitirle al robot ir en la dirección correcta.



Figura 5. Robot BEAM Photopopper. Tomado de “Beam bot-Photopopper [Tutorial]”, por Tasi Geri, 2017.

El curso, basado en la propuesta, se iniciará con la construcción de estos dos últimos robots BEAM, debido a su simplicidad. En este caso, se busca que el estudiante logre identificar y relacionar de manera intuitiva, la función de cada elemento electromecánico de los diseños. También, al inicio de cada curso, se abordarán temas de electricidad y electrónica, como complemento inicial a la construcción y posterior ejecución de los robots. Se espera que si los robots no funcionan, los constructores tengan que realizar un proceso de inspección y búsqueda de fallas o “debugging”, similar a los realizados en la programación de lenguajes de computadora, pero enfocado en hardware. La falla es un evento esperado y agradecido en el curso, ya que el ensayo y error fomenta las habilidades para la ciencia y la ingeniería (Shute, Sun, & Asbell-Clarke, 2017) interventions, assessments, and models. After synthesizing various approaches used to develop the construct in K-16 settings, we have created the following working definition of CT: The conceptual foundation required to solve problems effectively and efficiently (i.e., algorithmically, with or without the assistance of computers).

### Relación con el pensamiento computacional

La relación con los lenguajes de programación y algoritmos es un tema que se explorará en el curso. El pensamiento computacional, normalmente es relacionado con codificar o programar, sin embargo, tiene mayores implicaciones cognitivas. Cuando se aborda el entendimiento de un sistema, no solo el informático, sino en general, se debe abstraer cada uno de sus elementos. De esta manera, se puede caracterizar su funcionalidad y como se relaciona internamente e interactúa con el exterior. En el pensamiento computacional, se refuerza la abstracción de los sistemas y, en un procedimiento paso a paso toma entradas y produce alguna salida deseada (Shute et al., 2017) interventions, assessments, and models. After synthesizing various approaches used to develop the construct in K-16 settings, we have created the following working definition of CT: The conceptual foundation required to solve problems effectively and efficiently (i.e., algorithmically, with or without the assistance of computers). En la robótica BEAM, la computadora que le da vida, es análoga y está conectada directamente a la morfología del robot. Cualquier anomalía en esta conformación puede cambiar

la conducta del robot, por tal razón, se tiene que entender el funcionamiento de cada elemento y cómo se relaciona entre sí. Sin embargo, dada la sencillez del diseño, es posible abstraer y concretizar su construcción de manera simple. Otro tema del pensamiento computacional, es la resolución de problemas, la generalización y la prueba y error (Bers, Flannery, Kazakoff, & Sullivan, 2014). Como hemos explicado anteriormente, en la construcción de los robots se esperan que existan fallos en la construcción y la ejecución. Estos retos motivan a la resolución de problemas y al debugging, además, de propuestas para mejorar el diseño y el proceso de construcción. Toda la experiencia adquirida en el rediseño, construcción y debugging promueve la construcción de entes más complejos; y así, la generalización del pensamiento y el conocimiento.

### Dándole valor al WEEE

Otro aspecto importante de la robótica BEAM, es que incentiva la robótica de bajo costo lo que permite unos recursos didácticos baratos, simples y sostenibles (Klapyta, 2014). De hecho, esta característica permite que los robots sean construidos con elementos de fácil reciclaje desde los WEEE (Tilden, 1997). En la Figura 6 se muestra una impresora que ya no funciona y que es considerada WEEE. Actualmente su propósito es saturar aún más los vertederos de nuestro país. Sin embargo, en su interior existen elementos, no sólo electromecánicos, también plásticos y metálicos podrían ser reciclados. A la derecha de la impresora mostramos los motores típicos que se le pueden extraer y aprovecharlos para la construcción de los robots BEAM. Además, también se muestran motores extraídos de pequeños abanicos, discos duros dañados, pero que sus motores están en buenas condiciones; y una fuente de tensión de una UPS, el cual es un sistema de respaldo de energía para el equipo informático. Todo este equipo contiene gran cantidad de elementos que funcionan y que, en nuestra propuesta, se integran al currículo del curso a través de la robótica BEAM. En la Figura 7, se muestra un antiguo amplificador de audio que también iba a ser desechado, sin embargo, ahora es parte del recurso didáctico del curso. Se muestran típicos elementos electrónicos de los componentes de la computadora análoga del robot, tales como capacitores, transistores y resistencias. En el currículo del curso se propone introducir el reciclaje de los WEEE con el objetivo de utilizar la menor cantidad de equipo comprado en tiendas de electrónica.

