

# #CSTAG

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

ISSN: 2346 - 139X

EDICIÓN 14



Corporación Unificada Nacional  
de Educación Superior

VIGILADA MINEDUCACIÓN



El error está permitido, siempre que se cometa una sola vez y dentro de una búsqueda sincera de conocimiento. Esa es la condición humana: el hombre busca el conocimiento.

ALEJANDRO JODOROWSKY

# #GSHtag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

EDICIÓN 14



**Liliana Margarita Rodríguez Rodríguez**

*Rectora*

*Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN*

**Rodrigo Fernando Acosta Trujillo**

*Vicerrector Académico y de Investigaciones*

**Tomás Durán Becerra**

*Director Nacional de Investigaciones*

**Sebastian Soto Gaona**

*Editor General*

**Rocío Olarte Dussán**

*Coordinadora de Publicaciones*

#ashtag

---

**Edición 14**

© Agosto, 2019. Corporación Unificada Nacional de Educación Superior CUN  
Bogotá, Colombia.

**Corrección de estilo:**

Sebastián Camilo Moreno Gómez  
Daniela Lorena Rojas Galván

**Composición de carátula y diagramación:** Lina Guevara Buitrago

**Imagen de carátula:** Said Pinzon Castañeda

**Primera edición:** febrero de 2013

ISSN 2346 - 139X

Reservados todos los derechos.

Se prohíbe el uso comercial y sin autorización del material intelectual contenido en esta obra. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin permiso del editor.

## Comité científico

### **Yury Vanessa Nieto**

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN  
Magíster en Tecnologías de la Información

### **Yesid Díaz Gutiérrez**

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN  
Magíster en Ingeniería de Software

### **Juan Carlos Figueroa**

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Doctor en Ingeniería

### **Hernando Javier Artega Silva**

Institución Tecnológica del Sur  
Magíster en Tecnologías de la Información

### **Roberto Ferro Escobar**

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Doctor en Ciencias de la Computación

## Comité editorial

### **Rocío Olarte Dussán**

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN  
Magíster en Literatura

### **Darío Fernando Cortés Tobar**

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN  
Máster en Electrónica, tratamiento de señal y Comunicaciones

### **Dante Giovanni Sterpin Buitrago**

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN  
Especialista en Docencia Universitaria

### **Sebastian Soto Gaona**

Corporación Unificada Nacional de Educación Superior - CUN  
Ingeniero Mecatrónico

# Contenido

---

## **1. Puck Collect Robot Challenge: aplicación de control difuso y cinemática en robot móvil diferencial y omnidireccional**

*Guillermo M. Madariaga Sierra y Rafael E. Calderón Álvarez*

Pág. **11**

---

## **2. Implementación sistema de invernadero automatizado para producción de multicultivos agrícolas educativos en el SENA de Mosquera**

*Adolfo Sebastián Fonseca Luna y Johan Leonardo Ramos Ramírez*

Pág. **31**

---

## **3. Armadura para columnas estructurales para un puente-grúa de 20 toneladas**

*Duvan Peña*

Pág. **39**

---

## **4. Plataforma robótica teleoperada para el Mercury Remote Robot Challenge**

*Said Pinzón Castañeda, Alex Medina Cely y Sergio Daniel Díaz*

Pág. **51**

---

## **5. Herramientas web 2.0 como apoyo para la formación en educación superior**

*William Enrique Lara Castro, Mayerlin del Carmen Cogollo López y Abel Nonato Royo Galeano*

Pág. **67**

---

## **6. Panorama de la robótica colombiana en ámbitos sociales**

*Yeyson Alejandro Becerra Mora*

Pág. **85**

---

# Editorial

---

La revista #ashtag de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) presenta en esta edición una colección de artículos que emplean metodologías de investigación y de ingeniería cuyo resultado es la solución de problemas en contextos industriales, académicos y de investigación correlacionados a las necesidades regionales y nacionales.

En nuestra nueva versión #ashtag abordamos temáticas de control, automatización, plataformas robóticas, estructuras, control difuso, herramientas web, entre otros diversos temas de interés general que desarrollan procesos de análisis matemático y avanzadas técnicas de ingeniería como respuesta a necesidades que tienen carácter dinámico dentro de una sociedad que va constante evolución.

Esperamos que #ashtag se convierta en un material habitual de consulta para estudiantes y profesionales que quieren mantenerse al tanto de las nuevas tendencias en investigación, y de desarrollo tecnológico con enfoque social.

Para los autores que deseen participar en la revista, la postulación de manuscritos inéditos se puede hacer a través de la plataforma de la revista o por el correo electrónico:

Website: <https://revistas.cun.edu.co/index.php/hashtag>

Email: [hashtag@cun.edu.co](mailto:hashtag@cun.edu.co)

*Sebastian Soto Gaona*  
Editor en jefe

# Puck Collect Robot Challenge: aplicación de control difuso y cinemática en robot móvil diferencial y omnidireccional

Guillermo M. Madariaga Sierra\* y Rafael E. Calderón Álvarez\*\*

## Resumen

*Puck Collect Robot Challenge* es un concurso que consiste en que dos robots autónomos recolecten discos de un color (rojo para uno, azul para el otro) y los trasladen a una base ubicada en una esquina del campo, que es de 250 x 250 cm del mismo color asignado. El que traiga más discos a la base ganará; o en el caso de llevar el mismo número, el que lo haga más rápido. En este artículo se presenta la implementación de un robot autónomo en la que se aplica control difuso y conceptos de cinemática, para lograr enrutar el robot hacia el disco y posteriormente hacia la base.

## Abstract

Puck Collect Robot Challenge is a contest in which two autonomous robots have the task of collecting pucks of one color (red for one, blue for the other) and transfer them to a base located in a corner of the field that is 250 x 250 cm of the same color assigned. The one that brings more pucks to the base, or in the case of carrying out the same number, the one that makes faster, wins. This article presents the implementation of an autonomous robot where diffuse control and kinematics concepts are applied to route the robot to the disk and then to the base.

## Cómo citar este artículo

(APA): Madariaga, G., Calderón, R. (2019). Puck Collect Robot Challenge Aplicación de Control Difuso y Cinemática en Robot Móvil Diferencial y Omnidireccional. *Hashtag*, 14, 11-30.

> **Palabras clave:** cinemática, control difuso, lógica difusa, procesamiento de imágenes, reconocimiento de colores, robot autónomo, visión artificial

> **Keywords:** Autonomous Robot, Artificial Vision, Image Processing, Color Recognition, Fuzzy Logic, Fuzzy Control, Kinematics.

\* Estudiante de Ingeniería Electrónica, CUN. Contacto: guillermo.madariaga@cun.edu.co

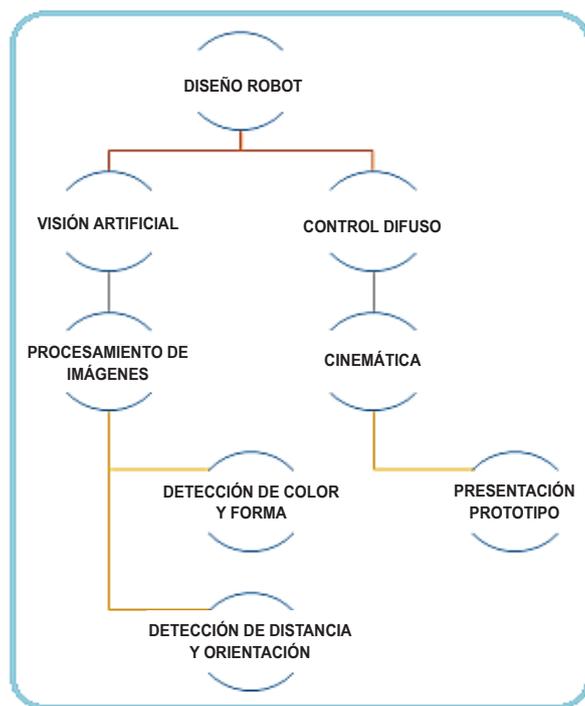
\*\* Estudiante de Ingeniería Electrónica, CUN. Contacto: rafael.calderonalv@cun.edu.co

## Introducción

En este artículo se presenta la implementación de una plataforma autónoma con uso de visión artificial para el reconocimiento de los colores, que trabaja con una cámara como sensor y con Python (Open CV), Matlab o Arduino (C++), como software de apoyo para este tipo de implementación. En el proceso se averiguó sobre el tamaño y forma del objeto, lo cual

ayudó a calcular posición y distancia. Se explica el control difuso proporcional derivativo (PD) y su razonamiento difuso: *fuzzificación*, inferencia difusa y *defuzzificación*, así como el modelo cinemático de dos plataformas: diferencial y omnidireccional, con el fin de exponer el desarrollo del robot con el cual se logró el enrutamiento necesario para el *Puck Collect Robot Challenge*.

Figura 1. Ruta de diseño



Fuente: elaboración propia.

## Visión artificial

### Reconocimiento del color

Los colores a reconocer son dos: rojo y azul, que se definieron en las reglas del concurso; sus códigos son RAL 3024 “rojo luminoso” y RAL 5013 “azul cobalto” (RobotChallenge, 2019). Para reconocer el color existen métodos que involucran

un software y una cámara. En este caso se usó la cámara web, a partir de la que se toma un video en un tiempo determinado, se selecciona y procesa una imagen, para determinar el color. En general estos algoritmos pueden reconocer varios tonos del color. Se lee la imagen y se obtiene su

componente *red* del RGB. Se procesa aplicando filtros, se binariza y se aísla la imagen correspondiente. La imagen de prueba es la apreciada en

la figura 2. Luego de emplear el reconocimiento de color y su aislamiento tenemos la imagen de la figura 3, así:

**Figura 2.** Imagen de prueba



Fuente: elaboración propia.

**Figura 3.** Imagen binarizada y aislada.



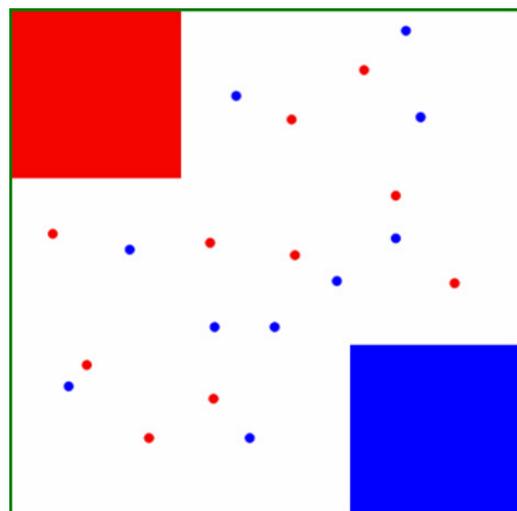
Fuente: elaboración propia.

Al usar cualquier imagen que, además de tener los colores involucrados (rojo y azul) tenga un disco de otro color, probará que el programa solo reconocerá y aislará el color que se pida. Nótese que los tonos de los colores pueden variar y aun así el reconocimiento del color es efectivo.

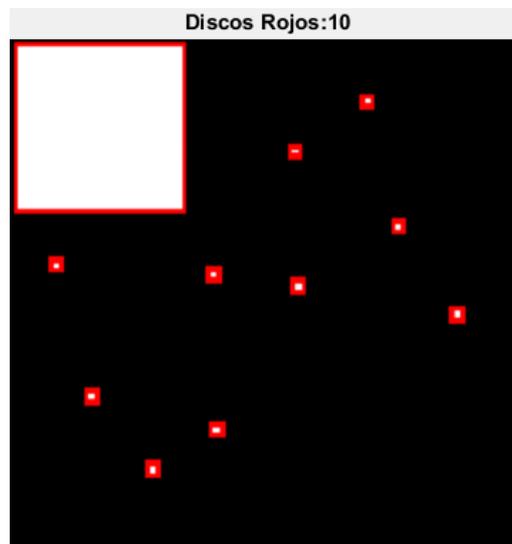
### **Conteo de objetos de un mismo color**

El algoritmo aplicado permite hacer un conteo de los objetos de los colores rojos detectados en una imagen. Es útil tener este dato puesto que los discos del concurso tienen un número límite de 10, los cuales se deben ir contando en el proceso de recolección, así:

**Figura 4.** Imagen ejemplo para contar objetos de un mismo color.



Fuente: RobotChallenge (2019, p. 3)

**Figura 5.** Resultado del algoritmo aplicado.

Fuente: elaboración propia.

La figura 5, con base en la figura 4, detalla los discos rojos encontrados, clasificados y contados. Lo anterior le permite saber al robot de forma autónoma, en un momento determinado, cuántos discos le falta por recoger.

### **Clasificación del tamaño del objeto**

Calcular el tamaño del objeto que capta el robot a través de la cámara ayuda a calcular qué tan cerca está el robot del disco y, por supuesto, si se está cerca o lejos de la base que se le haya asignado. También distinguirá, de acuerdo a la forma que detecte, si se trata de la base o uno de los discos a recolectar. Todo esto con ayuda

del siguiente paso a detallar: medir el área de la figura y determinar su tamaño, lo que da un estimado de cercanía al objeto o la base.

### **Identificación de la forma geométrica del objeto**

Usando la circularidad que se mide con la propiedad de perímetro y el área del objeto detectado, se permite determinar qué forma geométrica tienen los objetos de una imagen; es otro de los usos del algoritmo implementado. Este método de visión artificial logra los objetivos iniciales cuando entrega dicha información, como parte de la solución al problema planteado.

## **Implementación del controlador difuso**

La lógica difusa es ampliamente utilizada en el control de máquinas. El término *difuso* (en inglés, *fuzzy*) se refiere al hecho de que la lógica involucrada puede tratar conceptos que no pueden expresarse como verdaderos o falsos, sino más bien como parcialmente verdaderos. Si bien los

enfoques alternativos, como los algoritmos genéticos y las redes neuronales pueden funcionar tan bien como la lógica difusa en muchos casos, la lógica difusa tiene la ventaja de que la solución al problema puede plantearse en términos que los operadores humanos puedan entender,

de modo que su experiencia pueda ser utilizada en el diseño del controlador. Esto facilita la mecanización de tareas que ya son realizadas con éxito por los seres humanos (Del Brío y Molina, 2002).

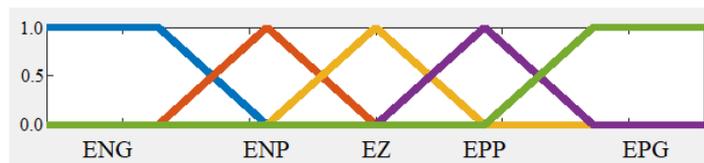
El control implementado para la velocidad del robot, que se mueve de forma autónoma por la pista, es a través de un algoritmo de control difuso. Se debe hacer el análisis necesario para generar las variables lingüísticas y sus términos. Así se infiere que cuanto más cerca se esté del objeto (disco), más lento debe ser el movimiento del robot para garantizar la recolección. Además, este tipo de control puede generar el recorrido hacia la base dispuesta al comenzar la partida. Esto también puede lograrse gracias a la medición de la distancia que se detecte desde la posición actual hasta la base, a través de todos los datos que se han analizado en este artículo.

### Control difuso proporcional derivativo (PD)

El control proporcional derivativo, en la lógica difusa, es un tipo de control en el que las variables lingüísticas de entrada son el error y la velocidad de cambio de ese error, que se den en la planta, según las acciones que se tomen para modificar su estado actual. El estado de equilibrio de un control proporcional derivativo es que el error y su derivada sean cero. En una dinámica de lazo cerrado siempre va a tender a dejarlo en error y tasa de cambio cero. La derivada del error es interpretada como una velocidad: qué tan rápido se está modificando la variable de control. En este caso específico de controlar la velocidad lineal y angular del robot autónomo se usa un PD difuso.

Las variables lingüísticas de entrada {X1, X2} se definen de la siguiente forma: *Error*, para X1, y *Derivada del Error* para X2. Ambas variables se refieren a la distancia detectada por la cámara.

Figura 6. Términos del Error X1

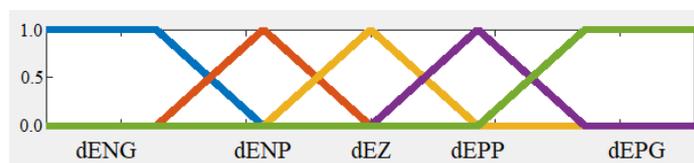


Fuente: elaboración propia.

En la figura 6, las etiquetas corresponden a los términos así: ENG, Error Negativo Grande; ENP, Error Negativo Pequeño; EZ, Error Cero;

EPP, Error Positivo Pequeño; y EPG, Error Positivo Grande.

Figura 7. Términos de la Derivada del Error X2

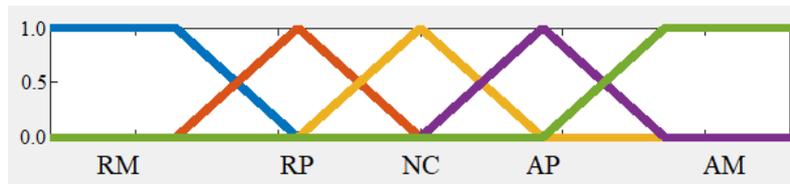


Fuente: elaboración propia.

En la figura 7, las etiquetas corresponden a: dENG, derivada del Error Negativa Grande; dENP, derivada del Error Negativa Pequeña;

dEZ, derivada del Error Cero; dEPP, derivada del Error Positiva Pequeña; y dEPG, derivada del Error Positiva Grande.

Figura 8. Variable lingüística de Salida (Velocidad Lineal)



Fuente: elaboración propia.

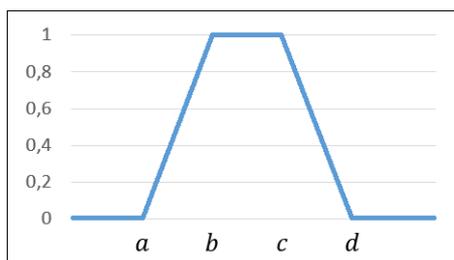
En la figura 8, las etiquetas corresponden a: RM, Retroceder Mucho; RP, Retroceder Poco; NC, No Cambio; AP, Avanzar Poco; AM, Avanzar Mucho.

### Fuzzificación

El método de fuzzificación emplea conjuntos difusos trapezoidales, cuya función matemática se detalla en la figura 9. Los valores difusos resultantes para los términos de X1 y X2 se relacionan en cada controlador, operando con una AND difusa, para obtener los valores de activación de las reglas difusas en la memoria asociativa difusa.

Este mismo proceso se hace para el controlador de posición, cuyo universo de discurso se define por la posición del objeto en la imagen, para generar así la salida de la Velocidad Angular.

Figura 9. Conjunto difuso de tipo trapezoidal



$$\mu_A(u) = \begin{cases} 0.0 & ; u \leq a \\ \frac{u - a}{b - a} & ; a < u < b \\ 1.0 & ; b \leq u \leq c \\ \frac{d - u}{d - c} & ; c < u < d \\ 0.0 & ; u \geq d \end{cases}$$

Fuente: elaboración propia.

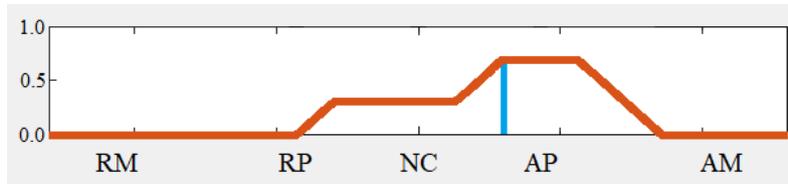
### Defuzzificación

Para defuzzificar, se usa el método ya conocido del centroide, expresado de la siguiente forma:

$$y \text{ centroide} = \frac{\sum_{x \in X} x \mu_A(x)}{\sum_{x \in X} \mu_A(x)}$$

(Ecuación 1)

Figura 10. Gráfica de salida VL (ejemplo para Velocidad Lineal)



Fuente: elaboración propia.

## Ecuaciones del modelo cinemático

Considerando el uso de términos como Velocidad Lineal y Velocidad Angular, que son propios de la cinemática de un robot móvil, esta se detalla a continuación. El modelo cinemático de un robot diferencial considera, por ejemplo, su posición en un punto de coordenadas  $(x; y)$ , y dado un punto de origen y un punto de llegada, se calcula por medio de la derivada de esas posiciones una velocidad lineal y angular (Ollero, 2001; Tzafestas, 2014).

La velocidad lineal es aquella cuya dirección siempre es tangencial a la trayectoria de una partícula en rotación, y su vector es perpendicular al eje de rotación (Ecured, 2019a). Se denomina velocidad angular a “la magnitud que caracteriza la rapidez con que varía el ángulo barrido por la línea que une la partícula que gira con

el centro de rotación” (Ecured, 2019b). En este caso, la velocidad angular es proporcionada por el controlador de posición horizontal, mientras que la velocidad lineal es proporcionada por el controlador de distancia.

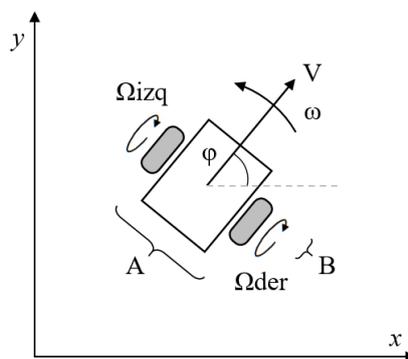
### Plataforma diferencial con 2 ruedas

Considerando las dimensiones del vehículo en la figura 11, las ecuaciones de velocidad lineal ( $V$ ) y angular ( $\omega$ ) para la plataforma diferencial están dadas por las siguientes expresiones:

$$V = \frac{\Omega_{der} + \Omega_{izq}}{2} B \quad \omega = \frac{\Omega_{der} - \Omega_{izq}}{A} B$$

(Ecuación 2)

Figura 11. Representación del vehículo diferencial



Fuente: elaboración propia.

Con la matriz de la ecuación 3 se modela el movimiento rotacional de un cuerpo en el espacio, y con la ecuación 4 se expresa el modelo cinemático del vehículo diferencial.

$$\begin{bmatrix} \cos(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

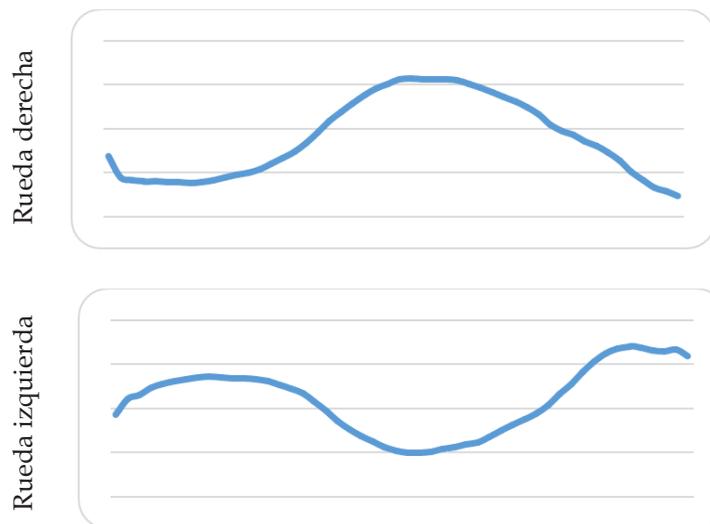
(Ecuación 3)

$$\begin{bmatrix} \Omega_{der} \\ \Omega_{izq} \end{bmatrix} = \frac{1}{B} \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & +A/2 \\ \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & -A/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix}$$

(Ecuación 4)

En la ecuación 4,  $v$  es la velocidad lineal,  $\omega$  es la velocidad angular,  $B$  es el radio de las ruedas,  $A$  es el ancho entre las ruedas, y  $\{\Omega_{der}, \Omega_{izq}\}$  son las velocidades angulares de las ruedas, es decir, las velocidades con las que el móvil se mueve hacia el objeto. Usando las medidas del robot, las velocidades de las ruedas pueden ser graficadas en Excel y así, el comportamiento de las ruedas del vehículo diferencial se puede observar en la figura 12.

**Figura 12.** Velocidades angulares de las 2 ruedas

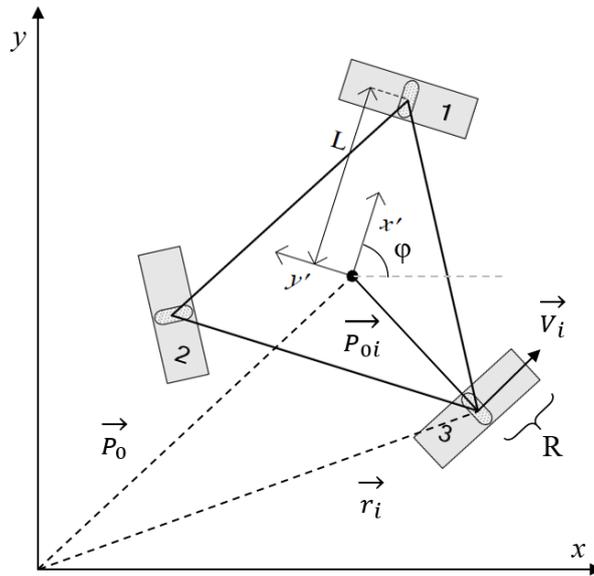


Fuente: elaboración propia.

