

# Humanoide didáctico y programable de código abierto

Rosalino Rodríguez-Calderón  
Escuela de Ingeniería y Ciencias  
Tecnológico de Monterrey  
Morelia, Mich., México  
[rosalino@tec.mx](mailto:rosalino@tec.mx)

Rubén Belmonte-Izquierdo  
Escuela de Ingeniería y Ciencias  
Tecnológico de Monterrey  
Morelia, Mich., México  
[ruben.belmonte@tec.mx](mailto:ruben.belmonte@tec.mx)

**Abstract**— En este trabajo se muestra el desarrollo de una plataforma online abierta que contiene las instrucciones para construir un robot humanoide de bajo costo. Dicha plataforma está dirigida a todos los niveles educativos de habla hispana dada la poca información para el desarrollo de robots humanoides en este idioma. El proyecto comenzó en el Tecnológico de Monterrey Campus Morelia con la intención de que los estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica replicaran un humanoide de código abierto y así pudieran aplicar todos sus conocimientos, habilidades y competencias en electrónica, programación, control, modelado en 3D y manufactura aditiva. A partir de la información de esta plataforma, se construyó un robot con enfoque en divulgación capaz de mover sus brazos y cabeza bidireccionalmente, así como sus dedos. Además, se desarrolló un segundo robot con el objetivo de actuar como filtro sanitario ante la contingencia por la pandemia Covid-19.

**Keywords**— *Humanoides, Plataforma de código-abierto, Innovación Educativa, Educación Profesional, Aprendizaje basado en problemas, Impresión 3D, Divulgación.*

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de humanoides abarca distintos ámbitos de aplicación tales como medicina, servicios del hogar, espacial y trabajos de alto riesgo para los humanos. En el ámbito médico, los humanoides cada vez son más comunes pues se utilizan para hacer intervenciones quirúrgicas menos invasivas en los pacientes, además de ser más rápidas. En los servicios del hogar, actualmente ya existen dispositivos que facilitan o cumplen las tareas domésticas. Adicionalmente, ya se están diseñando humanoides que asistan por completo las tareas del hogar. Otro ámbito y en el cual se enfoca este proyecto es el educativo. Hoy en día, el uso de las tecnologías de impresión 3D y el surgimiento de iniciativas de código abierto para humanoides [1], han permitido una mayor accesibilidad a los mismos para las instituciones educativas y sus fines didácticos, además de que los costos involucrados en el proceso de fabricación de un humanoide se reducen en gran medida gracias a que los archivos e información en la red son completamente gratuitos. Sin embargo, esta información regularmente está dispersa y en idiomas diferentes al español. En este trabajo se muestra el resultado de una investigación, depuración de datos y concentración de información, tal que permita a las instituciones educativas de habla hispana tener acceso a dicha información en su idioma y en un solo sitio. Como resultado del trabajo se presenta una plataforma en web donde los interesados pueden obtener la información esencial para construcción de un robot humanoide. Dicha página web incluye todas las instrucciones, archivos y tutoriales para su armado y funcionamiento de tal forma que cualquier institución educativa pueda tener un humanoide, de nombre Robby, en sus salones de clase.

## II. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con el estudio realizado por la Universidad de Sheffield [2], actualmente se está aplicando el uso de humanoides en dos principales áreas: humanoides como profesores, mentores o acompañantes. Acompañantes para el cuidado de adultos mayores. En el caso de profesores se utiliza la telepresencia para impartir los contenidos [3].

Sin embargo, es una realidad que los robots humanoides no se emplean ampliamente dentro de los salones de clase como una herramienta en el proceso de enseñanza aprendizaje debido a los altos costos y complejidad que representan [4].