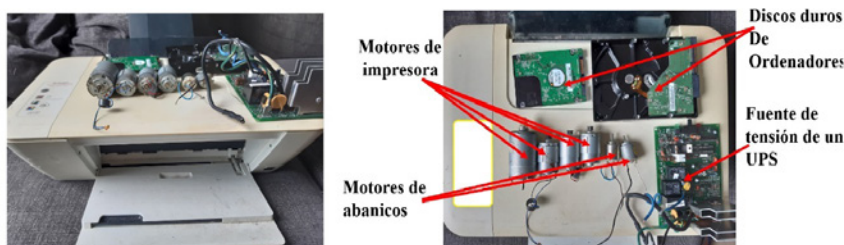


Figura 6. Una impresora, discos duros y partes electromecánica que pueden ser obtenidas de estos WEEE

### La robótica BEAM y STEM

La filosofía BEAM trata con un robot autónomo que contiene las herramientas para sobrevivir en una ambiente desconocido y hostil. Este hecho, incentiva al estudiante

a construir un robot, con la capacidad de movilidad, búsqueda de energía y detección de obstáculos manteniendo un diseño simple y eficiente desde el punto de vista energético. Para cumplir estas metas, el diseño y construcción de los robots, debe integrar conocimiento de biología, mecánica, electrónica, sistemas de control, inteligencia artificial, matemática y procesos secuenciales o algorítmicos para concretar estas metas (Rietman et al., 2003). Además, son necesarias las habilidades en resolución de problemas, diseño de ingeniería, búsqueda e identificación de fallas e integración de múltiples competencias. Los robots BEAM, en consecuencia, deberían promover estas habilidades ya que tienen el potencial implícito de soportar el currículo STEM. Aunque este supuesto, no ha sido demostrado con toda evidencia, ya que actualmente se está desarrollando el curso con esta hipótesis, estudios previos sobre robótica educativa con características similares, han demostrado una mejora en estas habilidades (Ruiz-del-solar et al., 2004; Rihtaršič et al., 2016; and mechanical and electrical engineering, these three areas should be emphasized equally. Many studies reveal impressive learning of computer science and mechanical engineering, but clear evidence of the effectiveness of electronics learning in the higher order thinking skills of middle school students is still lacking. We designed three different robotics courses with electronics subject matter introduced through experiential learning. A parallel group design was used, where three different open learning courses were implemented for middle school students. Based on results of the first and second implementations, we improved students' learning of relevant content for each successive step of the experiment. In total, 381 middle school students participated in all experiments and were surveyed using pre- and post-tests. The collected data were analyzed using a quantitative research methodology. The findings revealed that the teaching approach was effective. During the learning process, student interest in robotics increased, and overall achievement improved with a medium effect size ( $\eta^2 = 0.13$ Khine, 2017; Laut, Bartolini, & Porfiri 2015; Sullivan & Heffernan, 2016)RCKs have a unique double application: They may be used for direct instruction in robotics (first-order uses.