### Plataforma omnidireccional de tres ruedas

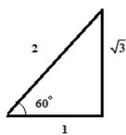
Para una plataforma de 3 ruedas las ecuaciones son las siguientes:

Figura 13. Análisis vectorial de una plataforma de 3 ruedas suecas.



Fuente: adaptado de Gracia (2006, p. 119)

Como resultado la expresión matricial que satisface el comportamiento del robot de tres ruedas tipo omnidireccional, siguiendo el análisis matemático siguiente:



$$\cos(60^\circ) = \frac{1}{2}; \quad \text{sen}(60^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

como  $|P_{0i}| = L$

$$\vec{P}_{01} = L \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\vec{P}_{02} = L \begin{bmatrix} -1/2 \\ \sqrt{3}/2 \end{bmatrix} = \frac{L}{2} \begin{bmatrix} -1 \\ \sqrt{3} \end{bmatrix}$$

$$\vec{P}_{03} = L \begin{bmatrix} -1/2 \\ -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} = \frac{L}{2} \begin{bmatrix} -1 \\ -\sqrt{3} \end{bmatrix}$$

(Ecuación 5)

Las direcciones tangenciales de las ruedas se analizan de la siguiente manera:

$$\vec{D}_i = \frac{1}{L} R_Z[90^\circ] * \vec{P}_{0i}$$

$$\text{donde } R_Z = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -\text{sen}(\varphi) \\ \text{sen}(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix}$$

$$\text{y dado que } R_Z(90^\circ) = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\vec{D}_1 = \frac{1}{L} * \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} * L * \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{D}_2 = \frac{1}{L} * \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} * \frac{L}{2} \begin{bmatrix} -1 \\ \sqrt{3} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -\sqrt{3} \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{D}_3 = \frac{1}{L} * \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} * \frac{L}{2} \begin{bmatrix} -1 \\ -\sqrt{3} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \sqrt{3} \\ -1 \end{bmatrix}$$

(Ecuación 6)

El movimiento de cada motor se analiza de la siguiente manera:

$$\vec{r}_i = \vec{P}_0 + R_Z(\varphi) * \vec{P}_{0i}$$

derivando:  $\dot{\vec{r}}_i = \dot{\vec{P}}_0 + R_Z(\dot{\varphi}) * \vec{P}_{0i}$  se tiene  $\vec{V}_i$

$$\vec{V}_i = \left[ \dot{\vec{P}}_0 + R_Z(\dot{\varphi}) * \vec{P}_{0i} \right] * [R_Z(\varphi) * \vec{D}_i]$$

$$\vec{V}_i = \left[ \dot{\vec{P}}_0 * R_Z(\varphi) * \vec{D}_i \right] + [R_Z(\dot{\varphi}) * \vec{P}_{0i} * R_Z(\varphi) * \vec{D}_i]$$

simplificando:  $\vec{V}_i = \left[ \dot{\vec{P}}_0 * R_Z(\varphi) * \vec{D}_i \right] + L\dot{\varphi}$

(Ecuación 7)

De esa manera, las ecuaciones de velocidades tangenciales se calculan así:

$$\vec{V}_1 = \left[ \dot{\vec{P}}_0 * R_Z(\varphi) * \vec{D}_1 \right] + L\dot{\varphi}$$

$$\vec{V}_2 = \left[ \dot{\vec{P}}_0 * R_Z(\varphi) * \vec{D}_2 \right] + L\dot{\varphi}$$

$$\vec{V}_3 = \left[ \dot{\vec{P}}_0 * R_Z(\varphi) * \vec{D}_3 \right] + L\dot{\varphi}$$

(Ecuación 8)

Considerando el radio R de las ruedas, se obtiene la siguiente expresión (Martínez y Sisto, 2009):

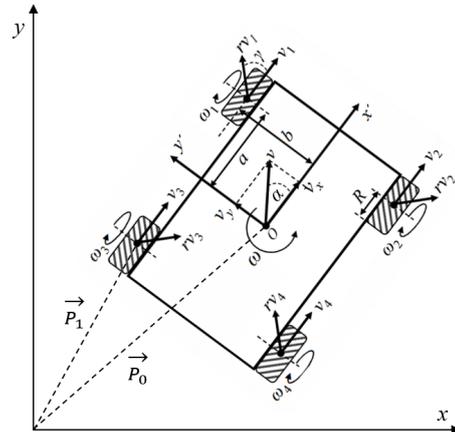
$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} -\text{sen}(\varphi) & \text{cos}(\varphi) & L \\ -\text{sen}\left(\frac{\pi}{3} - \varphi\right) & -\text{cos}\left(\frac{\pi}{3} - \varphi\right) & L \\ \text{sen}\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right) & -\text{cos}\left(\varphi + \frac{\pi}{3}\right) & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix}$$

(Ecuación 9)

La ecuación 9 representa las velocidades angulares que debe tener cada rueda cuando se planea el recorrido hacia el disco, en caso de emplear este tipo de plataforma.

### Plataforma omnidireccional de cuatro ruedas

Figura 14. Análisis vectorial de una plataforma de 4 ruedas mecanum.



Fuente: adaptado de Maulana, Muslim y Hendrayawan (2015, p. 51)

Planteando el análisis vectorial, se debe llegar a la expresión matricial que permita darle una velocidad a cada rueda, para planear el recorrido hacia el disco en el caso del *Puck Collect Robot Challenge*.

Las ecuaciones que caracterizan a la plataforma en cuestión son:

$$\begin{aligned} \vec{P}'_1 &= [\vec{a} \quad \vec{b}] \\ \vec{P}'_2 &= [\vec{a} \quad -\vec{b}] \\ \vec{P}'_3 &= [-\vec{a} \quad -\vec{b}] \\ \vec{P}'_4 &= [-\vec{a} \quad \vec{b}] \\ \vec{P}'_1 &= \dot{\vec{P}}_0 + R_Z(\dot{\alpha})\vec{P}'_1 \\ \vec{V}_1 &= R_Z(\alpha)\vec{D}_1 \end{aligned}$$

(Ecuación 10)

Las direcciones tangenciales de las ruedas se tienen ahora de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \vec{D}_1 &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \vec{D}_2 &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \vec{D}_3 &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \vec{D}_4 &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(Ecuación 11)

Considerando la matriz de rotación  $R_z(\alpha)$  se tiene entonces:

$$\begin{aligned} R_z &= \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\text{sen}(\alpha) \\ \text{sen}(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \\ \vec{D}_1[R_z(\alpha)] &= \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\text{sen}(\alpha) \\ \text{sen}(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \vec{D}_i[R_z(\alpha)] &= \begin{bmatrix} \cos(\alpha) \\ \text{sen}(\alpha) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(Ecuación 12)

Considerando  $V_x, V_y$  en términos de  $V_F, V_L$  (Velocidad frontal y lateral) entonces,

$$R_z(\alpha) \begin{bmatrix} V_F \\ V_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & -\text{sen}(\alpha) \\ \text{sen}(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_F \\ V_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_F * \cos(\alpha) - V_L * \text{sen}(\alpha) \\ V_F * \text{sen}(\alpha) + V_L * \cos(\alpha) \end{bmatrix}$$

(Ecuación 13)

La velocidad angular de cada rueda puede expresarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \vec{P}'_1 &= [V_F - b\omega] \\ \vec{P}'_2 &= [V_F + b\omega] \\ \vec{P}'_3 &= [V_F - a\omega] \\ \vec{P}'_4 &= [V_F + a\omega] \end{aligned}$$

(Ecuación 14)

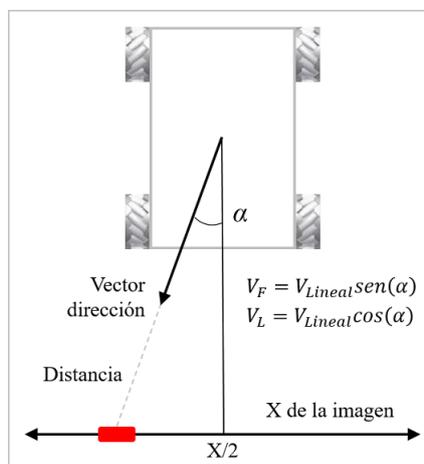
Finalmente el modelo cinemático que se encontró para esta plataforma es la siguiente, aunque, por el alcance de este trabajo no se validó, ni en simulación ni con implementación real.

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -b \\ 1 & 0 & b \\ 1 & 0 & -a \\ 1 & 0 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_F \\ V_L \\ \omega \end{bmatrix}$$

(Ecuación 15)

Teniendo el resultado del análisis vectorial, vemos que la velocidad lineal es el resultado de sus componentes  $V_F$  y  $V_L$ , velocidad frontal y lateral respectivamente. Por tanto, para poder obtenerlas del controlador difuso propuesto anteriormente, hay que conocer el vector dirección de la velocidad lineal. Esto requiere un análisis del procesamiento de imagen para llegar a la situación representada en la figura 15.

Figura 15. Análisis gráfico del posicionamiento del robot.



Fuente: elaboración propia.

La figura 15 corresponde con la ubicación del objeto en pantalla y la estimación de la posición del móvil y el objeto con respecto del centro de la pantalla en el eje X (la medida entre ese centro y la ubicación del objeto) y la distancia medida

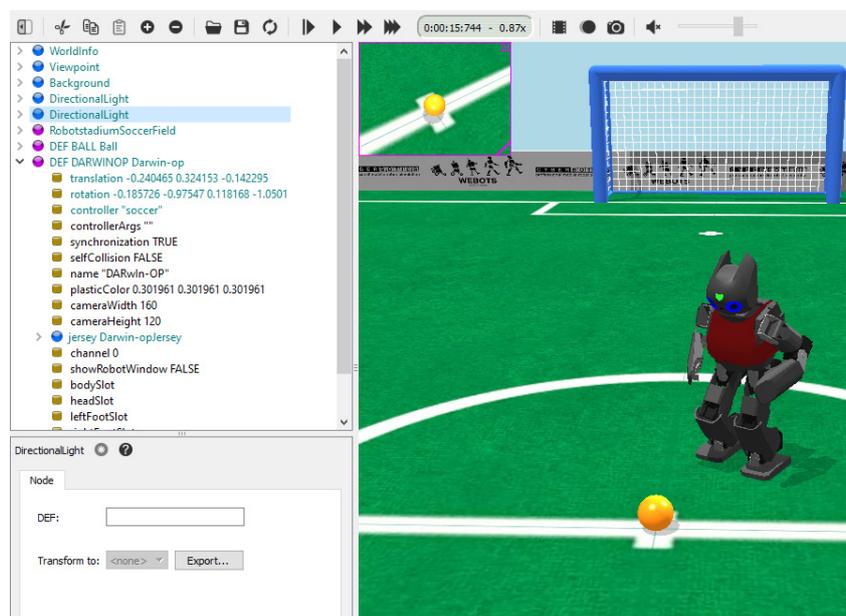
entre el objeto y el móvil: la distancia corresponde con el vector dirección. Se forma un triángulo rectángulo y con esas dos componentes se hallan el ángulo  $\alpha$  del móvil y aplicando  $\text{sen}(\alpha)$  y  $\text{cos}(\alpha)$  se obtendrían la  $V_F$  y  $V_L$ .

## Simulación en Webots (Cyberbotics)

Webots es un software de simulación que, a través de varios lenguajes de programación como Java, Matlab, C++, entre otros, permite ver el comportamiento de un robot y cómo interactúa dentro de un ambiente, que también puede ser creado en Webots (Cyberbotics, 2016a, 2016b). La interfaz cuenta, entre otras funciones, con

una ventana de visualización del ambiente, en el que se insertan elementos principales como el robot y sus componentes electrónicos y mecánicos. Además, permite simular la dinámica del robot: peso, fricción, tipo de material, desgastes, etc.

Figura 16. Interfaz gráfica de Webots.

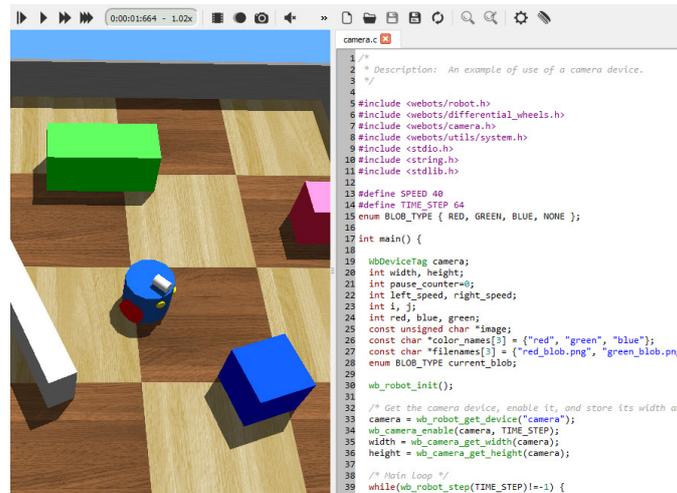


Fuente: (Cyberbotics, 2016c)

En otra ventana del mismo software se encuentra el espacio de programación que es en donde insertamos el código fuente que será el controlador del robot. En ese espacio se puede crear,

abrir, guardar o compilar el código fuente dentro del propio ambiente de trabajo de Webots, o enlazar a través de otros IDE para usarlo como controlador.

Figura 17. Espacio para el código fuente en Webots.



Fuente: (Cyberbotics, 2016c)

Webots cuenta con sus propias librerías y sus funciones están descritas en sus manuales, en los lenguajes de programación que ya han sido mencionados. Se puede acceder a estos en el panel de ayuda, o presionando directamente la

tecla F3 para ver el manual de usuario (Cyberbotics, 2016a) o la tecla F4 para ver el manual de referencia (Cyberbotics, 2016b). En la figura 18 se detalla el uso de librerías para la percepción con cámara y para mover un robot diferencial.

Figura 18. Algunas librerías disponibles en Webots.

```

5 #include <webots/robot.h>
6 #include <webots/differential_wheels.h>
7 #include <webots/camera.h>

33 camera = wb_robot_get_device("camera");
34 wb_camera_enable(camera, TIME_STEP);
35 width = wb_camera_get_width(camera);
36 height = wb_camera_get_height(camera);

42 image = wb_camera_get_image(camera);

87 for (i = width/3; i < 2*width/3; i++) {
88     for (j = height/2; j < 3*height/4; j++) {
89         red += wb_camera_image_get_red(image, width, i, j);
90         blue += wb_camera_image_get_blue(image, width, i, j);
91         green += wb_camera_image_get_green(image, width, i, j);
92     }
93 }

114 left_speed = -40;
115 right_speed = 40;

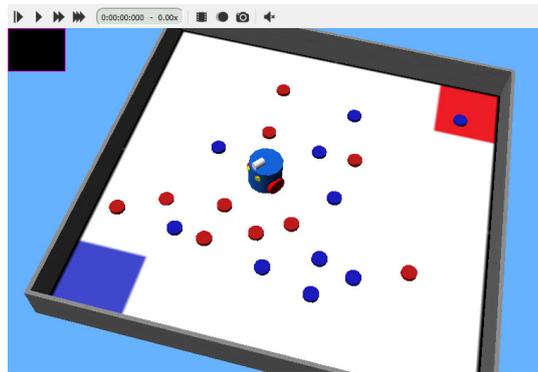
147 wb_differential_wheels_set_speed(left_speed, right_speed);
    
```

Fuente: (Cyberbotics, 2016c)

En este proyecto se usó Webots como un simulador para mostrar la funcionalidad del robot. Se mueve en el ambiente del *Puck Collect Robot*

*Challenge*, simulando incluso el escenario en donde están distribuidos los discos.

**Figura 19.** Diseño preliminar del robot tipo diferencial.



Fuente: elaboración propia en Webots.

En la figura 19 se simuló el campo del *Puck Collect Robot Challenge*, los discos rojos y azules distribuidos y las bases. El robot cuenta con un diseño tipo diferencial, tiene elementos electrónicos y sensores tales como cámara, motores

DC y baterías. El controlador o código fuente está programado en un lenguaje soportado por el simulador, adaptando las librerías incluidas dentro del software o enlazado con el propio IDE para comprobar su funcionamiento.

## Implementación del prototipo diferencial

La implementación para el enrutamiento del móvil es en un vehículo tipo diferencial. Con la cámara web (con conexión IP) se captan las imágenes a las que se le aplican los algoritmos de visión artificial. Los análisis de las imágenes se combinan con cada controlador difuso PD de Posición y Velocidad, que dan como resultado la Velocidad angular y lineal del móvil, tal como se expuso anteriormente. Empleando la matriz de transformación calculada en los análisis cinemáticos, se obtienen las velocidades angulares de ambas ruedas, junto con su sentido de giro. Los elementos empleados en esta implementación se describen a continuación.

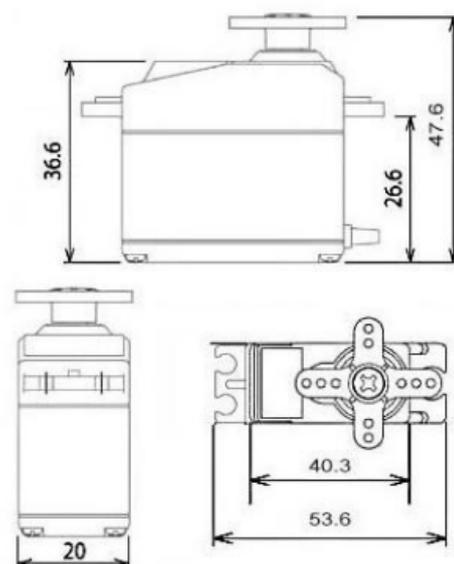
con engranajes de metal que lo proveen con una gran torsión.

### Elementos electrónicos y mecánicos (especificaciones técnicas)

#### Servo motor de giro continuo

Los motores que se usaron en la práctica son servomotores MG996R Tower-Pro. Este cuenta

**Figura 20.** Motor servo de giro continuo.



Fuente: Tower-Pro (2017, p. 1)

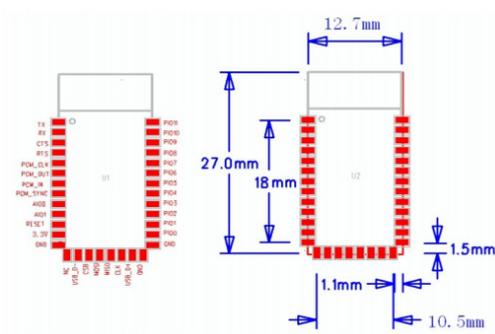
## Arduino uno

Arduino se utiliza para construir diferentes tipos de circuitos electrónicos. Es utilizado en físico o como placa de circuito programable, generalmente microcontrolador, empleando códigos que se ejecutan en el computador mediante conexión USB entre este y el Arduino. El lenguaje de programación utilizado es una versión simplificada de C ++.

## Módulo serial TTL y Bluetooth HC-05

El módulo HC-05 es un módulo Bluetooth SPP (protocolo de puerto serie) fácil de usar, diseñado para configuración de conexión en serie inalámbrica. Está diseñado para conexiones Bluetooth V2.0 + EDR (velocidad de datos mejorada), 3 Mbps, modulación con transceptor de radio y banda base completos de 2.4 GHz. Utiliza CSR Bluecore04-Sistema Bluetooth de un solo chip externo, con tecnología CMOS y con AFH. Se complementa la conexión al computador con un convertidor de USB a serial TTL.

Figura 21. HC-05 Módulo Bluetooth.



Fuente: ITed Studio (2010, p.2)

## Baterías

Para alimentación del circuito, que costa de los elementos anteriores, se usa una batería de litio de 7.4 v. Son recargables y tienen una autonomía de 2000 mA horas.

Características:

- 7.4 V paquete de 2 celdas
- 2000 mAh de carga
- 20 C velocidad de descarga continua

Dimensiones:

- 55mm x 30mm x 14mm.

Peso:

- 36g

Figura 22. Batería recargable.



Fuente: SanDoRobotics (2018, párr. 1)

Es excelente para alimentar cualquier proyecto R/C, robótico o portátil, para cualquier móvil que requiera una batería pequeña con mucha fuerza.

### Cámara web

La cámara utilizada en la implementación es tipo web que alcanza una resolución de 8 Mpx, 3264x2448 píxeles, flash LED (cámara celular configurada como web), aunque en Código de programa es reducida a la resolución MJPG\_1280x720 lo cual agiliza el procesamiento de imágenes y videos.

### Computador

Debe estar equipado con Puertos de Comunicación disponibles para protocolos RS 232, serial

TTL, conexión WiFi y requerimientos mínimos de hardware que soporte el software utilizado.

### Plataforma móvil tipo diferencial con rueda castor

En el prototipo se usó una plataforma móvil como la mostrada en la figura 23. Es útil para diferentes tipos de proyectos que requieran los movimientos típicos de un móvil tipo diferencial: hacia delante, en retroceso, y giros con tendencia a la derecha o a la izquierda.

Figura 23. Plataforma móvil diferencial con rueda castor

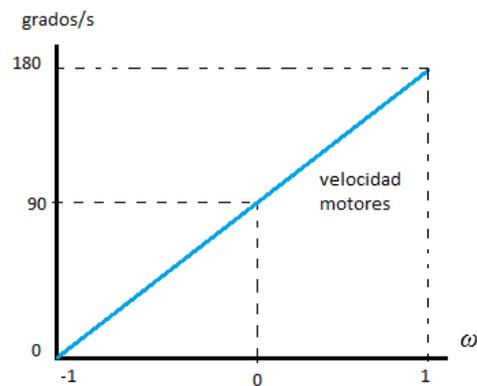


Fuente: Verma (2017, párr. 3)

### Conversión de unidades

Una vez relacionados los resultados de velocidades angulares de las ruedas con los parámetros eléctricos necesarios para lograr estas velocidades en los motores usados, se realizaron pruebas para evaluar el enrutamiento del robot móvil diferencial. Dicha relación se detalla en la figura 24.

Figura 24. Velocidad angular de las ruedas en grados/s.



Fuente: elaboración propia.

Como el rango de velocidades de cada rueda se estableció entre  $\{-1; 1\}$ , en representación de  $\{0; 180\}$  grados/s, se debe hallar la correspondencia con respecto a las velocidades que se ejecutan en los servo motores de giro continuo. Estas velocidades son: 1) Velocidad mínima en cierto sentido de giro, desde 1 grado hasta 90 grados disminuyendo velocidad cada vez que se acerca

a 90 grados. 2) Si el motor está perfectamente calibrado logra detenerse en 90 grados, y desde 91 grados el motor va aumentando velocidad en el sentido contrario hasta llegar a 180 grados, donde se detiene. Todo esto en cuanto a la forma de programar las velocidades de los motores, y un ejemplo del código en Arduino se detalla en la figura 25.

Figura 25. Velocidades

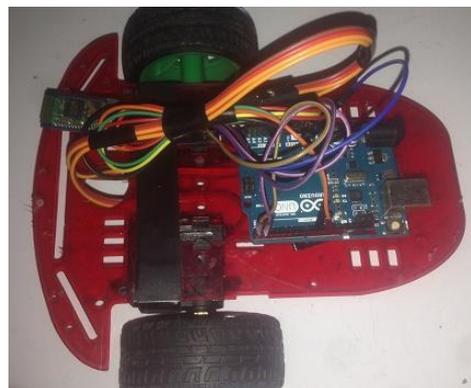
```

VELOCIDADES_
1  Servo VAderecha ;
2  Servo VAizquierda;
3
4  void setup(){
5      VAderecha.attach(9) ;
6      VAizquierda.attach(11);
7  }
8
9  void loop(){
10     //sentido de Giro 1
11     for(int i=0; i <= 90 ; i++){
12         VAderecha.write(i) ;
13         VAizquierda.write(i);
14         delay(100);
15     }
16     for(int i=90; i <= 180 ; i++){
17         VAderecha.write(i) ;
18         VAizquierda.write(i);
19         delay(100);
20     }
21 }
22 }
    
```

Fuente: elaboración propia.