Los robots en los cursos de educación superior permiten a los estudiantes integrar sus conocimientos de ingeniería, enfatizar la experiencia práctica y desarrollar la creatividad y el trabajo en equipo para completar un sistema robótico. La educación superior requiere que los profesores decidan un equilibrio entre los aspectos teóricos y experimentales, ambos necesarios para satisfacer las necesidades de la industria. La competencia para diseñar e integrar sistemas mecatrónicos creativos e innovadores se ha convertido precisamente en una demanda de la industria y las instituciones de investigación [5,6].

Además, entre los beneficios de utilizar robots como una herramienta educativa se encuentran, que este tipo de proyectos en equipo fomentan a los estudiantes a comunicarse y colaborar [7]. También generan enganche y motivación del estudiante al promover un sentimiento de responsabilidad y sentido de pertenencia al ser parte de un grupo que desarrolla tecnología [8].

En algunas universidades, el robot NAO se ha utilizado como una herramienta para motivar a los estudiantes en el proceso de aprendizaje, conseguir clases más dinámicas y aumentar el interés de los estudiantes en el aula. NAO es un robot de 58 centímetros capaz de percibir su entorno e interactuar con el mismo. Sin embargo, su uso está restringido a las rutinas programadas que el usuario puede crear. Es un sistema que no permite a los usuarios interactuar de forma específica, ni con la estructura mecánica ni con la electrónica (sensores y actuadores).

Por otro lado, el proyecto Poppy [9] desarrolla una plataforma de acceso abierto para crear un humanoide impreso en 3D y permite explorar algunas variantes morfológicas. Entre los beneficios de este tipo de plataformas se encuentra que los diseños se pueden generar y modificar desde casa utilizando una impresora 3D [10]. Sin embargo, esta plataforma únicamente se muestra en inglés y francés. Esto genera cierta dificultad para replicar por parte de hispanohablantes.

En resumen, estos datos nos dan una idea del avance y posición que tienen los humanoides a nivel mundial

actualmente. En realidad, existen escasos proyectos de robots humanoides de código abierto que permitan a los usuarios construir su propio robot a partir de archivos de datos abiertos. Por ello, hay una gran oportunidad de hacer la tecnología asequible y accesible a la población hispanohablante tal que les permita adoptar, colaborar, difundir y mejorar sus proyectos rápidamente.

De acuerdo con el Diccionario de la Lengua Española publicado por la Real Academia Española, un autómata es “una máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado”. Robby es un autómata de código abierto de apariencia humana (humanoide) con propósitos didácticos y de bajo costo. Por otro lado, los recursos de código abierto son proyectos que buscan ofrecer una plataforma de desarrollo, de bajo costo a diferentes universidades, laboratorios y “makers”. Este humanoide puede ser creado por cualquier persona que posea una impresora 3D que tenga un volumen de 20x20x20 cm. Además, al ser de código abierto, permite que cualquier persona, institución u organización le haga las modificaciones que deseen tanto al software como a los modelos digitales de cada una de las partes. La razón por la cual Robby es un autómata humanoide perfecto para la enseñanza es por su relativo bajo costo y por el proceso formativo que involucra el construirlo. Además, de todas las posibles modificaciones a la cuales los alumnos pueden someterlo.

### III. PLATAFORMA EDUCATIVA “ROBBY”

Para poder realizar este proyecto, profesores y alumnos de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica del Tecnológico de Monterrey campus Morelia, siguieron una serie de pasos estructurados que permitieron obtener los resultados deseados, tomando como base la información de código abierto InMoov [1]. El proyecto comenzó realizando una búsqueda exhaustiva de los archivos de las piezas que constituyen el humanoide, mismos que posteriormente fueron depurados y modificados para su óptimo funcionamiento ya que no todas las piezas son de utilidad o requieren de ajuste en dimensionamiento para un perfecto ensamblaje. Una vez que se tuvieron los archivos necesarios se realizó una lista de las piezas que se necesitaban con el objetivo de tener un orden sobre las mismas. Se utilizaron las impresoras 3D para maquinar las piezas y poder después de esto, montar y armar, ver ejemplo en figura 1.