Figura 7. Un amplificador y sus partes internas. Se muestran los elementos que pueden ser reciclados

El proyecto en desarrollo pondera actividades de “recuperación de elementos de equipo de descarte”, sumando así un elemento de reuso y apoyo a la gestión de residuos. Siendo esta meta, una innovación para que los estudiantes desde el inicio, comprendan las funciones de los elementos que constituyen los aparatos tecnológicos, que

actualmente, sólo se ven como una caja negra. De esta manera, se cambia el enfoque hacia el aprendizaje electromecánico del mismo equipo, y no en la programación, desde una robótica educativa basada en microprocesadores. Sin embargo, la propuesta va en la línea de complementar ambos enfoques, y usar un conocimiento más íntimo de la tecnología integrada y subyacente en la robótica con microprocesadores.

## Metodología

La metodología para el diseño del curso estará basada en el enfoque constructorista “aprender haciendo” de Seymour Paper (Papert & Harel, 1991) y la robótica BEAM. Con este objetivo se va a desarrollar un currículo que soporta el proceso enseñanza-aprendizaje de un curso de robótica BEAM, el cual los participantes tendrán posibilidad de aprender habilidades STEM concretizando un esquema electromecánico con principios de inteligencia artificial, en un ente con autonomía y capacidades de autopreservación. Con este fin, el curso implementará actividades que fortalezcan competencias técnicas, tales como: biología, mecánica, electricidad, electrónica, computadores análogos, reciclaje de WEEE y fuentes de energía. Además se potenciará los tres tipos de conocimientos: el conocimiento procedimental, que es la capacidad de responder preguntas o resolver problemas mediante la manipulación de reglas, algoritmos y procedimientos específicos; conocimiento conceptual, que es la capacidad de comprensión de conceptos generales y reconocimiento de su aplicación en diversa situaciones; y conocimiento cualitativo, que es la capacidad de comprender o evaluar un fenómeno específico en un sistema sin depender necesariamente de un conocimiento formal, como ecuaciones y términos físicos (Tuluri, 2017).

La metodología de esta propuesta contempla: el diseño de un plan con objetivos y acciones concretas para crear un currículo basado en robótica BEAM, la identificación y habilitación de un escenario de acción donde podamos desarrollar este plan: un ambiente de aprendizaje BEAM. También, se describe la gestión de los recursos necesarios, tales como: el WEEE, insumo mecánico y electrónico, equipos de soldadura e instrumentación electrónica y de seguridad, así como, mobiliario y otros equipos de oficina. Se ha propuesto dividirlo en dos fases:

- Primer curso experimental de robótica básica utilizando residuo eléctrico y electrónico, enfocado en robótica BEAM. En esta etapa, se crea un plan de trabajo para la organización logística y didáctica de los cursos: diseño del ambiente de aprendizaje, perfil específico de los tutores del curso y el asistente de proyecto, logista de los cursos (ejemplo: cantidad y perfil de los estudiantes entregables por parte de los tutores y estudiantes), diseño curricular de los cursos, actividades de evaluación del proyecto y de los cursos.
- Segundo curso experimental de robótica básica utilizando residuo eléctrico y electrónica, enfocado en robótica BEAM. En la segunda fase, se iniciará con un foro en el cual se expondrán las experiencias de los investigadores, tutores, tesis y estudiantes como estrategia de divulgación. Para el segundo curso de robótica se utilizarán las experiencias y evaluaciones de resultados del primer curso presentadas en su informe final para realizar mejoras a su currículo y al ambiente de aprendizaje. Al final de este curso, se entregará un currículo, guía didáctica y plan de desarrollo del curso final, que será apoyada por las experiencias y evaluaciones de los investigadores, tesis, tutores y estudiantes. Todos

estos documentos tendrán como objetivo primordial servir de referencia y apoyo a futuros cursos en esta Universidad y a otros centros educativos interesados.

Para el desarrollo de los cursos se contará con personal con los siguientes roles:

- *Tutor*: el curso estará guiado por un tutor que guíe en el proceso de aprendizaje.
- *Líderes e investigadores*: tanto el diseño del curso, su desarrollo y puesta en marcha será gestionado por dos líderes que se encargarán de la gestión administrativa del proyecto. Además, tendrán la misión de generar conocimiento, gracias a las tareas de investigación que realizarán, basados en los resultados de los cursos.
- *Asistente*: Se contratará un ayudante para asistir en las actividades logísticas y soporte a los tutores en las clases y líderes.