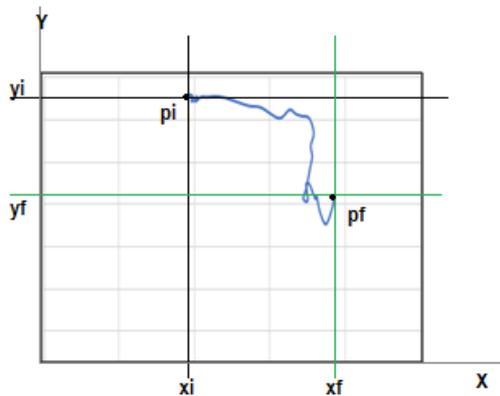
Una vez halladas las velocidades equivalentes se realizaron varias pruebas reales para evaluar el enrutamiento, empleando la plataforma móvil de la figura 26. En la figura 27 se muestra un ejemplo de la ruta entre la posición inicial (pi) y final (pf), en una de las pruebas realizadas, vista desde arriba.

Figura 26. Primera plataforma diferencial para las pruebas.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 27.** Ejemplo de una ruta del robot al detectar la ficha.

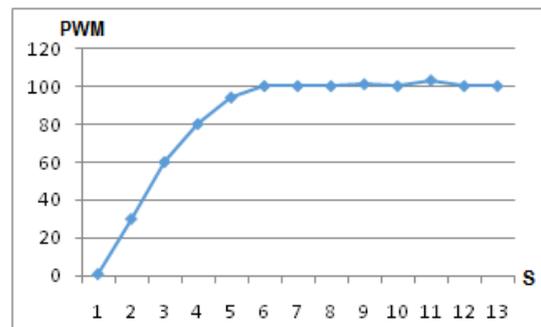


Fuente: elaboración propia.

En la figura 28 se detalla el comportamiento del controlador PD difuso, en cuanto al manejo del

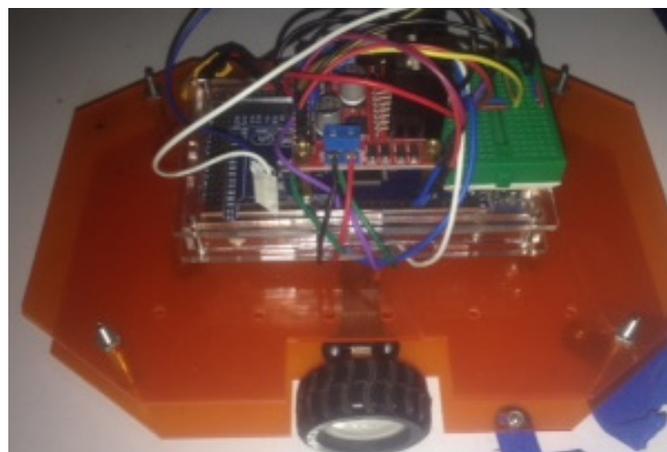
PWM, y en la figura 29 se muestra la segunda plataforma diferencial con la que finalmente se logró el objetivo de enrutar el móvil hacia el disco.

**Figura 28.** Grafica del comportamiento del PD difuso



Fuente: elaboración propia.

**Figura 29.** Segunda plataforma diferencial con motores DC



Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

El procesamiento de imágenes es la base para empezar con la correcta utilización e implementación de la visión artificial, lo cual se requirió en el móvil para el *Puck Collect Robot Challenge*. Esto es aplicable al procesamiento del video en tiempo real, puesto que en ciertos intervalos de

tiempo se capturan fotogramas y se procesan para determinar la figura geométrica que está frente a la cámara, que área tiene, de qué color es, cuántos objetos hay, qué tan cerca están del robot, etc.

Una vez procesado el video, se usa un diseño de control difuso para lograr el movimiento del robot tanto con velocidad lineal como con velocidad angular. El prototipo usa las técnicas detalladas en este artículo para lograr todos los objetivos del proyecto. Con esto se espera que pueda obtenerse el resultado deseado

independientemente de la estructura del robot. Como trabajo futuro se desea implementar un robot autónomo omnidireccional con ruedas *mecanum*, para validar su modelo cinemático y para evaluar la aplicabilidad de los controladores difusos acá reportados.

## Referencias

- Cyberbotics Ltd. (2016a). Webots User Guide: release 8.4.0, Lausanne, Switzerland.
- Cyberbotics Ltd. (2016b). Webots Reference Manual: release 8.4.0, Lausanne, Switzerland.
- Cyberbotics Ltd. (2016c). Webots (release 8.4.0): 3D mobile robot simulation software, PRO license. Lausanne, Switzerland.
- Del Brío, B. y Molina, A. (2002). Redes neuronales y sistemas difusos. Bogotá: Alfaomega.
- Ecured (2019a) Velocidad angular. Recuperado de [https://www.ecured.cu/Velocidad\\_angular](https://www.ecured.cu/Velocidad_angular)
- Ecured (2019b). Velocidad lineal. Recuperado de: [https://www.ecured.cu/Velocidad\\_lineal](https://www.ecured.cu/Velocidad_lineal)
- Gracia, L. I. (2006). Modelado cinemático y control de robots móviles con ruedas. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/4e2c/9529ca8ab327fa369e016c4a2cb0b932d1ce.pdf>
- ITed Studio. (2010). HC-05 -Bluetooth to Serial Port Module. Recuperado de <https://www.estudioelectronica.com/wp-content/uploads/2018/09/istd016A.pdf>
- Martínez, S. y Sisto, R. (2009). Control y comportamiento de robots omnidireccionales. Proyecto de grado, Estado del arte. Universidad de la República. Montevideo, Paraguay. Recuperado de <https://www.fing.edu.uy/inco/grupos/mina/pGrado/easyrobots/doc/SOA.pdf>
- Maulana, E., Muslim, M., Hendrayawan, V. (2015) Inverse kinematic implementation of four-wheels mecanum drive mobile robot using stepper motors. International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA) (pp. 51-56). IEEE.
- Ollero, A. (2001). Robótica: manipuladores y robots móviles. Marcombo.
- RobotChallenge (2019). Puck Collect Rules. Recuperado de <http://www.robotchallenge.org.cn/doc/en/RC-PuckCollect.pdf>

SanDoRobotics. (2018). Batería LiPo Turnigy 500mAh 2S 20C. Recuperado de <https://sandorobotics.com/producto/t500-2s/>

Tower-Pro. (2017). MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo. Recuperado de [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R\\_Tower-Pro.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf)

Tzafestas, S. G. (2013). Introduction to mobile robot control. Elsevier.

Verma, P. (2017). Smartphone Controlled Robot. Recuperado de <https://thetempedia.com/project/basic-differential-drive-robot/>

# Implementación sistema de invernadero automatizado para producción de multicultivos agrícolas educativos en el SENA de Mosquera

Adolfo Sebastián Fonseca Luna\* y Johan Leonardo Ramos Ramírez\*\*

## Resumen

Los invernaderos son instalaciones claves en la producción agrícola. Estos sistemas permiten ejercer un control eficiente de las condiciones atmosféricas, incidencia de plagas y enfermedades, lo que garantiza a los agricultores altos rendimientos, asociados al manejo tecnológico que este sistema permite establecer. Los aprendices de SENA, en su formación educativa integral, deben estar preparados para el manejo, ejecución y capacitación de los procesos entorno al sistema y desarrollo tecnológico de sistema. Por ello, el objetivo de este proyecto es realizar las adecuaciones tecnológicas que permitan el control de condiciones como temperatura, humedad relativa, apertura y cierre de cortinas, sistema de fertirriego, ventiladores y adecuaciones de luz en pro del desarrollo eficiente y sostenible de cultivos agrícolas de gran importancia, para el crecimiento económico del país, el cual está en manos de muchos egresados y estudiantes del SENA.

## Abstract

Greenhouses are key facilities in agricultural production. These controlled systems allow efficient control of atmospheric conditions, incidence of pests, and diseases, which guarantees farmers high yields, associated with the technological management that this system brings. SENA apprentices in their comprehensive educational training must be prepared for the management, execution and training of the processes around the system and technological development of the system. This is why the objective of this project is to carry out the technological adaptations that allow the control of conditions such as: temperature, relative humidity, opening and closing of curtains, fertigation system, fans and light adjustments, in favor of the efficient and sustainable development of agricultural crops. The latter have great importance for the economic growth of the country, which is in the hands of many SENA graduates and students.

## Cómo citar este artículo

(APA): Fonseca y Ramos (2019). Implementación sistema de invernadero automatizado para producción de multicultivos agrícolas educativos en el SENA de Mosquera. *Hashtag*, 14, 31-38.

> **Palabras clave:** aprendizaje, automatización, capacitación, desarrollo, economía, invernadero, producción agrícola, tecnología.

> **Keywords:** agricultural production, automation, development, economy, greenhouse, learning, technology, training.

\* Estudiante de Ingeniería Mecatrónica. Contacto: [afonsecal@sena.edu.co](mailto:afonsecal@sena.edu.co)

\*\* Estudiantes de Ingeniería Mecatrónica. Contacto: [johanrr53@gmail.com](mailto:johanrr53@gmail.com)

## Introducción

En Colombia la optimización de los invernaderos desde la fase inicial de diseño ha sido escasa y actualmente no existe ninguna metodología de diseño de estructuras de invernadero, por lo que aún se continúa utilizando la estructura tradicional establecida hace más de 50 años (Bojacá et al., 2011)

(Newman, 1999) reportó que los índices de ventilación de los invernaderos en la sabana de Bogotá son bajos. En la actualidad, aunque se han tomado medidas y generado soluciones, las estructuras de invernadero siguen siendo deficientes en este aspecto. Por esta razón, el proceso de replicar modelos de invernadero genera como consecuencia la construcción de estructuras de invernadero que no tienen la capacidad de proveer las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo y crecimiento de los cultivos. En ocasiones, esta situación puede crear condiciones ambientales adversas generadas por una ineficiente ventilación que se traduce en elevadas temperaturas diurnas, deficiencias de CO<sub>2</sub>, humedades variables y una pérdida acelerada de la energía almacenada durante el día, en las horas de la noche.

El diferencial térmico entre el día y la noche generado bajo esta condición favorece la aparición y desarrollo de problemas fitosanitarios (Cooman y Lee, 1998). En los últimos años, los invernaderos para la producción agrícola se han

convertido en una herramienta importante para los agricultores, al permitirles alcanzar objetivos de sostenibilidad, productividad y optimización de los recursos.

La automatización de los invernaderos permite reducir costos de producción, optimizar los recursos, principalmente el agua, mediante la implementación de sistemas de riegos, reducir las aplicaciones químicas por presencia de plagas y/o enfermedades. Estos proyectos se diseñan con el fin de ahorrar considerablemente el agua que se utiliza en el riego de plantas (Berenz, 2007).

Los aprendices del Centro de Biotecnología Agropecuaria del Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, en particular los estudiantes de programas técnicos y tecnológicos en producción agrícola y afines, cuentan con un invernadero tipo cubierta que no se encuentra automatizado, por lo que los ensayos y prácticas institucionales no se enfocan en la importancia de este componente tecnológico, para los estudiantes en formación y conocimiento del sector agrícola.

El objetivo del proyecto, del cual se deriva este artículo, es realizar la automatización de una instalación tipo cubierta que se encuentra en el SENA, enfocado a la realización del sistema de riego, instalación de sensores, ventiladores y software de almacenamiento y control de la información.

## Metodología

Con el fin de elaborar el diseño del prototipo de un invernadero con un sistema automatizado, se consideran tres factores principales. Estos son:

1. Mantener las condiciones de temperatura y humedad.

2. Establecer un protocolo de registros, bitácoras de seguimiento continuo, además de la vigilancia y supervisión del sistema.

3. Controlar con eficacia el sistema de riego y de ventilación

4. La manipulación de la interfaz es de fácil entendimiento para que resulte útil el sistema automatizado para cualquier individuo.
5. Realizar el mantenimiento trimestral de los equipos y diferentes materiales que componen el sistema.

### **Materiales**

- Ventiladores
- Cintas de riego
- Conectores manguera-cinta
- Conectores manguera-manguera

- Dispersores
- Válvulas de control
- Programador digital
- Estación de bombeo
- Sensores (Temperatura & Humedad Relativa)
- Tensiómetro (Medidor de agua en el suelo)
- Inyector fe fertilizantes por lámina de riego
- Software receptor de información diaria.

Asimismo, se requiere de personal capacitado para el establecimiento y ajuste del sistema.

## **Configuración de sensores y controles electrónicos**

Con el fin de mantener todo el sistema en comunicación, se escoge el microcontrolador arduino, que se compone por una plataforma llamada

ATmega328. Esta contiene un sistema electrónico abierto basado en un hardware y software libre, flexible y fácil.

**Figura 1.** Microcontrolador arduino uno-r3.



Fuente: Arduino Uno-R3.

Este microcontrolador cuenta con las siguientes características:

- Microcontrolador ATmega 328
- Voltaje de entrada 7-12V
- 14 pines digitales de I/O con 6 salidas PWM
- 6 entradas análogas
- 32k de memoria Flash
- Reloj de 16MHz de velocidad

El uso de esta tarjeta permite acceder al adecuado manejo de los sistemas de riego, sistemas de ventilación, humedad relativa y calidad del

aire con el fin de mantener las condiciones ideales de los cultivos, en este caso de hortalizas, con el fin de mejorar las respuestas en cuanto a rendimiento, precocidad, calidad y cantidad del producto a explotar. Partiendo de la información adquirida los sensores recomendados para el control y monitoreo frente al manejo de las condiciones del invernadero recomendadas son:

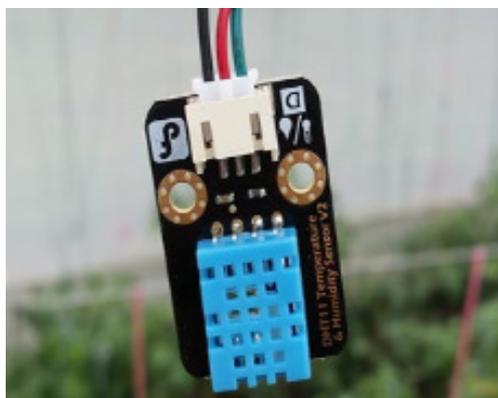
### **Sensor DHT11**

El sensor digital DHT11 monitorea la temperatura y la humedad relativa. Este producto “integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones académicas relacionadas

al control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más” (Suarez, 2019). Este sensor integra los pines analógicos del Arduino y los analiza y los procesarla dando orden a los diferentes actuadores como los ventiladores y extractores obteniendo una mejor productividad. Este producto cuenta con las siguientes características:

- Rango de voltaje de 3V a 5V
- Rangos: medición de temperatura 0°C - 50°C y humedad relativa 20 % - 90 %
- Presenta compatibilidad con tarjetas Arduino
- Pin de salida digital con dimensiones de tarjeta de 3.2cm x 1.4cm

**Figura 2.** Sensor DHT11.



Fuente: Rincón, Torres Silva. (2016).

### **Sensor Watermark 200TS**

Es un sensor que tiene como función medir la humedad del suelo, con el fin de hacer un control en cuanto a la frecuencia y la dosis para la adecuada administración del riego teniendo en cuenta los requerimientos hídricos por cultivo. Esto se logra a través de las señales digitales y analógicas que envía este sensor, obtenidas directamente del invernadero. Dichas señales son

procesadas por Arduino, lo que ocasiona el funcionamiento de las válvulas y el riego controlado. Para asegurar el adecuado funcionamiento de este sensor se requiere un adaptador Watermark 220SS-VA, que evalúa las presiones del suelo húmedo, para la captación de los datos en cuanto a humedad y temperatura, por medio de salidas con datos analógicos.

**Figura 3.** (A) Sensor de temperatura, (B) Sensor watermark, (C) Adaptador watermark.

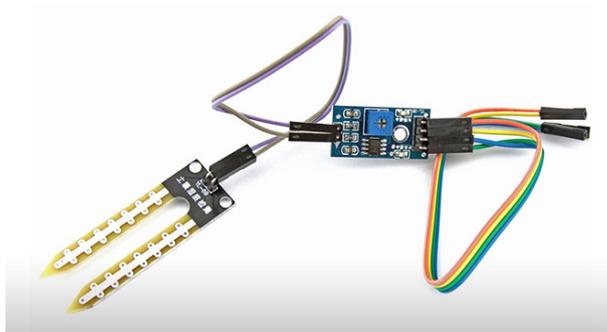


Fuente: Rincón, Torres, Silva. (2016).

Por otro lado, se cuenta con un sensor que mide la humedad presente en el suelo. Este es el sensor FC-28, encargado de medir la conductividad. De igual forma, va conectado al adaptador

Watermark, con el fin de recibir señales con datos analógicos para detectar cuándo es necesario activar el sistema de bombeo.

**Figura 4.** Sensor FC-28.



Fuente: Rincón, Torres y Silva. (2016).

## Sistema de riego

El sistema de riego que fue implementado en el invernadero fue por goteo, debido a que su método de aplicación de agua es controlado directamente en la zona radicular. Además, resulta de fácil uso en el momento de aplicar diversos fertilizantes, lo que incrementa el aprovechamiento de estos, debido a su aplicación en la zona radicular de las hortalizas.

Para el montaje en campo se tiene en cuenta la necesidad de emplear dos cintas de riego por

surco. Estas cintas cuentan con una capacidad de 2 l/hora, con disposición de goteros cada 15cm. Este sistema de riego cuenta con una electrobomba con una capacidad de 3/4Hp y un tanque de 1000cm<sup>3</sup>. Para la inyección adecuada de los fertilizantes, se cuenta con una malla de 1ft para evitar la obstrucción de las cintas de riego. Su sistema de control se compone por 2 muñecas en PVC con válvula plástica.

**Figura 5.** Sistema de riego por goteo con doble cinta por surco.



Fuente: elaboración propia.

Con el fin de elaborar este sistema automatizado, se necesita un control del sistema de riego por medio de relés y electroválvulas diseñadas con el fin de enviar mensajes al microcontrolador Arduino, por medio del primer relé. Esto ocurre cuando los niveles de humedad presentes en el suelo son bajos. Este trabajo en conjunto se da

por la primera actividad hecha por el relé, ya que a través de un campo magnético se acciona un interruptor que da directamente con una bobina. Esta envía señales a las electroválvulas para abrir o cerrar en caso de que sea necesario, partiendo por los datos obtenidos respecto a la humedad presente en el suelo.

**Figura 5.** (A) Eletroválvula, (B) Relé de 5v.



Fuente: Electronilab.

## Sistema de ventilación

Con el fin de garantizar una producción estable bajo condiciones de invernadero, es necesario contar con sistemas de extractores para el manejo

de la temperatura y humedad, para evitar daños en el cultivo, pues estos representan una baja en la calidad y cantidad de la producción.

Para asegurar el mantenimiento adecuado, se decide hacer uso automatizado de extractores. Esta automatización se logra por medio del uso de relés, extractores y contactores que envían señales a los microcontroladores arduinos, con el fin de encender estos extractores cuando los datos análogos lo pidan. De esta forma se asegura

el mantenimiento de la temperatura adecuada para los diferentes cultivos de hortalizas situadas en este invernadero. Esta acción se trabaja de la mano con los sensores DHT11, que también se encargan de enviar señales análogas, como se explicó anteriormente (figura 2).

**Figura 6.** Ventilador activo



Fuente: elaboración propia.

## Resultados

La implementación de sistemas automatizados en el invernadero con fines educativos en la sede del SENA en Mosquera demuestra ser altamente viable, tanto en el aspecto educativo como en el productivo. En lo referente al ámbito educativo, se demuestra interés por parte de los desde el momento del ensamblaje de todo el sistema, hasta su manipulación. A nivel productivo se obtienen buenos resultados, debido a que, con un adecuado ensamblaje de cada componente perteneciente a este sistema, se logra obtener datos análogos que son mostrados, controlados y almacenados por medio de sistemas operativos en dispositivos móviles o computadores. Esto también permite tener el control en determinado momento, cuando este sistema nos muestre alguna posible falla en conexiones o en el cultivo, de manera que se tomen las medidas necesarias

y a tiempo, lo que deriva en la disminución de posibles pérdidas en la producción.

Este control y almacenamiento de datos se logró por medio de los microcontroladores aportados por el sistema de Arduino, cuya comunicación se logra por medio de *bluetooth* y permite enviar los datos “en vivo” de la humedad relativa, temperatura y humedad del suelo presentes en el invernadero. También permite guardar el histórico de estos datos con el fin de hacer posibles proyecciones y ajustes cuando sea necesario. Por otro lado, la sistematización de las aplicaciones de riego o fertirriego benefician la calidad de aplicación y optimización del tiempo de parte de los estudiantes, pues pueden desarrollar otras actividades dentro del invernadero mientras el riego o fertirriego es aplicado por el sistema.

## Conclusiones

A manera de conclusión, se puede decir que la automatización de los invernaderos demuestra tener viabilidad en cuanto a que son herramientas que benefician a los productores, ya que se les permite tener información detallada que puede ser controlada por medio de dispositivos móviles.

Además, la automatización se puede realizar en cualquier invernadero con el fin de implementar y tecnificar los diversos cultivos en los que se pueden usar, ya que su automatización presenta

bajos costos y puede resultar en altos rendimientos, productividad y calidad de los productos a desarrollar.

Por último, los aprendices de carreras técnicas y tecnológicas enfocadas a la producción agrícola del SENA de Mosquera tendrán la posibilidad de acceder a una formación integral. Los invernaderos automatizados complementan los aspectos teóricos y el conocimiento del manejo del sistema fortalecerá sus capacidades para próximas etapas laborales.

## Referencias

- Berenz, G (2007). Lectura remota de las variables de un invernadero usando telemetría. Recuperado de <http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/telemetria/lecturaremota-invernadero-telemetria.pdf>
- Bojacá C.R., Gil, R., Schrevens, E. (2011). The greenhouse effect in the high tropics of Colombia: a modeling approach. *Acta Horticulturae* 893, 791- 796.
- Cooman. A. Y., Lee. R. *Investigacion en control de clima en la Sabana de Bogota, las condiciones locales y sus limitaciones. Plantflor Cultivo & Comercio*, 2:41-43, 1998. [50]. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56572/1072644298.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Newman (1999). Efectos del clima en la fisiología de la floración. En clima fisiología y producción de cultivos bajo invernadero, LEE, Rebecca. Santafé de Bogotá centro de investigaciones y asesorías agroindustriales. 1999. p 15-29 Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56572/1072644298.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Suarez G. (23 de febrero de 2019). *Naylamp Mechatronics*. (Naylamp Mechatronics SAC) Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>

# Armadura para columnas estructurales para un puente-grúa de 20 toneladas

Duvan Peña\*

## Resumen

Se realizó un diseño estructural de columnas para un puente-grúa con capacidad nominal de 20 toneladas. El diseño debe ajustarse a las dimensiones del lugar en el que se implementará. Inicialmente se propuso un diseño mecánico con base en la armadura tipo Warren, que se construye replicando en cada una de las caras de las columnas el patrón característico de la armadura Warren. De este diseño, se extrajo una armadura plana que se estudió a través del método de las secciones. Posteriormente, se realiza el análisis estático en tres dimensiones, usando el método de secciones y nodos, según sea necesario. Para este caso, se somete la estructura con una relación 2:1 sobre la carga nominal. A partir de análisis estructural, se determinaron los elementos bajo tensión y bajo compresión. Para este caso, los elementos diagonales experimentan tensión, mientras que los elementos verticales y horizontales están sometidos a compresión. También se demuestra que la armadura metálica es hiperestática o estáticamente indeterminada.

## Abstract

A structural design of columns is made for a bridge crane with a nominal capacity of 20 tons. The design must follow the dimensions of the place to be implemented. Initially, a mechanical design is proposed based on the Warren type armor, which is built by replicating on each of the faces of the columns the characteristic pattern of Warren armor. From this design, a flat reinforcement was extracted to be studied, by means of method of sections. Subsequently, the static analysis is performed in three dimensions, using the method of sections and nodes as necessary. For this case, the structure is subjected with a 2: 1 ratio on the nominal load. From structural analysis, the elements under tension and under compression were determined. On this case, the diagonal elements experienced tension, whereas the vertical and horizontal elements were subjected to compression. Also, the metallic armor is shown to be hyperstatic or statically indeterminate.

**Cómo citar este artículo (APA):** Peña, D. (2019). Armadura para Columnas Estructurales para un puente-grúa de 20 toneladas. *Hashtag*, 14, 39-49.

**> Palabras clave:** análisis estructural, armaduras metálicas, diseño mecánico, puente-grúa.

**> Keywords:** bridge-crane, mechanic design. metal armor, structural analysis.

\* Contacto: Ingeniería Mecánica y afines, stiven\_p@hotmail.es

## Introducción

Actualmente, en la bodega 19, en el parque Industrial Puerto Vallarta, se encuentra instalado un puente-grúa tipo pórtico, con capacidad nominal de 20 toneladas. Una de las características de este tipo de puente-grúas es que el movimiento longitudinal del pórtico se realiza a la altura del suelo. Sin embargo, esta característica ha causado incidentes de trabajo, como atrapamientos, choques y golpes. Por el momento, los incidentes no han comprometido la integridad de alguna persona. Se determinó que el nivel de riesgo es muy alto y requiere de medidas de control.