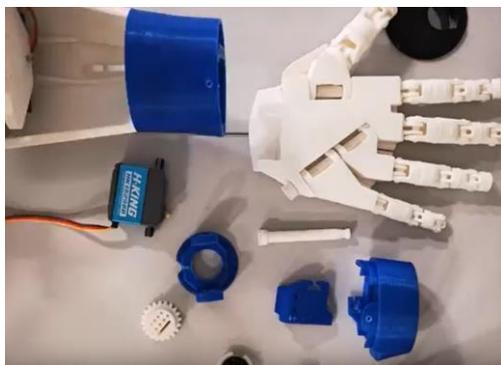


Fig. 1. Componentes individuales que integran una mano robótica.

Las versiones finales fueron agregadas y colocadas en una de las secciones de la plataforma, además se generaron videos tutoriales de ensamblaje, lo cual no es común encontrar, como

se muestra en la figura 2 y 3. Dentro de la plataforma se pueden localizar los tutoriales de ensamble para manos, antebrazos, muñecas, hombros y cuello, todas partes del cuerpo de Robby que involucran la mayor cantidad de piezas individuales. Además, se incluyen las secciones para los tensores y operación de los servos que garantiza y clarifica el ajuste de las partes mecánicas en los dedos y la correcta conexión de los servomotores respectivamente.



Fig. 2. Archivos digitales de cada pieza del robot en formato STL.



Fig. 3. Video tutorial que muestra el ensamble de cara y cuello.

Los archivos STL, necesarios para poder imprimir las piezas que integran al robot humanoide en 3D también se encuentran disponibles en el sitio web de Robby dentro del archivo comprimido zip como se observa en la figura 2. Las carpetas internas que integran el zip y que contienen todos los archivos STL necesarios son manos, antebrazos, muñecas, hombros, bíceps, cara, cuello, cráneo y la base para Robby.

Posteriormente, se analizaron los componentes actuadores y de control. En este sentido los elementos propuestos por InMoov eran de alto costo y complicado de conseguir en América latina, por lo que se propusieron motores de las mismas características de fácil acceso y de menor costo. Además de que se concluyó que la tarjeta Arduino Mega, tecnología conocida mundialmente, es suficiente para completar la electrónica. En la tabla 1 se muestra los elementos electrónicos mínimos para poner en funcionamiento al robot.

TABLE I. COMPONENTES ELECTRONICOS

Componente	Modelo	Cantidad
Placa de control	Arduino MEGA	1
Servomotor de 180°	MG995	11
Servomotor de 90°	HK1598B	2
Motor de DC	HS-805BB	6
Fuente de voltaje	6V @ 1A	1

Con esta información y documentación se construyó e integró una página web, tal como se muestra en la figura 4. De esta forma se digitaliza el proceso de construcción del humanoide, al adjuntar todas las piezas, incluyendo aquellas que fueron mejoradas, así como los videos tutoriales en español para el proceso de armado, con el objetivo de concentrar esta información para que todas las personas de habla hispana puedan tener acceso a estas tecnologías sin que el idioma sea una barrera o represente una dificultad para que se pueda replicar. Además, el hecho de que la información este en el idioma español permite que estudiantes de niveles más bajos como primarias y secundaria también puedan usar el humanoide en sus clases.

Adicionalmente, dentro del sitio web de Robby, se encuentra la sección conócame, la cual presenta una introducción a los robots humanoides, su uso para divulgación científica y posibles usos en diferentes niveles educativos desde primaria, secundaria, preparatoria y nivel superior. Finalmente, podrás conocer a los integrantes del equipo de trabajo, quienes han materializado el contenido de esta plataforma como una forma de contribuir a que la comunidad hispanohablante pueda tener una base para poder desarrollar sus propios robots humanoides.

Como resultado del uso de la información y archivos compartidos en esta plataforma, se obtiene un robot humanoide que es capaz de realizar movimientos bidireccionales de cuello, hombros y articulaciones superiores incluyendo los dedos. En el siguiente enlace se puede obtener la información completa.