Para evaluar el cumplimiento de este objetivo se creará un plan de trabajo para la organización logística y didáctica de los cursos, el cual, se presentarán todas las actividades y la evaluación de desempeño de sus resultados. Estos resultados están especificados en cada etapa y se evaluarán respecto a su estructura específica.

El diseño curricular del curso que es, inicialmente, desarrollado en base a un estado del arte, podrá ser modificado en la segunda etapa, debido a una evaluación del rendimiento, las experiencias y sugerencias, tanto de los investigadores, tesistas, tutores y estudiantes del primer curso. Esto desde el punto de vista, de la estructura logística del ambiente del aula y desde el punto de vista didáctico. El diseño curricular enfocará el desarrollo de la guía didáctica, y ésta tendrá la evaluación de resultados del desempeño de los estudiantes. Asociados a los cursos, los líderes, en calidad de investigadores, realizarán una investigación de tipo experimental, longitudinal y analítica con el objetivo de responder a la hipótesis de la propuesta. Como método de recolección de datos se realizarán entrevistas antes y después de cada curso a los estudiantes y a los tutores. Además, se utilizarán una prueba de nivel de conocimientos y habilidades antes, durante y al final de cada curso enfocada en STEM. Todo esto se realizará con el consentimiento formal de los participantes.

## Estado de la propuesta

El avance fue detenido por la pandemia, pero se reactivó con la apertura de movilidad en el país y se está trabajando con una estudiante becaria del proyecto. Ante la realidad COVID-19 el desarrollo se ha adaptado para la virtualidad. Se utilizará una plataforma, que es también utilizada para cursos de las materias de las carreras de la universidad. Se planifica iniciar en enero, con 14 estudiantes seleccionados previamente, en clases síncronas y asíncronas. Los estudiantes que participarán en el primer curso, se les entregará por correo físico los kits para construir y probar los robots. Estos kits, tendrán una cantidad suficiente de elementos para armar tres robots BEAM, así como las herramientas, tales como: multímetros, pinzas de corte y de punta, destornilladores y cautín. Se espera en el segundo curso, introducir el aspecto de reciclaje de los WEEE y cómo integrar los elementos recuperados en la construcción de los robots.

En la Figura 8 se muestra un ejemplo de algunos de los artículos que van a formar parte de los kits. En este caso, estos elementos son suficientes para armar el SYMMET de la Figura 3. También, se muestra un ejemplo del proceso de construcción de este ro-

bot BEAM. No es necesario un conocimiento previo en electrónica o electricidad para el curso.

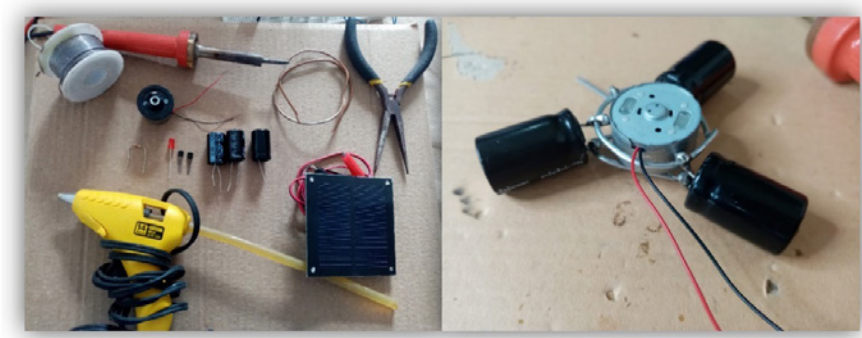


Figura 8. Ejemplo de los elementos electrónicos y herramientas para construir el robot BEAM SYMMET

Se está trabajando en el desarrollo del currículo de los cursos, los cuales contienen actividades que tratan los temas de la Tabla 1.