Según la norma GTC 45, existen dos tipos de controles: controles de ingeniería y controles al individuo (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Icontec, 2010). Dentro de la matriz de riesgo se estableció utilizar una medida de control de ingeniería. Una solución es instalar vigas carrileras, con el fin de que la traslación del puente-grúa se realice a distinto nivel. Se busca, para las vigas carrileras, un diseño de armadura que permita controlar la condición insegura en la bodega, ocupar el mínimo espacio y soportar las cargas mecánicas que el puente-grúa transmite durante el izado con carga nominal.

La instalación de vigas carrileras elevadas permitirá controlar la condición insegura que representa un pórtico en movimiento, así como garantizar la capacidad operativa del puente-grúa. De esta forma, se permite la ejecución de las actividades laborales de la bodega de forma segura. El diseño estructural de las vigas carrileras integran todos los contenidos del análisis de estructuras aplicadas a armaduras y puntos de apoyo. Estos conceptos aplicados y desarrollados en el diseño y análisis de las vigas carrileras

son ampliamente usados en multitud de proyectos de ingeniería, es decir, los análisis inmersos en el diseño de este tipo de vigas, como casos de estudio, sientan la base para análisis estáticos de sistemas y máquinas de mayor complejidad estructural que un puente-grúa.

Dentro del diseño y análisis estructural, las armaduras se definen como la unión de varios elementos entre sí (Meriam y Kraige, 2012). La armadura es uno de los principales tipos de estructuras usadas en la ingeniería ya que proporcionan una solución práctica y económica para diseños que deben soportar las cargas que se le aplican con seguridad. Una armadura consta principalmente de elementos rectos que se conectan en nodos. Cada armadura está diseñada para soportar aquéllas cargas que actúan en su plano y por tanto pueden ser tratadas como estructuras bidimensionales. Para formar una armadura plana o bidimensional, se unen 2 o más armaduras triangulares. Así que, la figura geométrica base de una armadura plana es el triángulo. Cabe resaltar que las estructuras reales están hechas a partir de varias armaduras simples que forman una armadura espacial o tridimensional. La forma más simple de armadura espacial es un tetraedro (Beer, Johnston, Mazurek y Eisenberg, 2010).

Existen varias armaduras típicas que son ampliamente usadas para ofrecer soluciones estructurales. Destacan las armaduras tipo Pratt, tipo Howe, tipo Baltimore, entre otros. No obstante, la armadura tipo Warren destaca por su gran practicidad, ser económica y ofrecer buena resistencia mecánica (Hibbeler, 2012). Además, esta armadura permite la inclusión de barras montantes que dan rigidez a la estructura, lo que reduce la flexión de los elementos. Cabe señalar

que en una armadura las barras están sometidas a dos tipos básicos de esfuerzos: la tensión y la compresión. Es importante determinar las

cargas mecánicas de cada elemento, así como si el elemento está sometido a tensión y a compresión (Urban, 2008).

**Figura 1.** Armadura Warren sin y con barras montantes.



Armadura Warren sin barras montantes

Armadura Warren con barras montante

Fuente: elaboración propia

Dentro del análisis de estructuras se utilizan técnicas para su análisis. Destacan el método de nodos y el método de secciones. El primer método se basa en que toda la armadura está en equilibrio, inclusive los nodos que forman la armadura (Meriam y Kraige, 2012). Para aplicar este método se debe trazar el diagrama de cuerpo libre de cada nodo y luego se aplican las ecuaciones de equilibrio de fuerzas para obtener las fuerzas que cada elemento aplica sobre el nodo. En cambio, el método de secciones busca

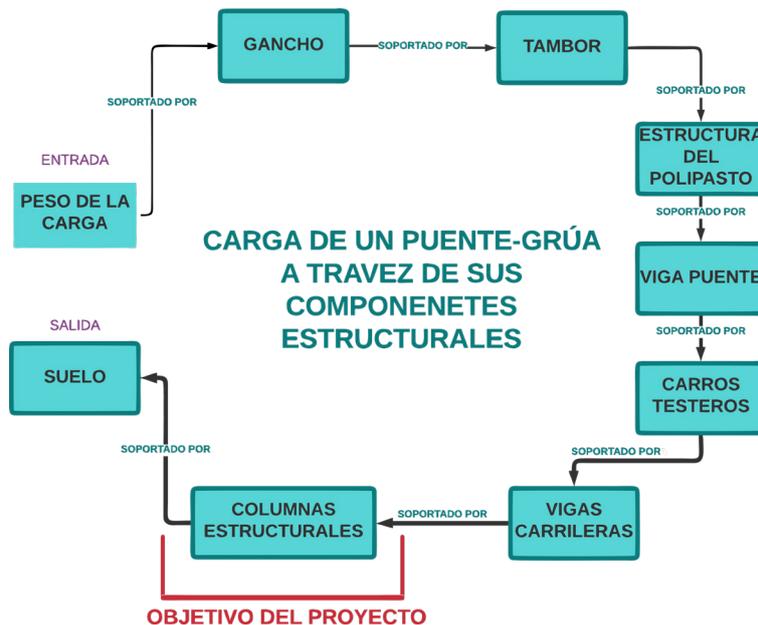
extraer una parte de la armadura sobre la cual se encuentra las fuerzas que desea estudiarse, para después considerar las fuerzas de reacción. Este segundo método tiene la ventaja de usar la ecuación de momentos en equilibrio con el fin de despejar fuerzas desconocidas. Por último, se establecen las ecuaciones de equilibrio y se hallan las fuerzas desconocidas (Hibbeler, 2012). Estos dos métodos son la base del análisis estructural de armaduras planas y espaciales.

## Metodología

El primer aspecto a tener en cuenta es que la finalidad del estudio es presentar el diseño de un modelo estructural para columnas que soporte la carga del puente-grúa y se ajuste a las dimensiones de la bodega. El segundo punto es la implementación de un estudio estático sobre el que se modele el comportamiento mecánico. Es así como se obtiene la información suficiente para escoger la perfilaría y garantizar el funcionamiento seguro de la estructura. Antes de proponer un diseño, se deben considerar los siguientes

pasos. Primero, se debe considerar el sistema mecánico dentro de un punto de vista holístico y definir cuáles son los elementos estructurales a estudiar y diseñar, dentro del sistema mecánico considerado. Para facilitar este primer paso, se diseñó un diagrama de bloques, expuesto en la figura 2, que considera la transmisión de las cargas de un elemento estructural a otro. A partir del diagrama de bloques se establecen las columnas estructurales como el objetivo del diseño.

Figura 2. Diagrama de bloques de la transmisión de las cargas de un elemento estructural a otro



Fuente: elaboración propia.

Como segundo paso, se deben establecer los requerimientos funcionales del diseño estructural. Estos requerimientos se ajustan a las dimensiones espaciales del lugar donde se planea implementar el diseño, a las cargas mecánicas que van a ejercerse sobre la estructura, y al factor de seguridad calculado sobre la carga nominal del puente grúa. Se estiman las dimensiones a partir del puente grúa tipo pórtico, instalado

actualmente, que son 7m de altura, 40m de longitud y 16 m de luz entre las vigas carrileras. La carga nominal del puente grúa es de 20ton, y el factor de seguridad es de 2:1. Es decir, la carga nominal del puente grúa es de 20ton, pero la estructura debe soportar una carga distribuida de 40 ton. La figura 3 es un registro fotográfico actualizada de la bodega 19.

Figura 3. Registro fotográfico bodega 19

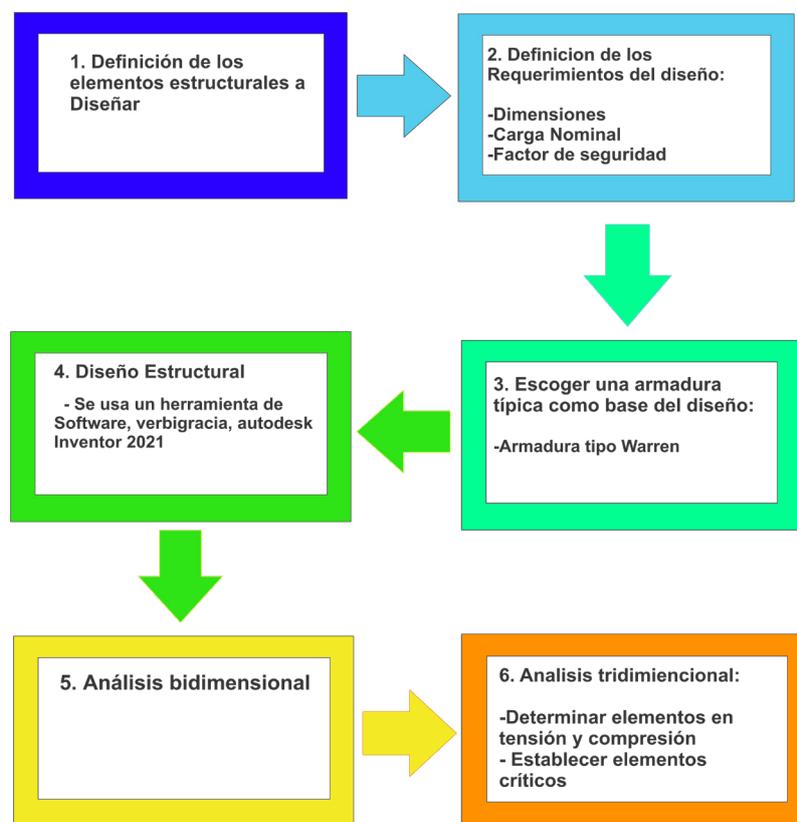


Fuente: Konecranes s.f.

Una vez delimitado el objetivo del diseño y establecidos sus requerimientos del mismo, se procede a escoger una armadura típica, que servirá de base para el diseño. En este caso, se escoge la armadura tipo Warren porque permiten la inclusión de barras montantes que ayudan a rigidizar la estructura, y a disminuir la flexión, y es económica en relación a la cantidad de materiales (Urban, 2008). Luego, se establece un diseño

estructural para las columnas estructurales. Posteriormente se aplica el análisis estático al diseño escogido. Se iniciará por un análisis bidimensional. Luego se realizará el análisis estático tridimensional. Dentro del análisis se consideran cuáles son los elementos sometidos a tensión y cuales a compresión. En la figura 4 se muestra la cadena de secuencia con los pasos que se siguen en la realización de este diseño mecánico.

**Figura 4.** Secuencia del diseño propuesto

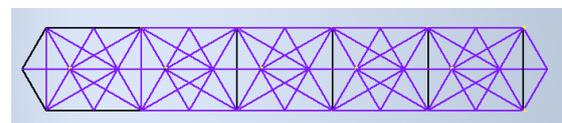


Fuente: elaboración propia.

## Resultados

Inicialmente se desarrolló el siguiente diseño estructural para las columnas, con base en la armadura Warren con barras montantes:

**Figura 5.** Diseño 1 armadura Warren

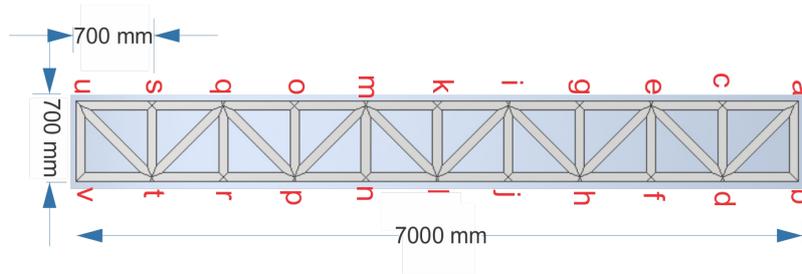


Fuente: elaboración propia

A partir de este diseño, se extrajo la cara frontal para realizar el análisis estático bidimensional. En la siguiente imagen se observa la cara frontal

con cada uno de los nodos identificados y las dimensiones de la estructura:

Figura 6. Cara frontal.

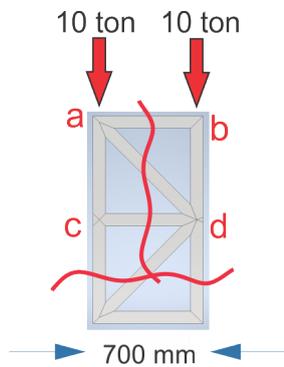


Fuente: elaboración propia

Con el fin de realizar el análisis estático bidimensional se definió la siguiente sección:

Cabe resaltar que la fuerza  $C_y$  equivale a la fuerza en el elemento CE y el elemento AC.

Figura 7. Sección cara frontal



Fuente: elaboración propia.

Enseguida se procede a realizar la sumatorias de fuerza en el eje Y para el nodo A y procedemos a calcular la fuerza sobre el elemento AD.

Inicialmente se calculará la fuerza de reacción  $C_y$  a partir de la sumatorias de momentos en el nodo d.

$$\sum M_d = 10 \text{ Ton} * g * 0.7 \text{ m} - C_y = 0$$

$$C_y = 10\,000 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 * 0.7 \text{ m}$$

$$C_y = 68.67 \text{ kN}$$

(Ecuación 1)

$$\sum F_{Ay} = C_y + AD \cos 45^\circ - 10 \text{ Ton} * g = 0$$

$$AD \cos 45^\circ = 10 \text{ Ton} * g - C_y$$

$$AD \cos 45^\circ = 10\,000 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 - 68.67 \text{ kN}$$

$$AD = \frac{29.43 \text{ kN}}{\cos 45^\circ}$$

$$AD = 41.62 \text{ kN}$$

(Ecuación 2)

Después se hizo el cálculo de la fuerza de reacción  $D_y$  a partir de la sumatorias de momentos en el nodo c.

$$\sum M_c = 10 \text{ Ton} * g * 0.7 \text{ m} - D_y = 0$$

$$D_y = 10\,000 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 * 0.7 \text{ m}$$

$$D_y = 68.67 \text{ kN}$$

(Ecuación 3)

Cabe resaltar que la fuerza  $D_y$  equivale a la fuerza en el elemento BD y el elemento DF.

Ahora se procede a realizar la sumatorias de fuerza en el eje Y para el nodo D y procedemos a calcular la fuerza sobre el elemento DE

$$\sum FD_y = D_y + DE \cos 45^\circ - 10 \text{ Ton} * g - AD \cos 45^\circ = 0$$

$$DE \cos 45^\circ = 10 \text{ Ton} * g + AD \cos 45^\circ - D_y$$

$$DE \cos 45^\circ = 10\,000 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 + 41.62 \text{ kN} \cos 45^\circ - 68.67 \text{ kN}$$

$$DE = \frac{58.86 \text{ kN}}{\cos 45^\circ}$$

$$DE = 83.24 \text{ kN}$$

(Ecuación 4)

De la sección estudiada falta conocer la fuerza que somete al elemento AD y CD. Para hallar AD, tenemos que:

$$\sum FA_x = AB - AD \cos 45^\circ = 0$$

$$AB = 29.42 \text{ kN}$$

(Ecuación 5)

Para el caso de CD tenemos que:

$$\sum FD_x = -CD - AD \cos 45^\circ + DE \cos 45^\circ = 0$$

$$CD = 58.85 \text{ kN} - 29.42 \text{ kN}$$

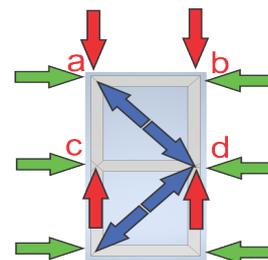
$$CD = 29.42 \text{ kN}$$

(Ecuación 6)

Se puede observar en las sumatorias de fuerzas realizadas sobre los nodos que los elementos verticales experimentan una fuerza en dirección hacia abajo, producida por la carga; y otra fuerza de dirección contraria, que comprime a los elementos verticales. Por lo tanto, los elementos verticales están trabajando en compresión. Para el caso de los elementos horizontales sucede

algo similar: las fuerza que soportan el elemento salen de los nodos estudiando hacia el elemento horizontal, lo que lo comprime. En contraste, los elementos diagonales experimentan fuerzas que van desde el elemento hacia el nodo, estirando al elemento. Por lo tanto, los elementos diagonales trabajan bajo tensión. La siguiente imagen resume cómo las fuerzas tensionan y comprimen los elementos de la armadura:

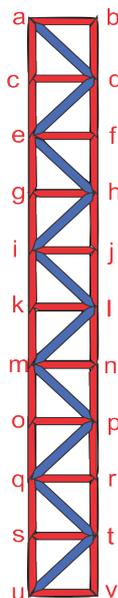
**Figura 8.** Fuerzas que actúan en la armadura



Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que como la estructura sigue un mismo patrón, las siguientes secciones están sometidas a las mismas fuerzas. En la siguiente imagen se observan los elementos de la armadura, así como los esfuerzos a los que son sometidos:

**Figura 9.** Esfuerzos a los que se somete la armadura



En azul se representan los elementos a tensión y en rojo los a compresión. Los elementos horizontales experimentan una fuerza de 29.42 kN; los elementos verticales experimentan una fuerza de 68.67 kN. En cuanto a los elementos diagonales, todos están sometidos a una fuerza de 83.24 kN, con la excepción del elemento AD que experimenta una tensión de 41.62 kN y BD con una fuerza de 98.1kN.

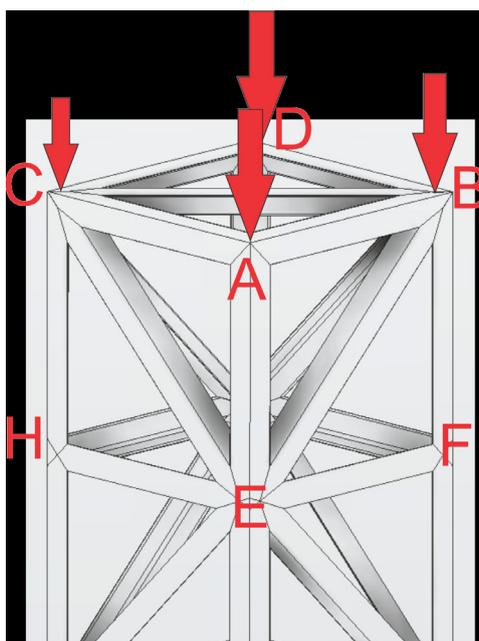
Fuente: elaboración propia.

### Análisis tridimensional

Para estudiar el análisis tridimensional de la armadura, se definió la siguiente sección, en la que

se aplica una carga de 10 ton en los nodos A, B, C y D, según se muestra en la figura 10:

**Figura 10.** Análisis de esfuerzos 3D



Fuente: elaboración propia.

Iniciamos con la sumatoria de fuerzas en el eje z para el nodo A y D:

$$\sum FA_z = -98.1kN + A_z = 0$$

$$\sum FD_z = -98.1kN + D_z = 0$$

$$98.1kN = D_z = A_z$$

(Ecuación 7)

Se evidencia que las fuerzas  $A_z$  y  $D_z$  son de igual magnitud. Enseguida, se definen las sumatorias de momento para el nodo B, teniendo en cuenta

que  $C_y$  son las reacciones a la carga aplicada en ese nodo:

$$\begin{aligned} \sum MB = & -0.7j X (-98.1kNK) + (-0.7j X A_zK) + (-0.7j + 0.7i)X (-98.1kNK) \\ & + (-0.7j + 0.7i)X (KC_z) + 0.7i X (-98.1kNK) + 0.7i X D_zK = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum MB = & 68.67kN i - 0.7A_zi + 68.67kN i + 68.67kN j - 0.7C_zi - 0.7jC_zj \\ & + 68.67kN j - 0.7D_zj = 0 \end{aligned}$$

$$\sum MB_x = 68.67kN i - 0.7A_zi + 68.67kN i - 0.7C_zi = 0$$

$$\sum MB_y = 68.67kN j - 0.7D_zj + 68.67kN j - 0.7C_zj = 0$$

(Ecuación 8)

$$0.7D_z + 0.7C_z = 137.34kN$$

$$0.7A_z + 0.7C_z = 137.34kN$$

$$D_z = A_z$$

$$C_z = D_z = A_z = 98.1kN$$

(Ecuación 9)

Las expresiones obtenidas de las sumatorias de momentos en el nodo B muestran que el comportamiento del momento en el eje X y el eje Y

es igual. Ahora bien, si se tratara a las últimas dos expresiones algebraicas como un sistema de ecuaciones 2x2, se obtendría un sistema con infinitas soluciones, debido a que las dos expresiones son la misma recta en el plano cartesiano. Por lo tanto, el comportamiento estático es el mismo para el eje X y Y. También se evidencia que no existe momento con respecto al eje Z.

Ahora se presenta el análisis de momentos en el nodo G. Este nodo es uno de los que más incógnitas tiene:

$$\sum MG = -0.7j X (-98.1kN) + (-0.7j X H_z K) + (-0.7j - 0.7i)X (-98.1kN) + (-0.7j - 0.7i)X (E_z K) - 0.7i X (-98.1kN) - 0.7i X F_z K = 0$$

$$\sum MG = 68.67kN i - 0.7H_z i + 68.67kN i - 68.67kN j - 0.7E_z i + 0.7jE_z j - 68.67kN j + 0.7 F_z j = 0$$

$$\sum MG_x = 68.67kN i - 0.7H_z i + 68.67kN i - 0.7E_z i = 0$$

$$\sum MG_y = -68.67kN j + 0.7F_z j - 68.67kN j + 0.7E_z j = 0$$

$$0.7H_z + 0.7E_z = 137.34kN$$

$$0.7F_z + 0.7E_z = 137.34kN$$

$$C_z = D_z = A_z = 98.1kN$$

(Ecuación 10)

De nuevo, las expresiones obtenidas de las sumatorias de momentos en el nodo G muestran que el comportamiento del momento en el eje X y el eje Y es igual. Ahora bien, si se tratara a las últimas dos expresiones algebraicas como un sistema de ecuaciones 2x2, se obtendría un sistema con infinitas soluciones, debido a que las dos expresiones son la misma recta en el plano cartesiano. Por lo tanto, el comportamiento

estático es el mismo para el eje X y Y. Por otra parte, vuelve a evidenciarse que no existe momento con respecto al eje Z. Se continúa con la sumatorias de fuerzas para los nodos interconectados por medio de diagonales.

Iniciaremos con las sumatorias en el eje Z para los nodos B, C, E, G:

$$\sum FB_z = -\cos 45^\circ EB - \cos 45^\circ GB + 98.1kN - B_z = 0$$

$$\sum FC_z = -\cos 45^\circ GB - \cos 45^\circ GC + 98.1kN - C_z = 0$$

$$\sum FE_z = \cos 45^\circ GB + \cos 45^\circ GC + 98.1kN - E_z = 0$$

$$\sum FG_z = \cos 45^\circ GB + \cos 45^\circ GC + 98.1kN - G_z = 0$$

(Ecuación 11)

A partir de estas expresiones, se puede observar que existen más incógnitas que ecuaciones. Por lo tanto, se puede definir a esta armadura

espacial como estáticamente indeterminada o hiperestática. Entonces, no es posible continuar con el análisis estático de la armadura.

## Conclusiones

Se determinó que la armadura espacial es estáticamente indeterminada o hiperestática. No obstante, se realizaron algunas observaciones sobre la armadura. Los nodos con la igual cantidad de conexiones tienden a tener el mismo comportamiento estático, a saber, los nodos B y C, o los nodos E y G. Respecto de las sumatorias de fuerzas con respecto al eje Z se observa que en las diagonales la dirección de la fuerza se dirige hacia el nodo, es decir, que cuando la diagonal se conecta por debajo del nodo, la dirección de la fuerza jala el elemento hacia aquel. De esta forma, se determina que las diagonales trabajan en tensión.

En cuanto a los elementos verticales, se puede decir que están sometidos a una carga que coincide hacia  $-K$  y experimentan fuerzas de reacción que coinciden con  $K$ . Por lo que las verticales están sometidas a compresión. Estas mismas observaciones se obtuvieron en el análisis en dos dimensiones de la armadura. A partir, del análisis en dos dimensiones se evidencia que los elementos horizontales también se encuentran bajo compresión.

Por otra parte, esta armadura ofrece algunas ventajas. Es ligera, gracias a que no es una columna maciza, en cuyo caso se usaría una en L para soportar las cargas. Además, la estructura es tetraédrica, lo que permite distribuir las cargas superiores. En el análisis bidimensional se observó que las cargas de todos los elementos, con excepción del elemento BD, se encuentran por debajo de la carga aplicada de 98.1kN en los nodos superiores. Una posible desventaja es que hay uniones entre 9 elementos.