Página web: [www.bit.ly/robbytec](http://www.bit.ly/robbytec)

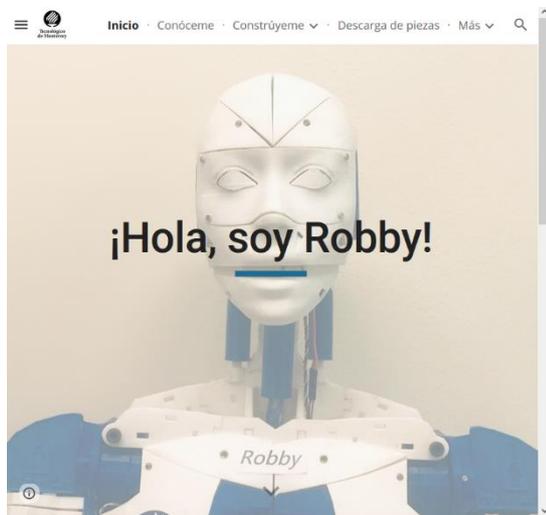


Fig. 4. Página principal del sitio web creado.

#### IV. CASOS DE ESTUDIO

Con base en la información compartida en la página web se construyeron un par de robots humanoides, uno con enfoque en divulgación científica y tecnológica y el segundo como complemento en los filtros sanitarios creados a partir de la pandemia generada por Covid-19. Es decir, se estableció como proyecto integrador de los cursos la construcción de los prototipos.

#### A. Caso I: Robot humanoide para divulgación de la ciencia

En el primer caso, además de la implementación física del robot humanoide, se desarrolló el software que permitiera realizar el control de nuestro humanoide a través de una plataforma con la que el usuario pudiera interactuar fácilmente y de forma didáctica. Para esto se seleccionó el software LabView de National Instruments, con el cual se genera el código de programación que permite a través del hardware Arduino poder controlar la posición de los servomotores que mueven cada una de las partes que integran al humanoide. Además, se diseñó una aplicación para iPad desde la cual el usuario puede interactuar de una forma mucho más visual y didáctica con el robot, ver figura 5. Una vez que se terminó de desarrollar el código de programación y las pruebas pertinentes de funcionamiento, se subió toda la información requerida a la plataforma de Robby para que este proyecto pueda ser replicable de la manera más sencilla posible. Por la tanto, se tiene la sección aprende a controlarme, la cual te permite dar movimiento al robot humanoide Robby por medio de una computadora y una aplicación en tu iPad.

La experiencia antes mencionada se dio en las materias de Control Computarizado y Laboratorio de Mecatrónica, del programa Ingeniero en Mecatrónica del Tecnológico de Monterrey campus Morelia, donde se estableció la construcción y control del humanoide como estrategia de aprendizaje. Durante el periodo académico agosto-diciembre 2019. Con una participación de 13 estudiantes.

Control Computarizado es un curso de nivel intermedio, que tiene la intención de que el alumno conozca, analice y maneje adecuadamente la teoría de control. Como resultado del aprendizaje se espera que el alumno analice basado en leyes físicas y técnicas de identificación de sistemas, diseño basado en especificaciones, implemente usando software y tecnologías digitales y evalúe el desempeño de sistemas de control.

Laboratorio de Mecatrónica es un curso de nivel avanzado, que tiene la intención de proporcionarle al alumno las herramientas de manufactura mecánica y electrónica necesarias para el diseño y construcción de prototipos mecatrónicos. Como resultado del aprendizaje se espera que el alumno pueda aplicar los principales procesos de manufactura mecánica y electrónica para la construcción, el diseño y la validación de prototipos mecatrónicos de acuerdo con especificaciones previamente establecidas.



Fig. 5. Humanoide para difusión de la ciencia y tecnología.