Tabla 1

*Temas que tratar en el curso de robótica BEAM*

Seguridad eléctrica y mecánica Principios de electricidad y electrónica.	La morfología del robot El robot devorador de Luz
Herramientas	Sensores ópticos
Soldando	La red neuronal NV
El Robot SYMMET	El arte y la robótica
El circuito electrónico	El robot beam Walker o caminante
El motor eléctrico	El sincronismo y la secuencia
La celda solar	Describiendo a tu robot

Con respecto al sistema de evaluación que se utilizará para responder a la pregunta de la hipótesis, se está piloteando, dada la actual situación virtual, dos alternativas para escoger el mejor modelo de valoración de habilidades adquiridas. Es necesario que se permita determinar y medir la capacidad y habilidades actuales de cada participante y si con el curso, cambian. Como ejemplo, la prueba puede considerar tres dimensiones (Muñoz-Repiso & Caballero-González, 2019):

- Conocimientos técnicos en electrónica, mecánica y electricidad.
- Habilidad para la construcción de un robot BEAM, que cumpla con los criterios básicos de esta filosofía, como: movimiento autónomo y controlado por la morfología, búsqueda de energía y respuesta de autopreservación a estímulos externos.
- Demostración de pensamiento computacional a través de: ejecución de acciones secuenciales y algorítmicas en la construcción y prueba del robot; seguimien-

to de instrucciones básicas para que el robot manifieste una conducta BEAM; e identificación y corrección de errores de diseño y construcción.

También, se puede medir la habilidad para el rediseño. Esto implica evaluar si los participantes, después del curso, han adquirido la capacidad de cambiar la morfología o alguna otra característica para mejorar el robot en cuanto a funcionalidad o forma. Este último, implica un cambio estético o la simulación de otra forma diferente al propuesto inicialmente.

## Conclusiones

En este trabajo se ha descrito una propuesta que busca potenciar el currículo STEM en estudiantes de ingeniería de la Universidad Interamericana de Panamá, a través del desarrollo de un currículo y un curso basado en la construcción de robots BEAM. La robótica BEAM, trata de robots biomórficos, controlados por una computadora análoga simple que tiene como objetivo la autonomía y autopreservación del robot, y que es independiente del humano. Dados estos principios, en el curso se pretende utilizar, como recurso didáctico, la construcción de estos robots con el objetivo de soportar un proceso de enseñanza-aprendizaje de competencias técnicas, tales como: biología, mecánica, electrónica, sistemas de control, inteligencia artificial, matemática y procesos secuenciales o algorítmicos. Además, otro criterio es la utilización de elementos recuperados de WEEE con el objetivo de construir robots de bajo costo.

La propuesta está en su primera fase, pero se describe para invitar a otros investigadores del área a probar su desarrollo y realizar trabajos conjuntos que permitan comparar los resultados. Se espera con esta propuesta disponer de un curso de bajo costo y entretenido para el aprendizaje de la robótica que fomente el currículo STEM, y que pueda llegar a ser implementado, no solo en instituciones de educación superior, sino en colegios y escuelas de cualquier país.

Agradecemos al Convenio Andrés Bello que permite divulgar este proyecto, como parte de sus líneas de integración desde la educación, la ciencia y la tecnología; siendo que ellos han apoyado a sus países miembros en el desarrollo de políticas públicas en C y T, y han marcado generaciones con proyectos como lo fue Expedición Andina. Un hito latinoamericano del que el autor principal de este proyecto fue beneficiario indirecto.