En principio se planteó la unión por soldadura. No obstante, las uniones en los nodos no son sencillas de realizar en la práctica, dado el número de elementos fijados en un solo nodo. Con el fin de continuar el estudio, se debe escoger una perfilaría, así como desarrollar los análisis relacionados a la resistencia del material. También es recomendable usar algún software de elementos finitos que permita simular el comportamiento de la armadura a diferentes cargas.

## Referencias

- Beer, F., Johnston, R., Mazurek, D. y Eisenberg, E. (2010). *Mecánica Vectorial para Ingenieros: Estática*. (9na ed.) Ciudad de México, México: McGraw Hill.
- Hibbeler, R. (2012). *Ingeniería Mecánica: Estática* (12ma ed.). Ciudad de México, México: Pearson Education.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Icontec (2010). Guía Técnica Colombiana GTC45. Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Recuperado de <https://n9.cl/m40dn>
- Konecranes Colombia S.A.S (s.f.). Gruas Konecranes. Recuperado de: <https://www.gruaskonecranes.com/nosotros/>
- Meriam, J., & Kraige, L. (2012). *Mecánica para Ingenieros Estática* (7ma ed.) Virginia, Estados Unidos: Reverté
- Urban, P. (2008). *Construcción de Estructuras Metálicas*. (4ta ed). Alicante, España: Club Universitario.

# Plataforma robótica teleoperada para el Mercury Remote Robot Challenge

Said Pinzón Castañeda\*, Alex Medina Cely\*\* y Sergio Daniel Díaz\*\*\*

## Resumen

El presente artículo expone el proceso que el semillero de investigación electrocun, de la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN), llevó a cabo para diseñar y construir los robots teleoperados “Socco” y “Yipao” que participaron en el Mercury Remote Robot Challenge, en la Universidad de Oklahoma, Estados Unidos. En este sentido, en este documento se describe, de un lado, el proceso de diseño de las plataformas mecánicas y sistema electrónico, las cuales debían ser capaces de superar los retos propuestos por el concurso, y, del otro, la manera como se construyeron y ensamblaron para cumplir con las condiciones físicas de la pista de competencia. [

## Abstract

This paper exposes the process that the ELECTROCUN research hotbed, of the Corporación Nacional Unificada de Educación Superior (CUN), carried out to design and build the “Socco” and “Yipao” teleoperated robots that participated in the Mercury Remote Robot Challenge, at the University of Oklahoma, United States. In this sense, this document describes, on the one hand, the design process of the mechanical platforms and electronic system, which should be able to overcome the challenges proposed by the tender, and, on the other, the way they were built and assembled to meet the physical conditions of the competition track.

## Cómo citar este artículo

(APA): Pinzón, S., Medina, A., Díaz, S. (2019). Plataforma robótica teleoperada para el Mercury Remote Robot Challenge. *Hashtag*, 14, 51-66.

> **Palabras clave:** robot, robot autónomo, robot teleoperado, sistema electrónico

> **Keywords:** autonomous robot, electronic system, robot, teleoperated robot

\* Docente de Ingeniería Electrónica en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior. Contacto: said\_pinzon@cun.edu.co

\*\* Docente de Ingeniería Electrónica en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior. Contacto: alex\_medinacel@cun.edu.co

\*\*\* Docente de Ingeniería Electrónica en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior. Contacto: sergio\_diaz@cun.edu.co

## Introducción

Actualmente, escuchar el término *robot* es algo cotidiano; sin embargo, muchas veces las personas no saben que los robots son el resultado de la combinación de sistemas mecánicos con sistemas electrónicos que interactúan entre sí para cumplir con funciones específicas. El desarrollo de los robots ha aumentado como consecuencia del gran avance tecnológico que se ha venido manifestando a lo largo de los años y, hoy en día, es posible observar en detalle los avances investigativos en el campo de la robótica. Sin duda, el *software* especializado ha logrado ayudar bastante a los avances presentes: este se implementa en los robots, debido a que estas son instrucciones que sigue cada robot para realizar una tarea específica o un listado de tareas programadas (Puentes, Ríos, y Salvador, 2010).

Toda vez que los humanos siempre han buscado simplificar sus tareas cotidianas (para ahorrar tiempo y esfuerzo), la robótica ha sido una justificación principal para el desarrollo de actividades donde un robot puede desempeñar un mejor papel que la solución hasta ese momento existente. Un ejemplo claro de esto es el automóvil: en un comienzo, para desplazarse a través de grandes distancias, el humano debía caminar durante mucho tiempo para llegar a su destino; después, empezó a utilizar tracción animal y era transportado en conjunto con algunos objetos más; luego, siguió innovando hasta ser capaz de crear vehículos que le permitían desplazarse más rápido y con un esfuerzo mucho menor, y, finalmente, en el siglo XXI, ya existen sistemas de desplazamiento autónomos u operados a distancia.

Estos últimos, los vehículos operados a distancia, son controlados desde una estación remota por un usuario. En principio, estos vehículos fueron creados con fines recreativos (carros a radiocontrol) y de entretenimiento, pero, debido a su gran potencial, desde hace varios años se han empezado a desarrollar sistemas teleoperados más robustos que han tenido implicaciones militares, civiles, gubernamentales e, incluso, sociales. Estos robots teledirigidos cuentan con equipos con cámaras, sensores, actuadores y sistemas de comunicación.

Ahora mismo, se pueden encontrar muchos vehículos teleoperados que, según su categorización, han sido diseñados para cumplir con diferentes tareas específicas. Por ejemplo, los vehículos militares no tripulados cuentan, de un lado, con funciones que les permiten explorar campos minados y lugares peligrosos (donde el ser humano no ha podido entrar o resulta peligrosa su incursión) y, del otro, con características físicas adaptadas especiales para el campo en el que se desarrollan (blindaje especial que lo protege de explosiones o posibles ataques). A continuación, se evidencian algunos de los vehículos teleoperados más relevantes de la actualidad:

- El Gladiator Tactical Unmanned Ground Vehicle (figura 1), que puede ser operado a una distancia de 80 kilómetros, apoya al cuerpo de marina de los Estados Unidos en misiones terrestres de alto riesgo. Sus funciones se basan en el uso bélico de su artillería, ya que puede realizar tareas de exploración, vigilancia y apertura de rutas obstaculizadas. También cuenta con cámaras de capacidad visual día - noche y térmica.

**Figura 1.** Gladiator Tactical Unmanned Ground Vehicle - vehículo teleoperado del cuerpo de marina de Estados Unidos.



Fuente: Global Security (s. f.).

- El robot Multiscope 3D (figura 2) se utiliza para el rescate de personas en situaciones de catástrofe: según el tipo de situación que se esté presentando, el vehículo puede ser equipado con diferentes sistemas de ayuda, como

lo son una manguera de agua, discos de corte, brazos robóticos, pala excavadora, etc. Este robot puede ser utilizado a una distancia de 90 kilómetros (Milirobotics, s. f.).

**Figura 2.** Multiscope 3D - vehículo de rescate teleoperado.



Fuente: Milrem Robotics (s. f.).

- Otro tipo de vehículo teleoperado que actualmente tiene una gran acogida es el dron o Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Este sistema robótico aéreo posee numerosas ventajas en el desplazamiento al compararlo con los vehículos no tripulados terrestres, lo que ha hecho que sea ampliamente utilizado a nivel comercial, civil y militar. Gracias a sus características, es altamente adaptable: puede llevar cámaras (vigilancia), brazos robóticos para el muestreo de objetos, compartimientos para el transporte de cargas, etc.

Por ejemplo, en el campo militar, los ejércitos utilizan drones para realizar vuelos periódicos sobre zonas de conflicto; en la agricultura, se equipan con equipos especiales y ayudan en la detección del estado del suelo y los cultivos; en aplicaciones comerciales, su uso permite que las entregas de productos sean mucho más rápidas, y, en estudios fotométricos, se han integrado para determinar el uso de espacio de una edificación que se construirá.

Figura 3. Distintos tipos de drones.



Fuente: Prometec (s. f.).

## Mercury Remote Robot Challenge

La meta principal del Mercury Remote Robot Challenge es conducir un robot teleoperado (a una distancia de 80 kilómetros) a través de un circuito con diferentes retos que exigen un alto nivel de calidad académica y profesional de los participantes en el desarrollo de plataformas robóticas que solucionen tareas específicas. Los equipos son conformados por tres personas con los siguientes roles:

- **Piloto:** es quien manipula al robot; se debe encontrar en un lugar a 80 kilómetros del robot.

- **Mecánico:** es quien manipula el robot físicamente; se encuentra en el lugar de la competencia y es la única persona del equipo autorizada para hacer ajustes al robot (si este lo requiere).
- **Auxiliar mecánico:** se encuentra al lado del mecánico, pero no puede manipular el robot. Únicamente puede asesorar al mecánico.

Los equipos que compiten tienen la presión de llevar a cabo el recorrido de la pista en el menor

tiempo posible, superando los retos y acumulando puntos por cada obstáculo superado, y evitando cometer infracciones. Para teleoperar el vehículo, el equipo es libre de elegir, de un lado, el sistema de comunicación por utilizar, ya sea con módulos wifi, *bluetooth*, Zigbee, RF, etc., y, del otro, la electrónica aplicada al robot para generar el desplazamiento.

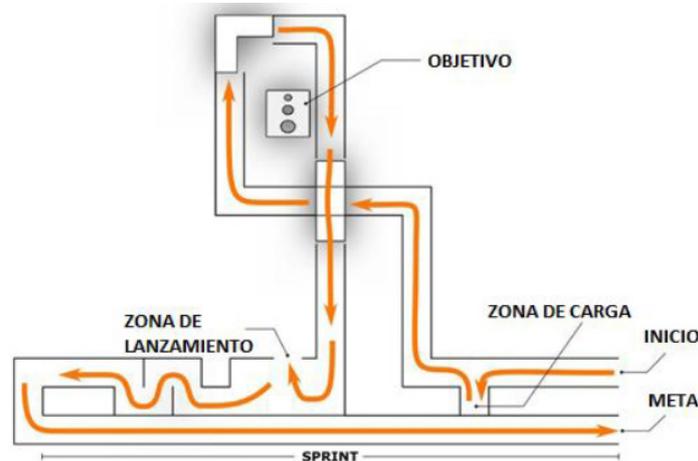
Un detalle importante del concurso es que se entrega puntuación adicional al robot que cumpla

con algunos retos de forma autónoma, para lo cual es necesario desarrollar un sistema electrónico adicional que lo permita.

### Pista

La pista del concurso es un camino con un ancho de 60 centímetros que contiene múltiples obstáculos que los robots deben superar para continuar (ver figura 4):

Figura 4. Pista del Mercury Remote Robot Challenge.



Fuente: elaboración propia.

### Prototipo

De acuerdo con las especificaciones del concurso y con los requerimientos para el desarrollo de la plataforma robótica, se realiza un plan metodológico de tres fases en el que se evidencia el desarrollo del robot teleoperado. La fase 1 está compuesta por el diseño que se llevó a cabo para elaborar el robot de competencia y se divide en dos, sistema mecánico y sistema electrónico. En la primera parte, de acuerdo con las especificaciones de la pista, es importante aclarar que se presenta una tabla de ponderación entre diferentes diseños mecánicos que se ajustan a

los desafíos propuestos en el concurso. Por su parte, en la segunda parte de la fase 1, se expone el sistema electrónico propuesto, el cual debe ser capaz de cumplir con las demandas necesarias para los obstáculos de pista; además, en una tabla de ponderaciones se evalúan los sensores necesarios para el desarrollo del *hardware* electrónico.

La fase 2 del proyecto se concentra en la construcción del prototipo. En este momento se construyen el sistema mecánico modelado en la fase

1 y el sistema electrónico ajustado en la fase de diseño a las demandas de los sensores y actuadores presentes en el robot.

La fase 3 consiste en la evaluación de la plataforma robótica realizada; en este punto, se

realiza un análisis de los resultados observados del robot en pista, su comportamiento en el enfrentamiento de los obstáculos y, por último, las conclusiones del proyecto realizado.

## Desarrollo del proyecto

### Fase 1. Diseño de la plataforma robótica

#### Primera parte (diseño mecánico)

De acuerdo con las especificaciones de la pista y las reglas en general del concurso, se empieza a realizar un modelamiento de la estructura mecánica que debe de llevar el robot. De este modo, el grupo de trabajo del semillero ELECTROCUN diseña una tabla de prioridad donde se evalúan los aspectos más importantes con los que debía contar en el robot teleoperado. Es importante destacar que, para el Mercury Remote Robot Challenge, era esencial el tiempo en el que el robot recorre toda la pista y supera los obstáculos; por lo tanto, se define el tiempo como primera variable esencial que el robot debía cumplir.

Con este fin, fue necesario que la plataforma mecánica tuviera gran flexibilidad para que superara los retos que requieren realizar maniobras. Adicionalmente, el peso también fue un factor importante en el desarrollo del sistema mecánico porque, en este caso, no era necesario que el robot cuente con una amplia robustez; por el contrario, entre más liviano fuese el sistema, mejor sería el desempeño en velocidad en pista. Otra variable importante era que la superficie de la pista era alfombrada, por lo tanto, el sistema de tracción del vehículo debía ser de bastante adherencia al suelo.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, la tabla 1 describe las variables de prioridad para puntuar lo establecido.

Tabla 1. Prioridades de las variables.

Variable	Ponderación	Puntuación
Peso	En esta variable se tenía en cuenta la plataforma robótica que menor peso tuviera. Se calificaba con 0 a la plataforma más pesada y con 10 a la más ligera.	0 - 10
Ejes de movimiento	En esta variable se tenía en cuenta la plataforma robótica que mejor permitiera el movimiento de los ejes. Se calificaba con 0 a la plataforma más estática y con 10 a la más versátil.	0 - 10
Tracción	En esta variable se tenía en cuenta la plataforma robótica que permitiera la mejor tracción (en alfombra). Se calificaba con 0 a la plataforma de menos tracción y con 10 a la de mejor tracción	0 - 10

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 1, se definieron tres prioridades para tener en cuenta en el sistema mecánico. Como se explicó anteriormente, la variable del peso fue la de mayor prioridad (es importante aclarar que las variables peso, ejes de movimiento y tracción eran dependientes de una variable mayor, el tiempo).

A partir de las prioridades de las variables, se tuvieron en cuenta dos modelos prácticos para el diseño del chasis mecánico. A continuación, se presentan las características principales de cada modelo mecánico, en función de las variables anteriormente descritas.

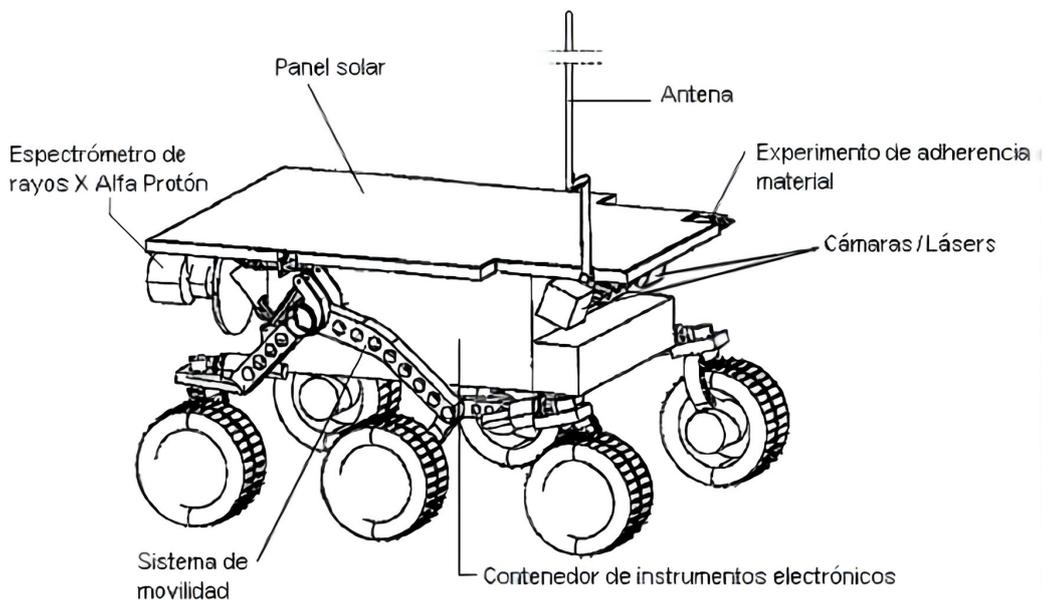
### Plataforma robótica con ruedas

Las plataformas robóticas con ruedas cuentan con un chasis de estructura base donde son

posicionados los ejes que se distribuyen hacia las ruedas. Por su parte, el peso de una plataforma varía según el material con el cual se construyó (normalmente, se utilizan plataformas en aluminio, debido a que este es un material maleable y ligero). La tracción que ofrece un vehículo de ruedas depende íntegramente del diámetro de estas, del ancho, del material y del diseño de la superficie, es decir, el patrón que tiene grabado la rueda.

En el caso del eje de movimiento para el vehículo con ruedas, se pueden realizar movimientos sobre su mismo eje, giros y vueltas, de ser necesario para la competencia.

Figura 5. Plataforma con seis ruedas.



Fuente: Puentes, Ríos y Salvador (2010, p. 19).

De acuerdo con lo anteriormente descrito, en la tabla 2 se evalúa la ponderación:

**Tabla 2.** Puntuación de la plataforma robótica con ruedas.

Variable	Puntuación
Peso	5
Eje de movimiento	10
Tracción	5
Total	20

Fuente: elaboración propia.

A partir de la tabla 2, es posible afirmar que en el modelo de la plataforma robótica con ruedas la tracción es relativamente baja, en relación con la que se busca para el sistema mecánico.

### Plataforma robótica tipo oruga

La transmisión tipo oruga es un tipo de repartición acoplada entre el eje del motor y un piñón principal. Normalmente, se encuentra esta repartición se conecta por medio de una banda o correa a un juego de piñones encajados en el sistema de transmisión. Este tipo de transmisión de avance es óptimo para terrenos blandos, debido a que posee una tracción bastante alta, además

de mejorar la distribución del peso del vehículo. De igual modo, se puede configurar para que realice movimientos sobre su mismo eje, desplazamientos hacia adelante y hacia atrás, y, en caso de necesitar mantenimiento, su reparación no es tediosa.

El peso que puede tener una plataforma tipo oruga depende de los materiales con los que se construya; en este caso, al igual que en el modelo de la plataforma con rueda, se considera una estructura en aluminio liviano, por lo tanto, la variable del peso tendrá la misma calificación que la plataforma anterior.

**Figura 6.** Plataforma tipo oruga.



Fuente: Arboleda y Toro (2013, p. 18).

De acuerdo con lo anteriormente descrito, en la tabla 3 se evalúa la ponderación:

**Tabla 3.** Puntuación de la plataforma tipo oruga.

Variable	Puntuación
Peso	5
Eje de movimiento	10
Tracción	8
Total	23

Fuente: elaboración propia.

Con lo observado en la tabla 3, se puede afirmar que la tracción en la plataforma tipo oruga es ideal para el desarrollo de la competencia. Además, al tener en cuenta que la pista estaba compuesta por una alfombra, es claro que este sistema de transmisión era ideal para este proyecto.

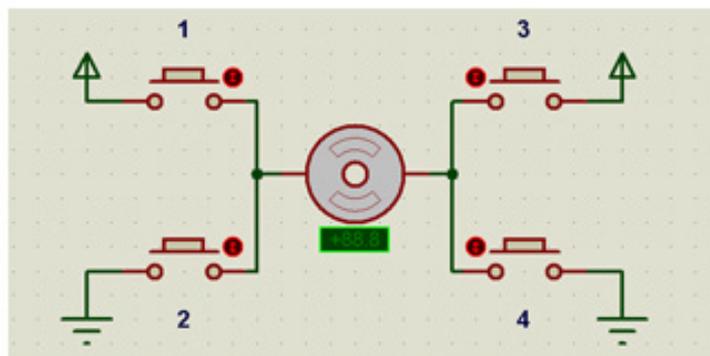
Ahora bien, a pesar de lo observado a través de la evaluación de los diseños de las plataformas robóticas, en la elaboración del robot se decidió construir y utilizara las dos plataformas robóticas para, de un lado, poder compararlas en un ejercicio práctico y, del otro, tener mayores posibilidades de ganar el Mercury Remote Robot Challenge.

### *Segunda parte (diseño electrónico)*

Debido a los retos de la pista, era importante tener en cuenta que la plataforma robótica debía contar con un sistema electrónico robusto, empezando por los motores que utilizaría el robot para su desplazamiento. Con este fin, en el mercado actual se encontraron motorreductores a 12 voltios DC con 360 revoluciones por minuto que contaban con un torque apropiado para la carga del robot y la superación de los obstáculos.

Mediante el uso de un puente H –es decir, un inversor de giro para los motores– era posible que el robot se desplazara hacia cualquier dirección.

**Figura 7.** Puente H de los motores.



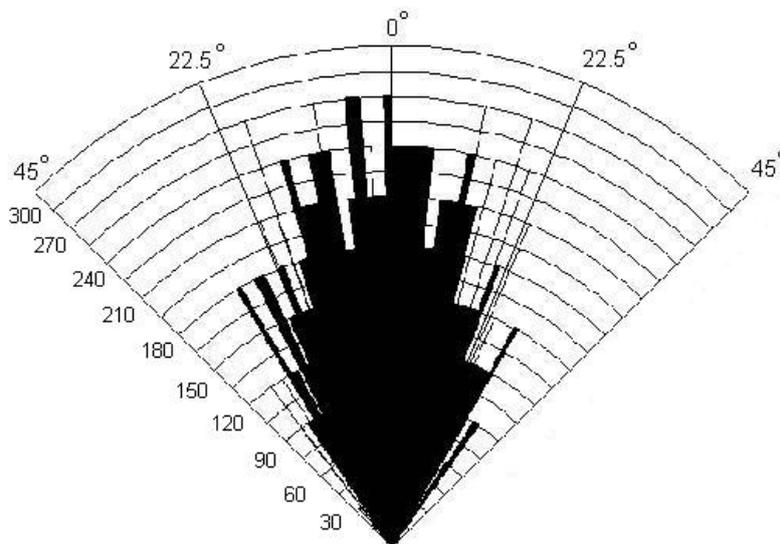
Fuente: elaboración propia.

Toda vez que el robot debía superar los obstáculos de manera autónoma, los sensores por utilizar eran de ultrasonido; para utilizarlos, fue necesario contar con un controlador que ejecutaba las ordenes predispuestas en el *software* previamente cargado.

El sensor de ultrasonido de alta calidad SRF04 es capaz de calcular objetos y la distancia a la que se encuentra, en un rango de 3 a 300 centímetros, además se destaca por su bajo consumo y gran precisión.

Entre las características del sensor ultrasonido en condiciones de trabajo, se destaca el hecho de tener una gran precisión en la detección de objetos a distancia. En la figura 8 se observa el rango en grados *vs* distancia en centímetros con el que el sensor SRF04 de ultrasonido puede usarse para el robot, con el fin de utilizar el modo autónomo en algunos obstáculos solicitados en el Mercury Remote Robot Challenge.

**Figura 8.** Rango de detección del sensor ultrasonido.

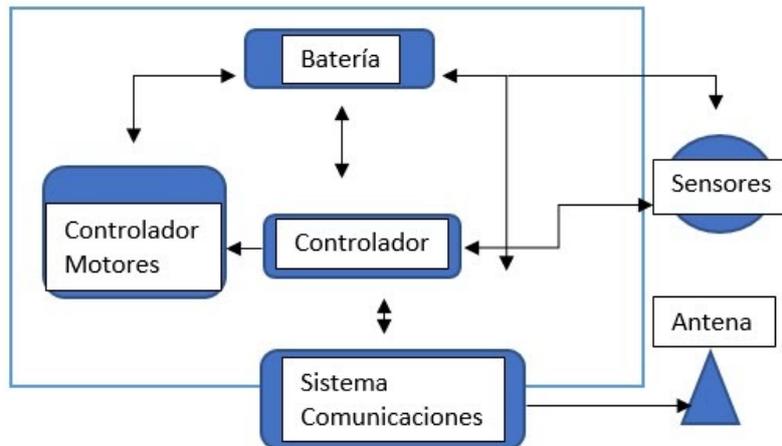


Fuente: Intplus (s. f.).

Para el sistema de comunicación RC, la organización del Mercury Remote Robot Challenge dispuso para los participantes un canal dedicado en protocolo de Internet bajo la configuración de un canal en el *router*. Para establecer comunicación inalámbrica con el *router* en sitio, se utilizó un módulo ESP8266, que permite la conexión entre el robot y el piloto vía wifi. Por otra parte, como

se evidencia en la figura 9, el diagrama de bloques permite observar el diseño electrónico para la construcción de los robots teleoperados. En la fase 1, fue correspondiente al sistema mecánico, donde se utilizaron los dos modelos presentados (transmisión ruedas y transmisión oruga) y, además, se presenta el diseño y las piezas necesarias para el sistema electrónico.