### B. Caso II: Robot humanoide para uso en filtros sanitarios

Con la declaración de la pandemia a nivel mundial debido al Covid-19, parte de los protocolos que se han estandarizado incluyen la medición de la temperatura al ingresar a un lugar. Ahora con el regreso paulatino y presencial a las instituciones de educación, se propuso una aplicación del robot humanoide Robby orientado a su uso en estos filtros sanitarios, por ello, se desarrolló una segunda versión de Robby que permitiera medir la temperatura corporal de las personas.

Para este segundo caso, durante el periodo académico agosto-diciembre 2020 participaron ocho alumnos que cursaban la materia de Electrónica Aplicada, la cual es un curso de nivel intermedio del programa Ingeniero en Mecatrónica del Tecnológico de Monterrey campus Morelia, que proporciona a los estudiantes las herramientas necesarias para diseñar soluciones a problemas prácticos en el área de electrónica.

En esta experimentación se realizó una modificación a la parte del cuerpo combinando material PLA y lámina de acero. La parte estructural de acero del humanoide sirve como soporte para un iPad. En el iPad se desarrolla la configuración del software para que se puedan tomar lecturas de temperatura por medio de una cámara térmica y desplegar la información en la pantalla de la tableta electrónica, como se muestra en la figura 6. Esta versión tiene como objetivo tomar lecturas de temperatura en los accesos de escuelas sin contacto físico, agilizando el ingreso a las instituciones. Sirviendo así como un complemento en los filtros sanitarios, amigable por su forma similar a un humano, en comparación con los termómetros de mano o pedestal que usualmente se utilizan.



Fig. 6. Humanoide para uso en filtros sanitarios durante pandemia.

Al finalizar la experiencia de aprendizaje se vio que los estudiantes consideraron muy relevante para su aprendizaje el proceso de construcción de los robots humanoides, ya que validaron la aplicación práctica de los conceptos y fortalecieron la comprensión de los contenidos abordados en el salón de clase. Lo anterior de acuerdo con los comentarios que los alumnos realizaron al término de sus proyectos, mismos que se listan textualmente a continuación:

“Este proyecto fue el que más reto y desafío presentó a comparación de todos los que había hecho a lo largo de mi carrera. Surgieron muchas complicaciones, pero considero que aprendimos bastante de este desafío”.

“Fue un reto bastante grande, sin embargo, fue satisfactorio el resultado debido a que muchas veces se pensaba que no se lograría algo funcional”.

“Sin duda creo que este proyecto tiene mucho futuro y que se puede llevar más lejos si se sigue trabajando en él, me gustó ser parte de esta nueva versión y espero poder seguir siendo parte de los avances que se tengan en relación con el mismo”.

“Me parece muy bueno que le den seguimiento a los proyectos con otras generaciones, subiendo más el nivel de reto y por consiguiente, mejorando y afinando el proyecto cada vez más”.

“Buen proyecto, sin embargo, siento que nos faltó un poco más de tiempo para desarrollarlo”.

“Me gustó mucho el usar mis conocimientos de otras materias para darle vida a este proyecto”.

### V. CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo se pueden destacar los siguientes logros:

Una plataforma tecnológica que contiene toda la información, así como archivos necesarios para construir un robot humanoide, incluyendo piezas para impresión 3D, tutoriales y códigos que únicamente requieren ser descargados y puestos en marcha. Siendo este proceso un apoyo pedagógico para ver la aplicación de diversos contenidos y tecnologías. En educación primaria para motivar a los niños, ya que la interacción con el robot despertará interés en su mente con el simple hecho de verlo moverse con tan solo presionar un botón. En educación secundaria y media-superior bajo el hecho de que el funcionamiento del autómata incluye la aplicación de conocimientos de mecánica, computación, programación, matemáticas, física y robótica básica, por lo tanto, el contar con una herramienta de este estilo podrá ayudar a ejemplificar y transmitir los conocimientos de manera más didáctica y tangible. En educación superior los humanoides involucran temas de programación avanzada, controles automáticos, visión, reconocimiento de imágenes y voz, inteligencia artificial, entre otras disciplinas.