Para seguir los detalles del avance del curso pueden seguir el siguiente canal de YouTube: [https://www.youtube.com/channel/UCrpZOWnRxK1eiv7\\_CgUXOuA?view\\_as=subscriber](https://www.youtube.com/channel/UCrpZOWnRxK1eiv7_CgUXOuA?view_as=subscriber)

## Referencias bibliográficas

- Barak, M., & Assal, M. (2018). Robotics and STEM learning : students' achievements in assignments according to the P3 Task Taxonomy practice, problem solving, and projects. *International Journal of Technology and Design Education*, 28, 121-144. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10798-016-9385-9>
- Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers and Education*, 72, 145-157. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.020>

- Hasslacher, B., & Tilden, M. W. (1995). Living machines. *Robotics and Autonomous Systems*, 15(1-2), 143-169. Doi: [https://doi.org/10.1016/0921-8890\(95\)00019-C](https://doi.org/10.1016/0921-8890(95)00019-C)
- Ilanakoon, I. M., Ghorbani, Y., Nan, M., Herath, G., & Moyo, T. (2018). E-waste in the international context – A review of trade flows, regulations, hazards, waste management strategies and technologies for value recovery. *Waste Management*, 82, 258-275. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.018>
- Khine, M. S. (Ed.). (2017). *Robotics in STEM Education: Redesigning the Learning Experience*. Springer.
- Klapyta, G. (2014). Mobile Walking Robot "GREG ": PBL project designed in Accordance with BEAM Phylosofy. En *15th International Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM)*. El Gouna, Egipto
- Laut, J., Bartolini, T., & Porfiri, M. (2015). Bioinspiring an interest in STEM. *IEEE Transactions on Education*, 58(1), 48-55. Doi: <https://doi.org/10.1109/TE.2014.2324533>
- Muñoz-Repiso, A. G. V., & Caballero-González, Y. A. (2019). Robotics to develop computational thinking in early childhood education. *Comunicar*, 27(59), 63-72. Doi: <https://doi.org/10.3916/C59-2019-06>
- Papert, S., & Harel, I. (1991). *Situating constructionism*. In *Constructionism*. Ablex.
- Rietman, E. A., Tilden, M. W., & Askenazi, M. (2003). Analog computation with rings of quasiperiodic oscillators : the microdynamics of cognition in living machines. *Robotics and Autonomous Systems*, 45, 249-263. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2003.08.002>
- Rihtaršič, D., Avsec, S., & Kocijancic, S. (2016). Experiential learning of electronics subject matter in middle school robotics courses. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(2), 205-224. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9310-7>
- Ruiz-del-solar, J., Member, S., & Avilés, R. (2004). Robotics Courses for Children as a Motivation Tool : The Chilean Experience. *IEEE Transactions on Education*, 47(4), 474-480.
- Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying computational thinking. *Educational Research Review*, 22, 142-158. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>
- Sullivan, F. R., & Heffernan, J. (2016). Robotic construction kits as computational manipulatives for learning in the STEM disciplines. *Journal of Research on Technology in Education*, 48(2), 105-128. Doi: <https://doi.org/10.1080/15391523.2016.1146563>
- Tasi Geri. (5 de octubre de 2017). *Beam Bot - Photopopper [Tutorial]* [archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=abkS5CrZloU>
- Tilden, M. W. (1997). *The Design of "Living" Biomech Machines: How low can one go? Physics Division Los Alamos National Laboratory*. Recuperado de [http://beam-robot.ru/library/publishing/The\\_Design\\_of\\_Living\\_Biomech\\_Machines\\_How\\_low\\_can\\_one\\_go\\_\(Tilden\\_1997\).pdf%0Apapers3://publication/uuid/7A8DA114-AC8E-4684-83D5-0535F240C5BA](http://beam-robot.ru/library/publishing/The_Design_of_Living_Biomech_Machines_How_low_can_one_go_(Tilden_1997).pdf%0Apapers3://publication/uuid/7A8DA114-AC8E-4684-83D5-0535F240C5BA)
- Ucugul, M., & Cagiltay, K. (2014). Design and development issues for educational robotics training camps. *International Journal of Technology and Design Education*, 24(2), 203-222. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10798-013-9253-9>
- Vadakkepat, P., & Tan, S. J. (2012). Analogue neuronal network in a biomorphic machine: modelling and simulation in ADAMS. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 34(2/3), 184-212. Doi: <https://doi.org/10.1177/0142331210366645>