Figura 9. Diagrama de bloques del sistema electrónico.



Fuente: elaboración propia.

## Fase 2. Construcción del prototipo

En este apartado se presta especial atención a todo el proceso llevado a cabo para la construcción de las plataformas robóticas, evidenciando cómo fue el proceso para realizar los robots de competencia. En primer lugar, se presenta el desarrollo del sistema mecánico y las piezas que fueron fundamentales para completar la estructura o chasis que dio forma a los robots. De igual modo, se integra el sistema electrónico, para el cual se evidencian las placas realizadas para el control de los robots.

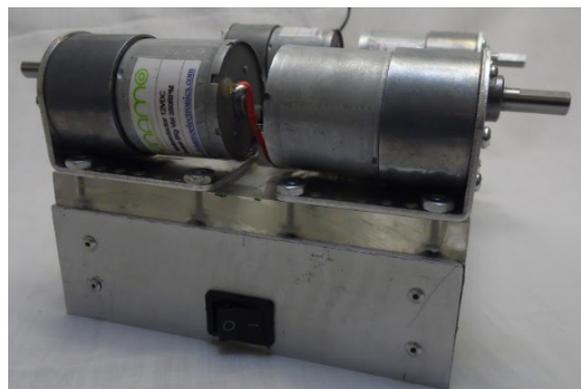
Como se mencionó anteriormente, se tomó la decisión de desarrollar dos sistemas mecánicos: uno con transmisión de ruedas y otro con transmisión tipo oruga. A continuación, se muestra cómo se desarrolló el chasis de transmisión de ruedas.

El desarrollo de esta plataforma se llevó a cabo en material de aluminio liviano, con el fin de reducir al máximo el peso de la estructura. Para esto, se realizaron diseños sobre *software* especializado, que permite la manipulación y construcción de piezas a escala, dando como resultado una estructura sólida y de excelente resistencia

para los obstáculos que se podían presentar en la competencia.

En la figura 10 se puede apreciar cómo el robot empieza a tomar forma con la unión de las piezas del soporte de los motores y una cama baja de aluminio, donde estaría toda la electrónica del robot.

Figura 10. Plataforma robótica con motores.



Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 se puede evidenciar el robot “Yipao”, con la plataforma mecánica de ruedas. Una vez ensamblado el chasis, se procedió a realizar el acoplamiento del sistema electrónico.

**Figura 11.** Plataforma robótica con ruedas.



Fuente: elaboración propia.

Para la segunda plataforma robótica, con sistema de transmisión de oruga, se evidencia el desarrollo su desarrollo en la figura 12. Como se puede ver, la plataforma se realizó con una placa de acrílico y aluminio. Los motores utilizados en

este modelo son iguales a los descritos anteriormente: "Socco" utiliza el mismo sistema electrónico que "Yipao". Por lo tanto, se asumió que la carga que debían tener los motores era igual a la del diseño anterior.

**Figura 12.** Plataforma robótica tipo oruga.



Fuente: elaboración propia.

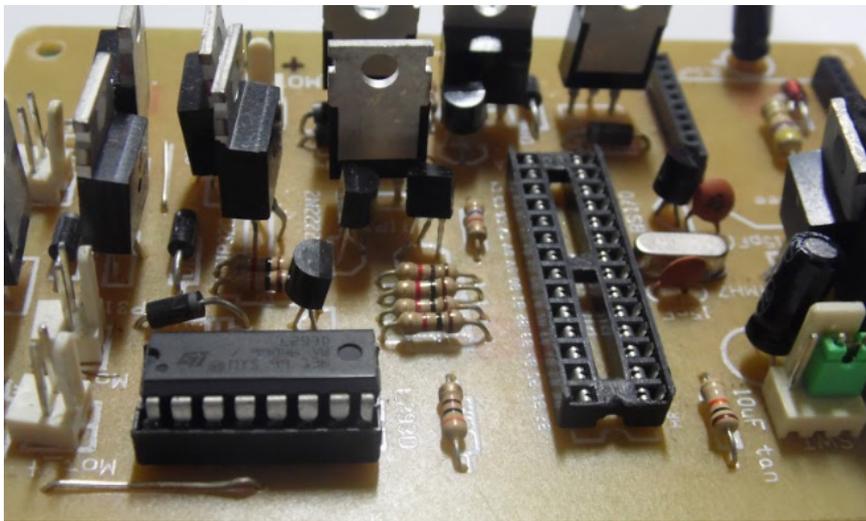
Una vez desarrolladas las plataformas robóticas, se procedió a construir el sistema electrónico. Para este proceso, se utilizó una placa de dos

caras que integra el puente H (control motores), el sistema de comunicación, el controlador y la conexión para los sensores.

El desarrollo de las tarjetas electrónicas se realizó en secciones diferentes: en la primera, se desarrolló el controlador que se encargaría de enviar las señales de control al *driver* de los motores, adquisición y envío de datos a los sensores, y manejo de protocolo de datos de comunicación; en la segunda, se desarrolló el *driver* de los motores y módulo de comunicación.

Como se puede observar en la figura 13, se construyeron las placas electrónicas para la participación de los robots en el evento. El puente H para el giro de los motores se diseñó a una corriente pico de 3.5 amperios y una corriente nominal de 2 amperios. Es importante destacar que todo fue construido por el grupo del semillero del programa de ingeniería electrónica ELECTROCUN.

Figura 13. Tarjeta de control de los robots.



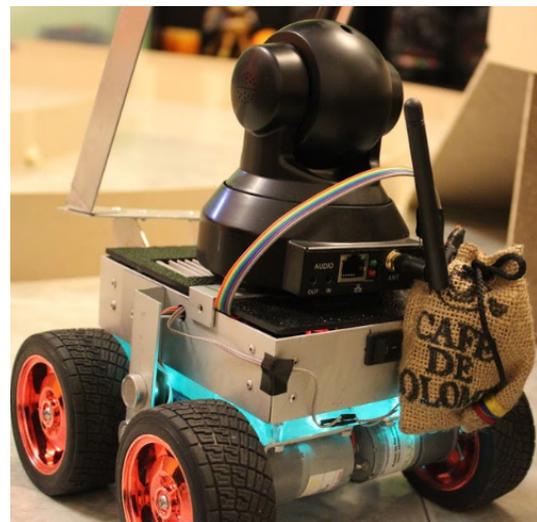
Fuente: elaboración propia.

Una vez soldados los componentes electrónicos a las tarjetas, se procedió a armar completamente los robots para realizar las pruebas correspondientes. Se utilizó una batería de

12 voltios a 3600 miliAmperios con una descarga de 25 c.

La cámara en el robot es utilizada por el piloto para observar los obstáculos y el desplazamiento del robot al recorrer la pista. La imagen de la cámara es transmitida bajo el mismo protocolo de comunicación para teleoperar al robot.

Figura 14. Robot "Yipao" completo.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la figura 15 se puede observar al robot “Socco” completamente ensamblado. Para

la construcción de los dos robots de competencia se utilizaron materiales exactamente iguales.

Figura 15. Robot “Socco” completo.



Fuente: elaboración propia.

### Fase 3. Evaluación de los robots en competencia

La participación de los robots teleoperados se realizó en la Universidad Estatal de Oklahoma, Estados Unidos, donde se estableció que los pilotos operaran al robot desde Bogotá, Colombia. De esta manera, se cumplió la regla principal del evento: manejar al robot desde una distancia mínima de 80 kilómetros.

En la participación en pista, los robots “Socco” y “Yipao” se destacaron por su gran actuación y cumplimiento de los obstáculos. También se debe valorar la velocidad que tardaron en cruzar el circuito, gracias a la destreza del piloto. Con la plataforma teleoperada “Yipao” se obtuvo el primer lugar, lo que permitió el reconocimiento al grupo del semillero de investigación ELECTRO-CUN. Sobre un total de 150 puntos, se obtuvieron 145, y el tiempo del robot en cruzar toda la pista fue de 1 minuto, 45 segundos y 37 centésimas (1:45:37).

Figura 16. Placa obtenida por el primer puesto del robot “Yipao” en el Mercury Remote Robot Challenge.



Fuente: elaboración propia.

Por su parte, el robot “Socco” también tuvo un gran desempeño en pista, pero, desafortunadamente, fue necesario realizar un arreglo sobre el

robot durante competencia, debido a que, por cuestiones mecánicas, se desajustó el ángulo de la cámara; esto ocasionaba que el piloto no pudiese tener plena visión de la pista ni de los obstáculos. Este inconveniente se presentó faltando solamente dos obstáculos para terminar

el recorrido, lo que permitió que obtuviera 138 puntos sobre los 150 posibles. El tiempo final del recorrido fue 1 minuto, 47 segundos y 42 centésimas. Este tiempo permitió que el robot lograra el segundo lugar en la competencia.

**Figura 17.** Placa obtenida por el segundo puesto del robot "Socco" en el Mercury Remote Robot Challenge.



Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Para el semillero de investigación ELECTROCUN se destaca el hecho del trabajo en equipo; sin la unión de múltiples complementos entre profesores y estudiantes no habría sido lograr el primer y el segundo puesto del Mercury Remote Robotic Challenge. También es importante destacar el valor de apoyo a la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) por hacer posible la realización de los robots con la financiación de los recursos económicos.

En cuanto a las plataformas robóticas realizadas mediante múltiples ensayos y correcciones a los prototipos que se desarrollaron, se estableció

que poseer un mejor sistema de comunicación permite tener una ventaja significativa, debido a que puede transmitir la información de forma rápida y eficaz al punto del *router*.

En las pruebas realizadas en pista, se observó que los comportamientos de los robots en sus sistemas mecánicos no tuvieron mayores complicaciones. Según lo observado en la competencia, es más rentable desarrollar el chasis en aluminio liviano que en acrílico, pues este último, luego de cierto tiempo, tiende a pandearse con el peso del robot y puede llegar a afectar el libre avance de las ruedas.

Gracias a la experiencia en el Mercury Remote Robotic Challenge, fue posible identificar otro aspecto importante que se debe tener en cuenta para realizar un robot teleoperado: los sensores deben ser de gran precisión y se deben calibrar en la pista, previamente al momento de la competencia, ya que algunas secciones de la pista pueden ser desiguales y no coincidir con lo mencionado en los documentos o datos previos. A modo de ejemplo, en el caso del Mercury Remote Robotic Challenge era preferible medir la distancia de algunos objetos con un sensor ultrasónico y no con un sensor óptico, porque existía

un desajuste provocado por la luz artificial de la competencia, el cual no permitía que el sensor del robot trabajara óptimamente.

Finalmente, de esta experiencia fue posible aprender, de un lado, que es ideal tener bastante tiempo antes de una competencia, toda vez que, en caso de necesitarse un ajuste inesperado, sería posible trabajar junto a la pista; de otro lado, es preciso que el piloto se encuentre en un lugar sin distracciones y que cuente con un canal de acceso a Internet dedicado.

## Referencias

- Arboleda, A. y Toro, D. (2013). *Diseño de robot tipo oruga con brazo articulado* (trabajo de grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira. Recuperado de <https://bit.ly/2VbQUGS>
- Global Security. (s. f.). Gladiator Tactical Unmanned Ground Vehicle. Recuperado de <https://bit.ly/3rCX9zx>
- Milrem Robotics. (s. f.). Multiscope 3D. Recuperado de <https://bit.ly/3y6Pcot>
- Prometec. (s. f.). Tipos de drones. Recuperado de <https://bit.ly/3x0XRYo>
- Puentes, D., Ríos, S. y Salvador, D. (2010). *Diseño e implementación de un mando de control para un vehículo teleoperado* (trabajo de grado). Universidad de San Buenaventura, Bogotá. Recuperado de <https://bit.ly/3kZzpEg>
- Super Robótica. (s. f.). SRF04 sensor distancias por ultrasonidos SRF04 S320110. Recuperado de <https://bit.ly/2ULAV2q>

# Herramientas web 2.0 como apoyo para la formación en educación superior

William Enrique Lara Castro\*, Mayerlin del Carmen Cogollo López\*\* y Abel Nonato Royo Galeano\*\*\*

## Resumen

En el mundo actual, en el que la tecnología ocupa un lugar importante, el principal reto de la docencia radica en la incorporación de las herramientas web 2.0 como medios de apoyo para la educación. Por lo tanto, los cambios en los modelos educativos en los últimos años han motivado a que los docentes adopten el uso de las herramientas web 2.0 en su quehacer diario para producir cambios significativos en el aprendizaje de los alumnos. Este artículo, en el que se buscó determinar si los factores de edad, nivel académico y conocimiento son determinantes en el uso de las herramientas web 2.0, se construyó a partir de un enfoque metodológico de naturaleza cuantitativa de nivel no experimental, que tiene a las herramientas web 2.0 como variable y la encuesta como instrumento de recolección de datos. Como resultados, se encontró que no muchos docentes utilizan estas herramientas y que, cuando lo hacen, prefieren utilizar redes sociales, blogs, microblogs y, en menor medida, wikis, porque permiten el desarrollo de más estrategias pedagógicas y les brindan un espacio de interacción, conexión, reflexión y colaboración.

## Abstract

In today's world, in which technology occupies an important place, the main challenge for teaching lies in the incorporation of web 2.0 tools as a means of support for education. Therefore, changes in educational models in recent years have motivated teachers to adopt the use of web 2.0 tools in their daily work to produce significant changes in student learning. This paper, in which it was sought to determine whether the factors of age, academic level and knowledge are decisive in the use of web 2.0 tools, was built from a methodological approach of a quantitative nature at a non-experimental level, which has the web 2.0 tools as a variable and the survey as a data collection instrument. As a result, it was found that not many teachers use these tools and that, when they do, they prefer to use social networks, blogs, microblogs and, to a lesser extent, wikis, because they allow the development of more pedagogical strategies and provide them with a space for interaction, connection, reflection and collaboration.

### Cómo citar este artículo

(APA): Lara, W., Cogollo, M., Royo, A. (2019). Herramientas web 2.0 como apoyo para la formación en educación superior. *Hash-tag*, 14, 67-84.

### > Palabras clave:

constructivismo social, educación superior, enseñanza superior, tecnología de la información, web 2.0

### > Keywords:

higher education, information technology, postsecondary education, social constructivism, web 2.0

\* Administrador de Empresas y magíster en Ciencias de la Educación Virtual. Docente de tiempo completo en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) - Regional Córdoba. Contacto: william\_lara@cun.edu.co

\*\* Administradora Financiera y especialista en Gerencia Empresarial. Administradora Financiera. Docente de medio tiempo en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) - Regional Córdoba. Contacto: mayerlin\_cogollo@cun.edu.co

\*\*\* Administrador de Empresas y magíster en Administración de Empresas. Docente de tiempo completo en la Corporación Unificada Nacional de Educación Superior (CUN) - Regional Córdoba. Contacto: abel\_nonato@cun.edu.co

## Introducción

En los últimos años, el avance en la tecnología ha conllevado el progreso de distintas áreas de la sociedad; por ejemplo, en el campo educativo, la irrupción de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en las aulas de clase permite poner en práctica distintos métodos de enseñanza-aprendizaje. Cada día, las TIC (y particularmente las herramientas web 2.0) se presentan como una necesidad para un mundo en el que los rápidos cambios, el aumento de los saberes y las demandas de una educación de un alto nivel, constantemente actualizada, se transformen en una exigencia permanente. La relación entre las TIC y la educación tiene dos vertientes: por un lado, los ciudadanos se ven abocados a conocer y aprender sobre las TIC y, por el otro, estas pueden aplicarse al proceso educativo (Rosario, 2006). Dentro de este marco, desde el siglo pasado, la educación superior se ha apostado en un “modelo de enseñanza tradicional basado en las clases magistrales del docente, en la toma de apuntes por parte del alumnado y en la lectura memorizada –y memorización– de una serie de textos bibliográficos por parte de estos” (Area, 2000, p. 128); en otras palabras, simplemente una transmisión pasiva de conocimientos.

Por lo tanto, es válido resaltar la importancia que ejercen las TIC como medios adecuados de comunicación y transmisión de información, ya sea de forma asincrónica o sincrónica, para la interacción entre estudiantes y docentes en la educación (Hernández, G., 2008). Por otra parte, Cabero (2001) afirma que incorporar la tecnología en la educación se ha vuelto casi una necesidad, pero no porque sea una moda o porque todo el mundo hable de ello, sino porque no hacerlo significaría la exclusión de una realidad latente, debido a que esta se encuentra

insertada en casi todas las actividades cotidianas del hombre. Esto denota la importancia de la aplicación de las TIC en el proceso educativo y la implicación de sus actores. No obstante, aunque se conozcan los efectos de mejoras que parecen producir el uso de las herramientas web 2.0 en la educación, es fundamental que se investigue qué herramientas web 2.0 utilizan los docentes para desarrollar este avance en la tecnología.

La web 2.0 suministra una gran variedad de herramientas para ser aplicadas en la educación en relación con la sencillez para su aplicación. Conocer el uso de las herramientas web 2.0 por parte de los docentes es de gran importancia, ya que aborda un tema de actualidad y relevancia. Además, la web 2.0 ha ocupado un lugar privilegiado en los sistemas educativos y en la labor del docente durante los últimos años. Toda vez que ya existen investigaciones y aportaciones teóricas que resaltan los beneficios e impactos de las herramientas web 2.0 en la educación superior, el propósito de este estudio se centra en conocer el uso, tipo y aplicación de las herramientas web 2.0<sup>1</sup>, como medios didácticos de apoyo para la construcción de conocimiento en el proceso de aprendizaje de los estudiantes de una institución de educación superior de la ciudad de Montería, por parte de los docentes.

En ese sentido, se consideró pertinente indagar sobre los siguientes aspectos vinculados a las herramientas web 2.0: 1) Detectar el grado de conocimiento de las herramientas web 2.0 que tienen los docentes; 2) conocer qué herramientas web 2.0 son utilizadas por los docentes como medio didáctico de apoyo a la formación del estudiante; 3) saber cómo utiliza el docente las herramientas web 2.0 para la construcción de conocimiento, y

1 Se hace referencia a los blogs, wikis, redes sociales, microblogs, herramientas de colaboración, servicios de video, pódcast, marcadores sociales y mapas mentales.

4) identificar las herramientas web 2.0 más usadas por los docentes.

La revisión de la literatura de los estudios realizados en diferentes latitudes permite evidenciar las experiencias y opiniones de algunos autores acerca de la web 2.0 y los recursos que la conforman, y su uso por docentes y alumnos en el contexto de la educación superior.

En el ámbito europeo sobre la web 2.0 en la educación superior, es de gran importancia un estudio realizado en la Universidad de Huelva España sobre la formación, actitud, uso e impacto de la web 2.0 en educación superior. Boza y Conde ponen de manifiesto que

En relación a [sic] la actitud de los profesores ante la web 2.0, en general nuestros universitarios conciben que la web 2.0 es un instrumento necesario para una enseñanza de calidad, que los docentes más jóvenes están más predispuestos para su uso, que las herramientas de la web 2.0 resultan atractivas y novedosas para los alumnos y, que la web

2.0 hace que el trabajo, tanto para profesores como para alumnos, resulte más fácil. (2015, p. 55)

En Colombia, el artículo “Creación, implementación y validación de un modelo de aprendizaje virtual para la educación superior en tecnologías web 2.0” de Zambrano y Medina (2010), presenta la importancia de un modelo de educación virtual, el cual se fundamenta en el uso de la web 2.0 para la educación superior, ante la imperante necesidad de la producción de conocimiento. Esta producción de conocimiento se describe en la combinación del uso de otras modalidades de educación, en especial con las clases de modalidad presencial. Por su parte, Acosta (2012) desarrolló otro estudio, en la región caribe colombiana, en el que hace referencia al uso de los servicios y herramientas de la web 2.0 por parte de los docentes de planta de la Universidad Tecnológica de Bolívar; allí, el autor explica varios aspectos, por ejemplo, que las aptitudes para el uso y el conocimiento de la web 2.0 están muy dispersas, entre el rango bajo y alto.

## Metodología

Este estudio es de naturaleza cuantitativa, ya que el propósito principal de este enfoque permite recopilar muchos datos numéricos para medir el comportamiento social de los docentes frente al uso de las herramientas web 2.0, y se orienta hacia analizar datos empíricos (medibles u observables) sobre variables (Hernández, Fernández y Baptista, 2010); en este caso, el uso de las herramientas web 2.0 como medio didáctico de apoyo a la formación por parte de los docentes. De otro lado, el alcance es no experimental, exploratorio y descriptivo, porque solo se busca “especificar las propiedades, características y los perfiles de personas [...] que se someta a un análisis” (p. 80). Particularmente, en este estudio solo se pretende recoger información sobre la

situación de los docentes en relación con las herramientas web 2.0 que utilizan y cómo las usan, indicando cómo se relacionan, buscan y recopilan información, considerando el contexto de los participantes en la investigación.

El estudio se lleva a cabo en una Institución de Educación Superior. La exploración se realiza específicamente en los programas de Administración de Empresas, Administración de la Seguridad Social, Contaduría Pública e Ingeniería de Sistemas, que están incorporados en la oferta académica de la institución. Así, se determinó que noventa y tres (93) docentes pertenecían a los programas anteriormente mencionados (en la tabla 1 se muestra cómo están agrupados de

acuerdo con cada programa). En el estudio se utilizó una muestra de participantes voluntarios, en consecuencia, fue una muestra por conveniencia. En este sentido, luego de analizar y delimitar la población objeto de estudio, el

siguiente paso fue la localización específica de las unidades que participaron en la descripción de los eventos fundamentales para el desarrollo del proceso investigativo.

**Tabla 1.** Distribución de la población de estudio.

Escuela académica	n.º de docentes
Administración de Empresas	28
Administración de la Seguridad Social	21
Contaduría Pública	27
Ingeniería de Sistemas	17
Total	93

Fuente: elaboración propia.

Para esta investigación, se elaboró un instrumento, en correspondencia con los aspectos centrales planteados en el propósito del estudio, que se formuló con la intención de conocer las herramientas web 2.0 utilizadas por los docentes en las prácticas académicas. Igualmente, fue necesario adoptar la recolección sistemática de la información sobre la población voluntaria; para ello, se utilizó la técnica de la encuesta, la cual “se caracteriza porque la información debe ser obtenida a través de preguntas a otras personas” (López, 2011, p. 192). A través de la encuesta se explora el uso de las herramientas web 2.0 por los docentes, en base a la identificación del perfil para el uso de las mencionadas herramientas.

El diseño de la encuesta para recolección de los datos se realizó con las opciones que ofrece el formulario de Google. Además, esta se aplicó en línea: el enlace se envió vía correo institucional a cada docente. Este modo de realizar la encuesta permitió llegar a toda la población identificada

para el estudio. Ahora bien, antes de enviar el enlace se validó el contenido del instrumento. Este fue validado por un especialista en Administración de la Informática Educativa y uno en investigación (también docente de la cátedra de opción de grado), quienes dieron sus respectivos juicios de valor sobre las preguntas. Esto permitió proceder a la corrección del instrumento.

Una vez el enlace en el que podían responder la encuesta fue recibido por los docentes, se dio un plazo de cinco (5) días para que la diligenciaran. Después del plazo, se extrajo la información, procesada automáticamente por la herramienta docs.google.com de Google, en una tabla de Excel y, luego, se procedió a interpretarla. En este paso, se valoraron los datos recogidos en relación con el objetivo general del estudio y se demostró que la muestra elegida, el tipo de instrumento empleado para la recolección, el tiempo de aplicación y la conveniencia de la aplicación en línea fueron decisiones acertadas. Las unidades

de contenido, producto de la depuración del cúmulo de datos logrados mediante el trabajo de campo, sintetizan y describen los hechos, las vivencias, los fenómenos, las situaciones y las conductas de las personas involucradas en el problema planteado. Esta información de carácter puramente descriptivo fue organizada, documentada y analizada de acuerdo con el proceso que exige la investigación cuantitativa.

## Resultados

### **Información demográfica**

La encuesta fue diligenciada por 50 docentes que, en términos demográficos, se clasificaron de la siguiente manera: La mayoría de los docentes encuestados son del género masculino, con un 68 % de participación (34 docentes), mientras que el género femenino está representado por el 32 % de los docentes (16). En cuanto a la edad, los docentes se encuentran en un rango entre 25 y 64 años, destacando que el mayor número se encuentra entre 50 y 54 años, y el menor entre 55 y 64 años. La experiencia en la práctica docente en educación superior va desde 0 años hasta más de 16 años, aunque la mayoría, el 24 % (12), se encuentra en el rango entre 0 y 3 años, y la minoría, el 8 % (4), entre 15 y 16 años; el promedio general de experiencia docente en educación superior es de 8,33 años.