Por otro lado, la interfaz permite un acercamiento mucho mayor con personas de todas las edades debido a su accesibilidad, presentación y a que es amigable con el usuario. La interfaz es una manera visualmente atractiva para que cualquier persona desde una tableta electrónica tenga la posibilidad de controlar el robot e incluso establecer una secuencia de movimientos que puede ser replicada por el humanoide de manera automática. Además, es una herramienta que acerca al robot a su propósito, ya que se espera que pueda ser utilizado con estudiantes de educación básica, media-superior y superior. Los cuales pueden en estos movimientos encontrar la utilidad de conceptos matemáticos como vectores, matrices, ángulos, etc. Así como conceptos de física como fuerzas, momentos de torsión, entre otros.

Adicionalmente, tienen la función de representar un reto para los alumnos, ya que siempre se pueden hacer mejoras aplicando nuevos conocimientos y adaptándolo a las necesidades que surjan con el paso de los años. Ejemplo de ellos es el segundo caso de estudio, ya que a raíz de los nuevos protocolos de acceso generados a partir de la pandemia Covid, se orientó el proyecto para obtener la medición corporal de temperatura, dando un enfoque médico.

Finalmente, esta plataforma rompe con el paradigma de que la construcción de un robot humanoide es compleja y costosa. Acercándola de forma sencilla a toda la comunidad de habla hispana dado que la información esta complementate en el idioma español.

#### AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a todos los estudiantes del Tecnológico de Monterrey campus de Morelia y profesores que apoyaron y contribuyeron en esta experiencia de aprendizaje.

El autor desea agradecer el apoyo financiero de Writing Lab, Institute for the Future of Education, Tecnológico de Monterrey, México, en la producción de este trabajo".

Los autores agradecen el apoyo económico brindado por el fondo NOVUS 2019, una iniciativa del Tecnológico de Monterrey, para llevar a cabo la experimentación.

#### REFERENCIAS

- [1] G. Langevin, "InMoov, Open Source 3D printed life-size robot," [Online]. Available: <http://inmoov.fr/>.
- [2] Sharkey, A.J.C. Should we welcome robot teachers?. *Ethics Inf Technol* 18, 283–297 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10676-016-9387-z>
- [3] Profesor Avatar "Telepresence Model", [Online]. Available: <https://profesoravatar.com/>
- [4] E. Tosello, S. Michieletto and E. Pagello, "Training master students to program both virtual and real autonomous robots in a teaching laboratory," in *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Abu Dhabi, 2016.
- [5] S. Jung, "Experiences in Developing an Experimental Robotics Course Program for Undergraduate Education," *IEEE Transactions on Education*, vol. 56, no. 1, pp. 129-136, February 2013.
- [6] H.-Y. Liu, W.-J. Wang and R.-J. Wang, "A Course in Simulation and Demonstration of Humanoid Robot Motion," *IEEE Transactions on Education*, vol. 54, no. 2, pp. 255-262, May 2011.
- [7] S. Jung, "Experiences in Developing an Experimental Robotics Course Program for Undergraduate Education," *IEEE Transactions on Education*, vol. 56, no. 1, pp. 129-136, February 2013.
- [8] T. Tokola, N. Saari, J. Kälkäinen and J. Röning, "Digital Fabrication in Promoting Student Engagement and Motivation in University Courses," in *Proceedings of the FabLearn Europe 2019 Conference (FabLearn Europe '19)*, Oulu, Finland, 2019.
- [9] Flowers laboratory at Inria Bordeaux Sud-Ouest, "The Poppy Project," [Online]. Available: <https://www.poppy-project.org/en/>.
- [10] M. Lapeyre, P. Rouanet, J. Grizou, S. Nguyen and F. Depraetre, "Poppy project: Open-Source fabrication of 3D printed humanoid robot for science, education and art," Nantes, France., 2014. G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529–551, April 1955. (*references*)