En cuanto al nivel de educación de los docentes, se destaca que el 52 % (26) son especialistas, el 32 % (16) únicamente tienen formación de nivel profesional, el 10 % (5) son magíster y el 2 %, es decir, un docente, ha terminado sus estudios doctorales. De otro lado, se observa que el 34 % (17) de los docentes hace parte del programa de

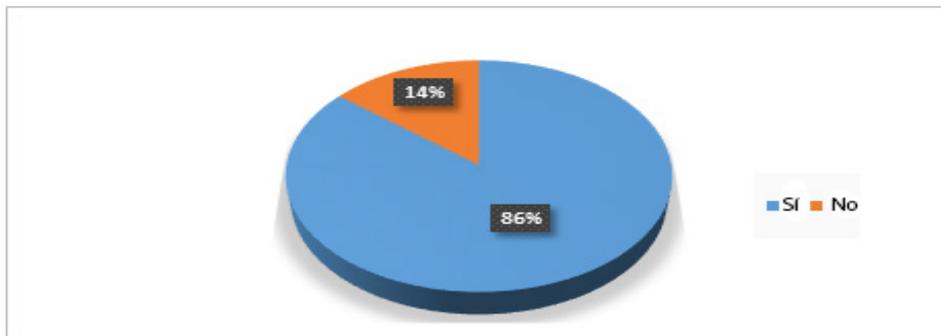
Con el fin de cumplir el propósito de la investigación, se presenta el análisis estadístico de la información que se llevó a cabo: un análisis descriptivo de las variables que representan la información y un análisis de independencia Chi-cuadrado, que es el más adecuado por la naturaleza de los datos: se calcula el coeficiente de correlación de Pearson después de haber transformado las variables de cualitativas a cuantitativas y, luego, se definen las conclusiones a las que se llega.

Administración de Empresas (vale la pena aclarar que este es el programa con mayor número de estudiantes), el 28 % (14) del programa de Administración de la Seguridad Social, el 20 % (10) de Contaduría Pública y el 18 % (9) del programa de Ingeniería de Sistemas (este es el programa con menor cantidad de estudiantes). En función de la modalidad en que dictan sus clases, se observa que el 52 % (26) de los docentes trabajan en las modalidades presencial y distancia, el 38 % (19) solo en la modalidad distancia y el 10 % restante (5) en la modalidad presencial.

### **Uso de herramientas web 2.0 en la educación superior**

La primera pregunta de investigación que se pensó para el desarrollo de artículo fue: ¿qué herramientas web 2.0 son utilizadas por los docentes como medio didáctico de apoyo a la formación del estudiante? Con base en esto, en primer lugar, a partir de las respuestas de los docentes, se determina que el 86 % (43) manifestaron conocerlas, mientras que el 14 % (7) no (ver figura 1).

**Figura 1.** Respuestas a la pregunta “¿Conoce las herramientas web 2.0?”

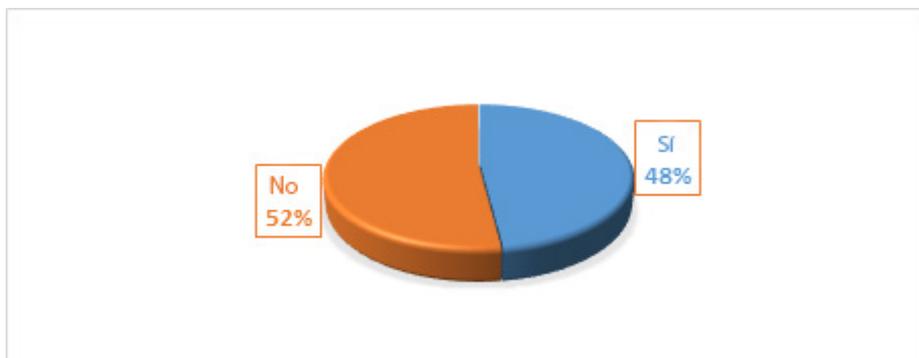


Fuente: elaboración propia.

En segundo lugar, considerando que los docentes pueden necesitar capacitaciones para aprender a utilizar de manera eficiente las herramientas web 2.0, se observa que el 52 % (26)

manifiesta no haber recibido ninguna capacitación, mientras que el 48 % (24) sí lo ha hecho (ver figura 2).

**Figura 2.** Respuestas a la pregunta “¿Ha recibido capacitaciones sobre el uso de las herramientas web 2.0?”

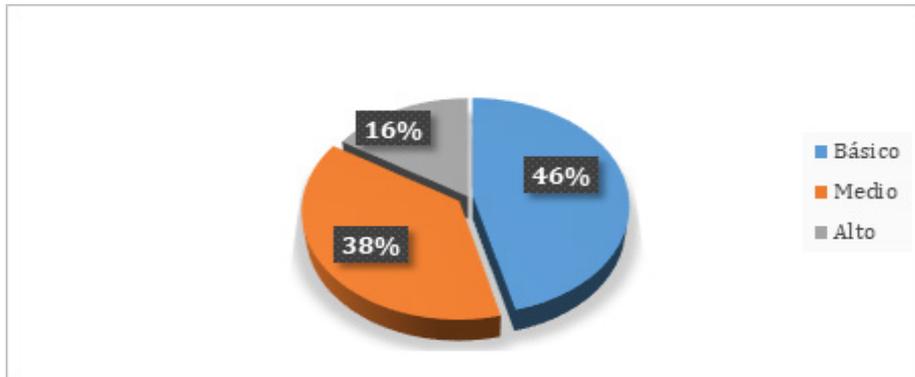


Fuente: elaboración propia.

En tercer lugar, de acuerdo con la pregunta de investigación sobre el uso de las herramientas web 2.0 en relación con el nivel de conocimiento, el 46 % (23) de los docentes manifiesta tener un

nivel básico, 38 % (19) un nivel medio y solo el 16 % (8) un nivel alto. Ahora bien, esto permite inferir que los docentes tienen disposición al uso de las herramientas web 2.0.

**Figura 3.** Respuestas a la pregunta "¿Cómo definiría su nivel de conocimiento en el uso de las herramientas web 2.0?"

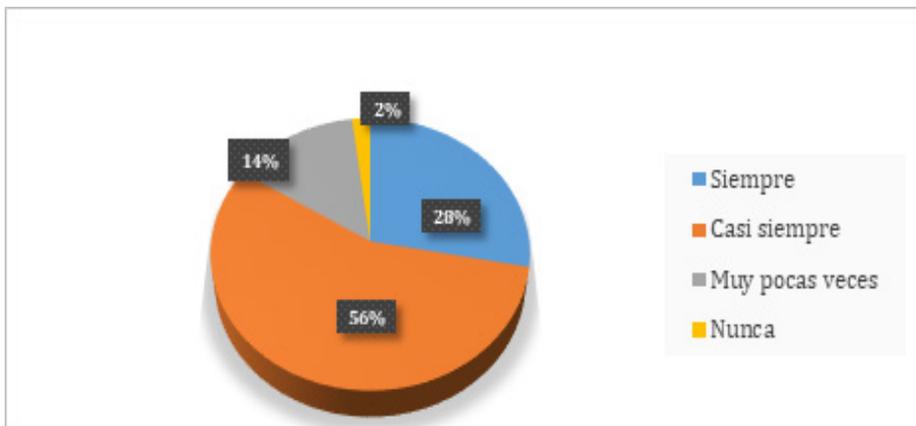


Fuente: elaboración propia.

En cuarto lugar, la frecuencia de uso de las herramientas web 2.0 por los docentes está determinada de la siguiente manera: el 56 % (28) manifiesta que las utiliza casi siempre, el 28 % (14) dice que siempre las usa, el 14 % (7) afirma

que muy pocas veces hace uso de ellas y solo un docente (2%) indicó que nunca las utiliza. Esto nos indica que la mayoría de los docentes tiene la voluntad de utilizar estas herramientas.

**Figura 4.** Respuestas a la pregunta "¿Con qué frecuencia utiliza las herramientas web 2.0 en su labor como docente?"

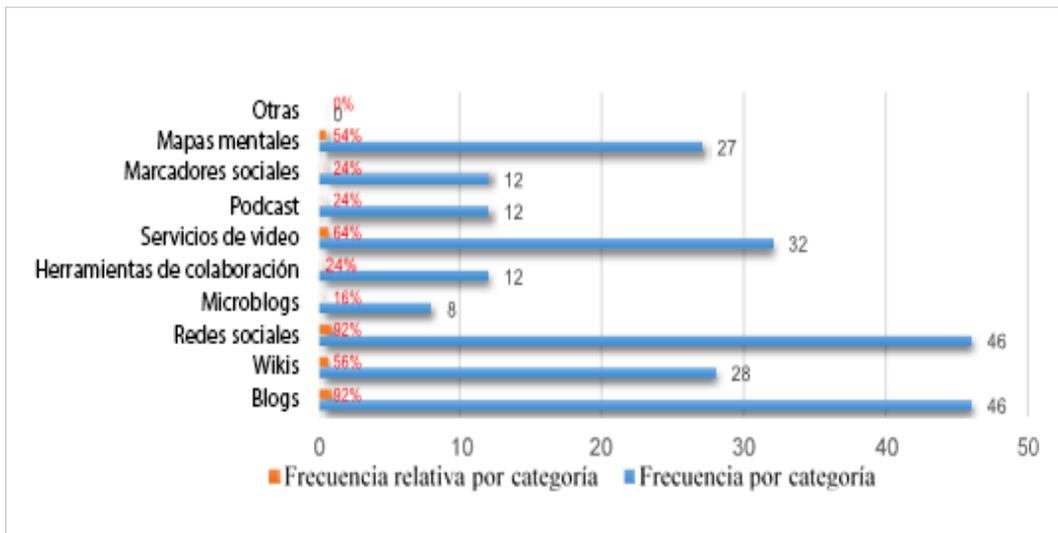


Fuente: elaboración propia.

En quinto lugar, en relación con las herramientas web 2.0 que se pueden utilizar en la práctica diaria, se evidencia que los blogs, las redes sociales y los servicios de video son las más conocidas por los docentes que participaron en la encuesta. Aquí, vale la pena recordar que estas

fueron creadas con fines de comunicación masiva y no con un fin específico para la educación. Ahora bien, en los resultados que se incluyen en la figura 5, también se observa que las wikis y los mapas mentales son importantes para los docentes.

**Figura 5.** Respuestas a la pregunta “¿De las siguientes herramientas web 2.0 para la práctica docente, cuáles conoce?”

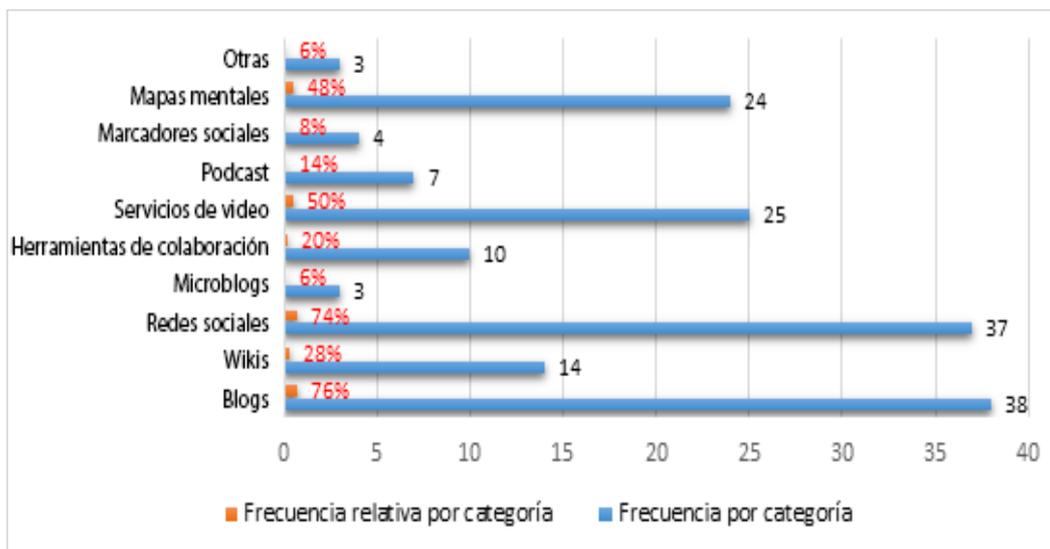


Fuente: elaboración propia.

En sexto lugar, se puede observar que las herramientas más usadas por los docentes son los blogs (76 %) y las redes sociales (74 %), mientras que las menos usadas son los marcadores sociales (8 %) y los microblogs (6 %) (ver figura 6). De otro lado, también es evidente que se mantiene

una relación entre las herramientas que conoce el docente y las que usa en su labor. Igualmente, se aprecia que los docentes no utilizan las herramientas web 2.0 por la popularidad que estas tengan; lo hacen según las necesidades pedagógicas en su quehacer docente.

**Figura 6.** Respuestas a la pregunta “¿De las siguientes herramientas web 2.0 para la práctica docente, cuáles utiliza?”

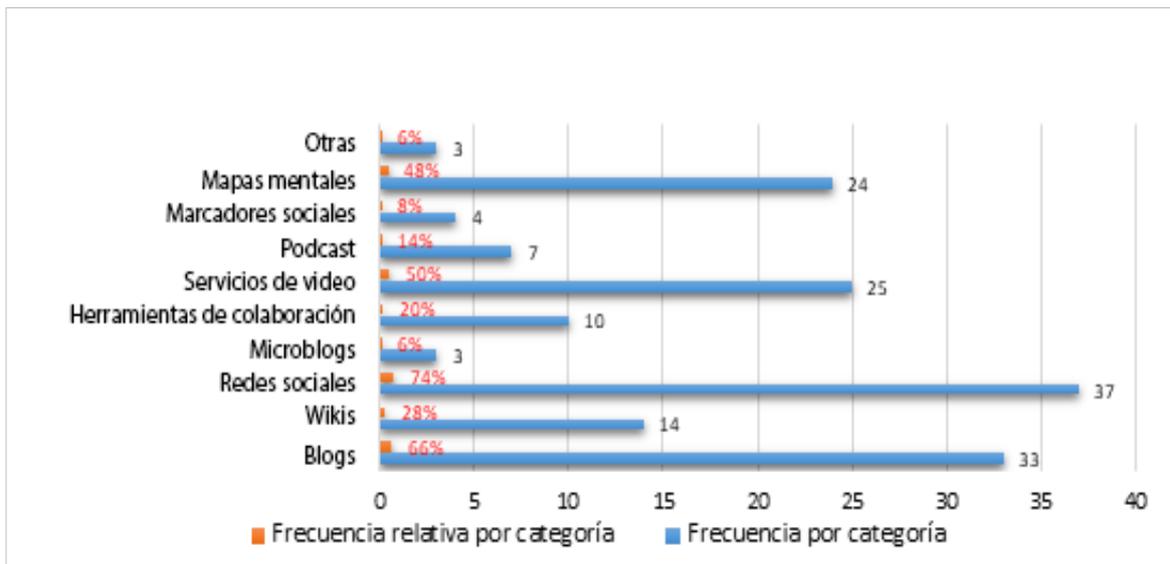


Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en séptimo lugar de este apartado, a partir de la encuesta practicada se puede afirmar que el 74 % (37) prefiere utilizar, en el marco de su quehacer diario, las redes sociales, el 66 % (33) los blogs, el 50 % (25) los servicios de video

y el 48 % (24) los mapas mentales. Por otro lado, solamente el 8 % (4) privilegia el uso de marcadores sociales y el 6 % (3) prefiere trabajar con microblogs (ver figura 7).

**Figura 7.** Respuestas a la pregunta “¿De las siguientes herramientas web 2.0 para la práctica docente, cuáles prefiere utilizar?”



Fuente: elaboración propia.

### **Uso constructivista de las herramientas web 2.0 en la educación superior**

La segunda pregunta de investigación en esta investigación fue: ¿cómo utiliza el docente las herramientas web 2.0 para la construcción de conocimiento?

A continuación, se sigue con el análisis descriptivo del uso de las herramientas web 2.0. En este apartado, el propósito es distinguir los usos que los docentes hacen de las herramientas web 2.0 para la construcción de conocimiento.

En este sentido, en la tabla 2 se observa la frecuencia de uso de blogs o microblogs. El 60 %

(30) de los docentes afirmaron que los suelen utilizar como apoyo a los contenidos de clase, lo que evidencia el uso tradicional que le dan a estas herramientas web 2.0. Por su parte, el 14 % (7) de los docentes indicaron que las utilizan para fomentar el debate y el 10 % (5) para crear comunidades de aprendizaje. Es decir, dos de los fines indicados por los docentes son de carácter pedagógico, lo que demuestra el uso constructivista de las herramientas. Ahora bien,

también se observa que el 10 % (5) de los docentes conocen los blogs o microblogs, pero no los usan, y que el 6 % (3) no los conocen.

**Tabla 2.** Frecuencias de usos de los blogs o microblogs en la práctica docente.

Usos de los blogs o microblogs	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Fomentar el debate	7	14 %
Creación de comunidades de aprendizaje	5	10 %
Apoyo a los contenidos de clases	30	60 %
Sí los conozco, pero no los uso	5	10 %
No los conozco	3	6 %
Otro	0	0 %
<b>Total de observaciones</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

En relación con el uso de las wikis por parte de los docentes, solo el 28 % (14) participantes usan la herramienta como espacio de colaboración, mientras que el 8 % (4) como espacio de creación de textos colaborativos. Estas son dos características constructivistas de la herramienta. Sin

embargo, cabe destacar que el 26 % (13) de los docentes conocen la herramienta, aunque no la usen, y que el 22 % (11) manifiestan no conocerla (ver tabla 3). A partir de la encuesta desarrolla no se puede identificar por qué los docentes que conocen la existencia de las wikis no las utilizan.

**Tabla 3.** Frecuencias de usos de las wikis en la práctica docente.

Usos de las wikis	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Espacio de comunicación de la clase	7	14 %
Espacio de colaboración	14	28 %
Portafolio electrónico	1	2 %
Espacio de creación de textos colaborativos	4	8 %
Sí la conozco, pero no la uso	13	26 %
No la conozco	11	22 %
Otro	0	0 %
<b>Total de observaciones</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

De otro lado, en la tabla 4 se presentan las frecuencias del uso de las redes sociales. El 54 % (27) de los docentes encuestados las utilizan, en su práctica docente, para compartir conocimientos entre alumnos; el 22 % (11) para compartir documentos; el 10 % (5) las conoce, pero no las usa; el 6 % (3) las usa para fomentar la comunicación entre la familia y la escuela; el 4 % (2) para compartir conocimientos entre docentes, el

2 % (1) para compartir fotografías, y el 2 % (1) restante le da otro uso. Estos datos permiten determinar que esta herramienta web 2.0 se utiliza a partir de un objetivo comunicacional. En este sentido, se trata de una herramienta con un uso constructivista por parte de los docentes, ya que la utilizan desde los puntos de vista de interacción, conexión con el mundo real, reflexión con la experiencia y colaboración.

**Tabla 4.** Frecuencias de usos de las redes sociales en la práctica docente.

Usos de las redes sociales	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Compartir documentos	11	22 %
Compartir fotografías	1	2 %
Fomentar la comunicación entre la familia y la escuela	3	6 %
Compartir conocimiento entre docentes	2	4 %
Compartir conocimientos entre alumnos	27	54 %
Sí las conozco, pero no las uso	5	10 %
No las conozco	0	0 %
Otro (compartir conocimiento docente-alumno)	1	2 %
<b>Total de observaciones</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

En relación con los servicios de video, el 68 % (34) de los docentes que participaron en el estudio manifestaron que los utilizaban. Del total encuestado, el 50 % (25) los usa en tutorías a distancia (uso de tipo tradicional), el 12 % (6) para reuniones de grupos de investigación y el 6 % (3) para registrar bitácoras producto de debate

o diálogos. Estas dos últimas finalidades corresponden a un uso constructivista. De igual modo, cabe destacar que el 22 % (11) de los docentes encuestados conocen este tipo de herramienta, pero no usan ninguna, y que el 4 % (2) dice no conocerlas, mientras que el 6 % (3) corresponde a otros usos (ver tabla 5).

**Tabla 5.** Frecuencias de usos de los servicios de video en la práctica docente.

Usos de los servicios de videos	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Tutorías a distancia	25	50 %
Reuniones de grupos de investigación	6	12 %
Registrar bitácoras producto de un debate o diálogo	3	6 %
Sí los conozco, pero no los uso	11	22 %
No los conozco	2	4 %
Otro	3	6 %
<b>Total de observaciones</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

DEn relación con el uso de pódcast, en la tabla 6 se muestran los resultados de la encuesta. El 38 % (19) de los docentes participantes no conoce esta herramienta; el 32 % (16) la conoce, pero no la usa; el 10 % (5) usa pódcast para difundir contenidos de audio; el 10 % (5) para distribuir contenidos de forma regular y periódica, y el 10 %

(5) para diversificar los recursos de la enseñanza (ver tabla 6). Estos tres último usos señalan su finalidad de interacción y conexión con el mundo real, lo cual nos indica que la tendencia de uso para la construcción de conocimiento es bastante baja.

**Tabla 6.** Frecuencias de usos de los pódcast en la práctica docente.

Usos de los pódcast	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Difundir contenidos de audio	5	10 %
Distribuir contenidos de forma regular y periódica	5	10 %
Diversificar los recursos de enseñanza	5	10 %
Sí la conozco, pero no la uso	16	32 %
No la conozco	19	38 %
Otro	0	0 %
<b>Total de observaciones</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

Al determinar las frecuencias de usos de las herramientas web 2.0 en la práctica docente, llama la atención el caso de los marcadores sociales. El 40 % (20) de los docentes encuestados manifiestan no conocer la herramienta y el 24 % (12) la conoce, pero no la usa. De otro lado, el 20 % (10) dice que la usa para registrar bibliografías o banco de información y, 10 % (5) para trabajo cooperativo (esto concuerda con el uso efectivo

de la herramienta) y el 6 % (3) de los docentes afirman que la utilizan para la elaboración de portafolios (esta no es la finalidad de uso de la herramienta) (ver tabla 7). Dado lo anterior, se puede inferir que el uso de esta herramienta es relativamente bajo, motivo por el cual habría que investigar, por ejemplo, por qué tantos docentes la conocen, pero no la utilizan.

**Tabla 7.** Frecuencias de usos de los marcadores sociales en la práctica docente.

Usos de los marcadores sociales	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Elaboración de portafolios	3	6 %
Trabajo cooperativo	5	10 %
Registrar bibliografías o banco de información	10 %	20 %
Si los conozco, pero no los uso	12	24 %
No los conozco	20	40 %
Otro	0	0 %
<b>Total de observaciones</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, en la tabla 8 se presentan los resultados relacionados con las frecuencias de usos de los mapas mentales. Según los datos recolectados, el 34 % (17) de los docentes encuestados los usa para aprendizaje continuo; el 20 % (10) para

explorar conocimientos previos; el 16 % (8) para reflexión en la experiencia; el 14 % (7) los conoce, pero no lo usa; el 12 % (6) no los conoce, y el 4 % (2) les da otro uso.

**Tabla 8.** Frecuencias de usos de los mapas mentales en la práctica docente.

Usos de los mapas mentales	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Explorar conocimientos previos	10	20 %
Reflexión en la experiencia	8	16 %
Aprendizaje continuo	17	34 %
Sí los conozco, pero no los uso	7	14 %
No los conozco	6	12 %
Otro	2	4 %
<b>Total de observaciones</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

### **Análisis del uso de las herramientas web 2.0 para la construcción de conocimiento**

A partir de esta investigación, se puede afirmar que, en promedio, el 17,25 % de los docentes que participaron en la encuesta manifiesta conocer las herramientas web 2.0 propuestas en este estudio para la construcción de conocimiento, pero también manifiestan no usarlas. En este sentido, valdría la pena indagar por las causas que llevan a que decidan no utilizarlas. De igual modo, también sería importante identificar los motivos por los cuales el 15,25 % de estos docentes no las conocen, de forma tal que se puedan generar espacios adecuados para su promoción y capacitación.

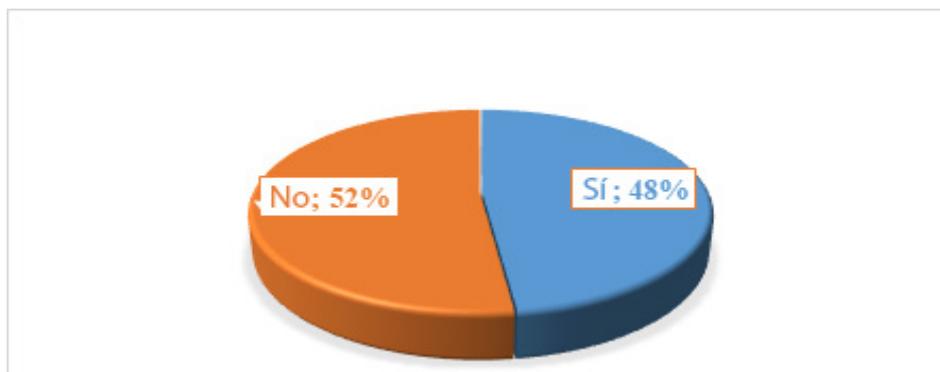
Sumado a lo anterior, se observa que los docentes tienen mayor preferencia por el uso de redes sociales, blogs o microblogs, y en menor medida por las wikis, ya que las primeras les brindan espacios de interacción, conexión, reflexión y colaboración, características del constructivismo social. Por último, podría decirse que el docente, cuando decide emplear las herramientas web 2.0, lo hace con el propósito de construir conocimiento, aunque no tenga claro si la herramienta que escoge es la adecuada para tal fin. Los

hallazgos aquí encontrados coinciden, en cierta medida, con la visión de la institución de educación superior en la que se hizo el estudio: en esta se propende por el uso de las herramientas web 2.0 por parte de los docentes. En este sentido, valdría la pena hacer un estudio enfocado exclusivamente en encontrar la mejor manera de enseñarle a los docentes cómo escoger la herramienta web 2.0 que deben utilizar.

### **Necesidades de capacitación en herramientas web 2.0**

La tercera pregunta de investigación que se pensó para el desarrollo de artículo fue: ¿qué necesidades de capacitación tienen los docentes para un buen manejo de las herramientas web 2.0? Para contestar este interrogante, primero, se observa si los encuestados han recibido capacitación en el uso de estas herramientas y, luego, se analizan las tres preguntas que conforman este bloque. En cuanto a capacitaciones en el uso de las herramientas web 2.0 que han recibido los docentes, en la figura 8 se muestra que el 52 % (26) de los docentes no la han recibido, mientras que el 48 % (24) manifiesta haber recibido al menos una capacitación.

**Figura 8.** Respuestas a la pregunta “¿Ha recibido al menos una capacitación en el uso de las herramientas web 2.0 para la práctica docente?”



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, de acuerdo con el nivel de satisfacción de los docentes en relación con las capacitaciones recibidas en herramientas web 2.0, el 32 % (16) de los docentes manifiesta estar medianamente satisfecho; el 26 % (13) dice no estar

satisfecho; el 16 % (8) afirman que están poco satisfechos, otro 16 % (8) aseveran estar muy satisfechos, y el 10 % (5) seleccionó la opción “otros” (ver tabla 9).

**Tabla 9.** Frecuencias de usos de satisfacción frente a las capacitaciones recibidas.

Nivel de satisfacción frente a las capacitaciones	Frecuencia por categoría	Frecuencia relativa por categoría
No satisfecho	13	26 %
Poco satisfecho	8	16 %
Medianamente satisfecho	16	32 %
Muy satisfecho	8	16 %
Otro	5	10 %
<b>Total de observaciones</b>	<b>50</b>	<b>100 %</b>

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

El uso de las TIC, y en especial el uso de las herramientas web 2.0, por parte de los docentes de las instituciones de educación superior se ha incrementado en la actualidad, gracias a que estas ofrecen recursos y herramientas que facilitan el acceso a la información e incentivan al alumnado a construir su aprendizaje, basados en la investigación y adecuación de los contenidos al entorno y a su propia realidad.

Este estudio está sujeto al uso de las herramientas web 2.0, al uso para la construcción de conocimiento y a las necesidades de capacitación que tienen los docentes. La información recolectada para este estudio está sustentada en un marco teórico estructurado y serio que otorga la validez y credibilidad que se requieren.

Dado a lo anterior se concluye que los factores de edad, nivel académico y conocimiento no son determinantes con el uso de las herramientas web 2.0. A partir de esto, se puede afirmar que cualquier docente tiene la posibilidad de dominar las herramientas web 2.0 que facilitan la práctica docente, pero, para lograr esto, es necesario tener la disposición para hacerlo. Lo anterior concuerda con la tesis de maestría titulada *Uso de los servicios y herramientas de la web 2.0 por parte de los docentes de planta de la Universidad Tecnológica de Bolívar* realizada por Acosta (2012). Por otra parte, queda demostrado que, a mayor nivel de conocimiento de la herramienta web 2.0, mayor será la frecuencia de uso. También es posible concluir que los docentes tienen mayor preferencia por el uso de redes sociales, blogs o microblogs, y en menor medida de las wikis.

Esto se explica porque las primeras les brindan espacios de interacción, conexión, reflexión y colaboración, características del constructivismo social de Vigosky. Habría que hacer más estudios referentes al uso de las wikis para conocer la causa del poco uso, pues los docentes manifiestan conocerlas. Stefany Hernández (2008) confirma esta relación, al decir que, al darse un uso constructivista a estas nuevas tecnologías, se vinculan en la manera en que los alumnos aprenden mejor y son elementos importantes para la construcción de su conocimiento.

También puede decirse que el docente, cuando decide emplear las herramientas web 2.0, lo hace con el propósito de construir conocimiento, aunque no tenga claro si la herramienta que selecciona es la adecuada para tal fin. Como ya se dijo, valdría la pena hacer un estudio más profundo al respecto, ya que hay que tener en cuenta, por ejemplo, si el docente tiene formación pedagógica o no.

De otro lado, si se tiene en cuenta la gran variedad de herramientas web 2.0 disponibles en Internet para uso educativo, el nivel de conocimiento y aplicación de estas en las estrategias didácticas es bajo. Asimismo, es claro que, ante la ausencia de la aplicación por parte de los docentes en sus estrategias didácticas de las herramientas web 2.0, es muy probable que los estudiantes desconozcan su empleo y, por tanto, estén al margen de las muchas bondades que ellas ofrecen para su aprendizaje.

Manejar herramientas web 2.0 hace que el docente desarrolle una destreza fundamental, como lo es la adaptabilidad para seleccionar la herramienta más adecuada para cada propósito pedagógico. En este sentido, se debe conocer la amplia gama de aplicaciones disponibles y el o los usos pedagógicos en los cuales se especializa. El ideal es desarrollar en el docente una pedagogía crítica en la que el educador no solo utilice

la herramienta, sino que también examine el objetivo y las ventajas de su aplicación en el aula.

Aunque la institución donde se hace el estudio tiene una política clara de formación en competencias TIC, de acuerdo con su modelo educativo, los docentes no reciben capacitaciones dirigidas hacia el uso de las herramientas web 2.0 que potencialicen el accionar docente en el uso de estas.

Esta investigación aporta a la creación de una base de conocimientos común sobre la manera en que se están utilizando herramientas de la web 2.0 en la docencia universitaria colombiana, específicamente en la ciudad de Montería, sus implicaciones para el proceso de enseñanza-aprendizaje y su influencia en la experiencia de los docentes.

También contribuye a que las directivas de la institución superior donde se hizo el estudio conozcan cómo utilizan las herramientas web 2.0 sus docentes y el uso que se les da para la construcción de conocimientos. En el ámbito nacional y mundial, el estudio contribuye al banco de conocimiento sobre la manera en que las herramientas web 2.0 se convierten en un apoyo para los docentes que utilizan una metodología constructivista.

Dentro de las limitaciones que tuvo el estudio, se encuentra un aspecto importante para tener presente, como lo es la muestra. Es importante tener en cuenta que, a partir de los docentes encuestados, no se puede generalizar al total de la población docente de la institución objeto de estudio, ya que el método de selección fue por conveniencia y no estratificado, y no se tiene una muestra representativa por cada programa. Además del método de selección de la muestra, vale la pena indicar que en la planeación de la investigación se aspiraba a contar con el apoyo de 93 docentes, pero 43 de ellos no diligenciaron la encuesta. En este punto, valdría la pena preguntarse por

los motivos que no hicieron posible que el total de la muestra seleccionada respondiera la encuesta: ¿no tenían el tiempo suficiente para diligenciarla? ¿No consultaron su correo electrónico durante esos días? ¿No les interesaba el estudio?

Por último, es importante destacar que este estudio puede tener un mayor alcance en el marco de la región de Latinoamérica y del Caribe, con el objetivo de conocer, compartir y aprovechar las experiencias de colegas en contextos diferentes, lo cual podría contribuir a la mejora de la oferta académica en toda la región.

## Recomendaciones

El hecho que más llama la atención de los resultados de esta investigación está relacionado con el bajo nivel de conocimiento y uso encontrado de las herramientas web 2.0 por parte de los docentes de la institución objeto de estudio. Es lógico pensar que la puesta en marcha de un proyecto que involucre estas tecnologías se vería seriamente amenazado ante la falencia de las competencias necesarias para hacerlo por parte de los docentes. Por lo anterior, se hace necesario considerar un plan de capacitación en herramientas web 2.0 para los docentes en el corto plazo, en procura de que estos alcancen un nivel acorde con las exigencias que aquellos proyectos requieren. Los directivos académicos que deseen ver una posible transformación en la formación en las instituciones de educación superior deben revisar, en gran medida, las fortalezas

tecnológicas de sus docentes y prepararlos para la interacción pedagógica con ellas, sin dejar de lado la voluntad de gestionar recursos tendientes a la dotación de equipos y la infraestructura que hagan posible su empleo.

Finalmente, también se recomienda crear espacios de actualización docente interactiva, con una lista de opciones que permita escoger la posibilidad de integración de las herramientas web 2.0 al aula en relación con el contenido.

Lo importante no es utilizar la tecnología para que sustituya el aprendizaje y la enseñanza, sino que se convierta en un apoyo para ambas partes (Committee of Inquire into the Changing Learner Experience, 2009).

## Referencias

- Acosta, J. (2012). *Uso de los servicios y herramientas de la web 2.0 por parte de los docentes de planta de la Universidad Tecnológica de Bolívar* (tesis de maestría). Universitat Oberta de Catalunya. Recuperado de <https://bit.ly/2Vj4CI9>
- Area, M. (2000). ¿Qué aporta internet al cambio pedagógico en la educación superior? En R. Pérez, M. Pascual, M. García, M. del Moral, M. Álvarez y B. Sierra (eds.), *Redes, multimedia y diseños virtuales: Actas del III Congreso Internacional de Comunicación, Tecnología y Educación* (pp. 128-135). Recuperado de <https://bit.ly/3xnWxyW>

- Boza, Á. y Conde, S. (2015). Web 2.0 en educación superior: formación, actitud, uso, impacto, dificultades y herramientas. *Digital Education Review*, 28, 45-58. Recuperado de <https://bit.ly/3fpnTyF>
- Cabero, J. (2001). *Tecnología educativa. Diseño y utilización de medios en la enseñanza*. Barcelona: Paidós.
- Committee of Inquire into the Changing Learner Experience. (2009). *Higher Education in a Web 2.0 World: Report of an independent Committee of Inquire into the impact on higher education of student's widespread use of Web 2.0 technologies*. Recuperado de <https://bit.ly/2TQpQfX>
- Hernández, G. (2008). Los constructivismos y sus implicaciones para la educación. *Perfiles Educativos*, 30(122), 38-77. Recuperado de <https://bit.ly/2VefG9y>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill Education.
- Hernández, S. (2008). El modelo constructivista con las nuevas tecnologías: aplicado en el proceso de aprendizaje. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 5(2), 26-35. Recuperado de <https://bit.ly/3ihdOWk>
- López, E. (2011). *Metodología de la investigación: guía instruccional*. Caracas: Universidad Nacional Abierta.
- Rosario, J. (2006). TIC: su uso como herramienta para el fortalecimiento y el desarrollo de la educación virtual. *DIM: Didáctica, Innovación y Multimedia*, 8. Recuperado de <https://bit.ly/3A1qExp>
- Zambrano, W. y Medina, V. (2010). Creación, implementación y validación de un modelo de aprendizaje virtual para la educación superior en tecnologías web 2.0. *Signo y Pensamiento*, 39(56), 288-303. Recuperado de <https://bit.ly/37cVxDI>

# Panorama de la robótica colombiana en ámbitos sociales

Yeyson Alejandro Becerra Mora\*

## Resumen

Colombia ha entrado en una era de posconflicto en la que aún permanecen desafíos que deben ser resueltos para mejorar el bienestar de la sociedad. En este artículo se presentan tres casos distintos de impacto social en Colombia, a saber, desactivación de minas antipersona, desarrollo de prótesis para personas afectadas por el conflicto armado y agroindustria en el posconflicto; y los aportes brindados por las instituciones de educación superior, el sector privado y el sector público, a través del uso de la robótica como parte de la solución a estas problemáticas.

## Abstract

Colombia has entered a post-conflict age, in which still remain some challenges that should be resolved in order to improve society wellness. This article presents three different social impact cases in Colombia, deactivation of antipersonnel mines, prosthesis development for affected people by the armed conflict, and agroindustry in the Colombian post-conflict, and the contributions provided by higher education institutions, private and public sector, adopting robotics as part of the solution to these problematic.

## Cómo citar este artículo

(APA): Becerra, Y. (2019).

Panorama de la robótica colombiana en ámbitos sociales. *Hashtag*, 14, 85-101.

> **Palabras clave:** agroindustria colombiana, minas antipersona, robótica, posconflicto colombiano, prótesis

> **Keywords:** Antipersonal Mines, Colombian Agroindustry, Colombian Post-Conflict, Robotics, Prosthesis

\* Corporación Unificada Nacional de Educación Superior, CUN. Contacto: yeyson\_becerra@cun.edu.co

## Introducción

La robótica es una de las tecnologías presentes en la cuarta revolución industrial, que está cambiando el mundo. Muchas personas piensan que, con la llegada e implementación de nuevas tecnologías, muchos trabajos desaparecerán, lo que dejaría a millones de personas desempleadas alrededor del mundo. Pero lo cierto es que la sociedad tiene la oportunidad de avanzar, como ha pasado en otras épocas, y crear nuevos trabajos en los distintos sectores de la economía. También es cierto que dichos trabajos vendrán con nuevos desafíos para la sociedad, ya que la población tendrá que adaptarse a los cambios propuestos por la tecnología y continuar desarrollando sus capacidades cognitivas. Esto se puede sostener en que, por ejemplo, las tareas repetitivas y riesgosas para el ser humano han venido siendo tomadas por los robots en los últimos años y las proyecciones indican que lo seguirán haciendo.

En ese sentido, la cuarta revolución industrial es una realidad que Colombia tiene que adaptar para ser más competitivo en el mundo. Si bien ya se ha comenzado a hablar de las ventajas que trae adoptar tecnologías como la robótica, aún falta bastante recorrido para apropiarse de estos conocimientos, tal y como ya lo han hecho países desarrollados. Dado que Colombia sigue siendo un país en vías de desarrollo, aún necesita invertir más en actividades de investigación y desarrollo. Según datos del Banco Mundial, la inversión realizada por el país en este ámbito fue de apenas 0,24 %, por debajo de países como Argentina y Brasil, y lejos del promedio de los países que pertenecen a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE).

Actualmente, en Colombia un mayor número de programas profesionales, tecnólogos y técnicos han orientado sus planes de estudio a las áreas de la robótica, al reconocer el futuro prometedor

e impacto que está teniendo y tendrá esta tecnología alrededor del mundo. Las instituciones de educación superior (IES) no solo han venido creando cursos orientados a la robótica, sino que además han estado promoviendo la investigación en ello, con semilleros y grupos de investigación.

En esa misma línea, la industria colombiana ha empezado a prestar atención a la robótica en los últimos años, especialmente a la robótica industrial, con el fin de mejorar sus niveles de producción y ser más competitivos tanto al interior del país como en el exterior. Sin embargo, toda esta tecnología ha sido importada de países como Alemania y Japón, que presentan los mayores índices de ventas en robots industriales, lo que deja a Colombia como un país con empresas que solo se limitan a comercializar y dar soporte en ello.

Por el lado de la robótica de servicio, el panorama es un poco más alentador, gracias a que algunas IES se han comprometido con proyectos de investigación que le aportan al desarrollo colombiano, al ofrecer soluciones a problemáticas de la sociedad. Cabe destacar que algunos robots orientados al hogar, entretenimiento, inspección aérea, inspección terrestre, educación, entre otros, han venido siendo importados de países europeos y de Estados Unidos, siendo este último uno de los grandes representantes de la robótica de servicio alrededor del mundo.

En este artículo se mostrarán tres casos en los que la robótica de servicio ha sido de ayuda para el desarrollo del país, y cómo las IES, el sector privado y el gobierno han aportado en cada una de estas iniciativas. Los tres casos seleccionados por su impacto social fueron: identificación, desactivación y/o destrucción de minas antipersona en territorio colombiano, adelantos de prótesis en

Colombia para personas afectadas en el conflicto armado y el renacer de la agroindustria en la era del posconflicto. Cada uno de estos temas fue

abordado desde una perspectiva tecnológica, cuyo eje principal fue a la robótica.

## Identificación, desactivación y/o destrucción de minas antipersona en territorio colombiano

Colombia ha estado entre los mayores sembradores de minas antipersona en el mundo. Según datos recopilados por la Unicef en el 2000, se estimó que el país tenía plantado alrededor de 100 000 minas antipersona, a lo largo del territorio nacional, contando entre las fabricadas dentro y fuera del país, así como las fabricadas artesanalmente. En ese mismo informe, la Unicef agregó el alarmante dato de crecimiento de la plantación de minas en un 20 % anual (Unicef, 2000).

Para el 2010, Colombia ocupó el segundo lugar de países en el mundo en donde que más personas se vieron afectadas debido a estos artefactos

(570 casos), superado únicamente por Afganistán. En el 2017, el país descendió al décimo puesto, al tener una disminución de un 90 % en el número de víctimas reportadas (56 casos), con respecto al 2010. Según registros del Comité Internacional de la Cruz Roja, Colombia prácticamente había duplicado el número de víctimas en los meses de enero a agosto del 2018 (99 casos). Sin embargo, desde las negociaciones entre el Gobierno Nacional de Colombia y el grupo subversivo de las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC), que dio como resultado la firma del acuerdo de paz entre ambas partes, el número de víctimas por minas antipersonales ha venido decreciendo en el territorio nacional.

Figura 1. Víctimas de minas antipersona



Fuente: Gaviria (2014)

Las minas antipersona han dejado miles de víctimas a lo largo de los años en Colombia. Un informe de la organización Descontamina Colombia comunicó que entre 1990 y 2017 se registraron 11 585 víctimas a causa de estos artefactos (Organización Descontamina Colombia, 2018). Algunas técnicas que se han venido empleando regularmente en el desminado han sido medios manuales, mecánicos y caninos. La persona que realiza la labor de desminado a través de medios manuales corre un alto riesgo de ser afectado por el artefacto. Aunque utilizar medios mecánicos reduce este riesgo, la persona debe estar próxima a la mina para poder desactivarla, corriendo el riesgo de tropezar con otra en los alrededores. Por último, queda el medio canino, siendo, de estos tres, el más seguro para las personas.

El Centro Nacional contra Artefactos Explosivos y Minas del Ejército Nacional (Cenam) reportó que entre 2003 y 2015 fueron desactivados 224 254 artefactos explosivos (minas antipersona, municiones sin explosiones y artefactos improvisados). Uno de los compromisos de las FARC en el acuerdo de paz fue apoyar labores humanitarias para la identificación de minas antipersona en el país, con lo cual se espera que el número de estos artefactos sembrados a lo largo del territorio colombiano disminuya considerablemente desde 2018 en adelante.

En la década de los 70, los grupos subversivos comenzaron a emplear minas antipersona en territorio colombiano, por lo que Colombia las ha padecido por más de cuatro décadas. Solo hasta principios de la década pasada, Colombia comenzó a realizar investigación en métodos no convencionales, como fueron la construcción de robots móviles para la desactivación de minas antipersona, pero fue desde 2012 que el Gobierno Nacional impulsó la investigación en

métodos distintos a los manuales, mecánicos y caninos.

Con el fin de evitar un mayor número de víctimas cuando se está en el proceso de búsqueda y desactivación de las minas antipersona, se empezaron a diseñar y desarrollar vehículos aéreos no tripulados, UAV<sup>1</sup>; robots móviles teleoperados, robots móviles con manipuladores, entre otros, para el apoyo de labores de desminado.

Como se había mencionado previamente, uno de los principales intereses en utilizar robótica en los procesos de desminado fue salvaguardar la vida de las personas que se encuentran en estas labores. Con este principio, la universidad EAFIT en el 2015 elaboró dos robots móviles con un mecanismo para activar las minas, hacerlas explotar de manera controlada y minimizar el riesgo para los soldados. Este desarrollo fue probado en la vereda El Orejón, municipio de Briceño, Antioquia, para la reactivación de labores de desminado después del fallecimiento de un soldado a causa de la explosión de unos de estos artefactos (El Colombiano, 2015).

La investigación realizada en la Universidad EAFIT para apoyar las labores de desminado en territorio colombiano arrojó un *spin-off* que se denominó Tecnologías MARTE S.A.S., dedicado a la creación de tecnología orientada al sector militar. Entre sus productos se encuentran robots móviles para el desminado mecánico, manipulación de explosivos e inspección.

El objetivo de una mina antipersonal no es matar a la víctima, si no que esta quede herida en el campo de batalla para que posteriormente otra persona se acerque a socorrerla, lo que reduce el número de combatientes. En la actualidad, son pocas las minas antipersona que utilizan metal en su elaboración. En vez de ello, son

1 UAV, por sus siglas en inglés: Unnamed aerial vehicle

construidas con botellas plásticas, tubos de PVC, envases de vidrio y galones plásticos. Además, utilizan material orgánico que es fácilmente

adquirible, como gasolina y fertilizante de productos agrícolas.

**Figura 2.** Minas Antipersonal



Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta los tipos de minas antipersona, se han empleado robots móviles (aéreos y terrestres) equipados con distintos tipos de sensores que han permitido detectar materiales sospechosos bajo tierra. Regularmente se han utilizado detectores de metales para este fin, y, de hecho, las minas antipersona hechas con metal son las más perjudiciales una vez activadas, ya que no solo afectan a la quien la pisó, sino a las personas próximas a ella. Sin embargo, las minas antipersona han evolucionado, lo que desafía la detección.

El grupo de física nuclear de la Universidad Nacional de Colombia pensó en un sensor que permitiera identificar irregularidades o material no convencional bajo tierra. Este desarrollo fue hecho en el 2014 y las pruebas demostraron que se podían detectar minas antipersona de 100 gramos y hasta 12 centímetros de profundidad. La tecnología se basa en la utilización de neutrones y rayos gama. En el 2018, ese mismo grupo implementó su sensor en un robot móvil

teleoperado que, a medida que avanza en la recolección de datos, refina sus capacidades para encontrar explosivos bajo tierra (MinCiencias, 2018). Actualmente, el robot realiza pruebas con la Industria Militar Colombiana (Indumil).

Otro adelanto por parte de la Universidad Nacional en el 2018 fue el de un robot móvil teleoperado con sistema de tracción tipo trípode. Se usó este diseño con el fin de soportar con mayor eficacia el impacto de la onda (Universidad Nacional de Colombia, 2018). El robot fue construido con material Kevlar, (el mismo utilizado en chalecos antibalas) en su carcasa y caucho de llantas reutilizadas. Además, utiliza radiofrecuencia para ser controlado. El equipo afirma que los equipos provenientes del extranjero son poco útiles debido al desconocimiento de que estos tienen acerca de la topografía colombiana.

Para el 2011, la Universidad Javeriana presentó a Arcadio, un robot teleoperado de 70 kilogramos, que permite identificar cambios en el suelo

y extraer elementos peligrosos con su manipulador. El grupo de investigación que lo desarrollo manifestó la relevancia de utilizar un sistema como este en favor de preservar la vida e integridad del ser humano (El Mundo, 2011).

La cooperación entre el sector académico (Universidad Militar Nueva Granada) y de defensa (Indumil) dio como resultado a VALI (Vehículo Antiexplosivo Ligero). VALI es un robot móvil teleoperado con un alcance inalámbrico de hasta 76 metros y 70 kilogramos de peso, dotado con un brazo manipulador, tres cámaras y un cañón irruptor que dispara una carga no letal (polímero, plastilina o agua), (Medellin, 2015). Su costo ronda los 200 millones de pesos.

En los últimos años, el uso de UAV, más conocidos recientemente como drones, se ha proliferado considerablemente debido a las distintas aplicaciones que se les ha encontrado, entre ellas, la detección e inclusive destrucción de estos artefactos. La Universidad Javeriana de Cali, en el 2014, planteó el proyecto DUBO para el desminado colombiano (Tobon, 2014). Este constaba de tres partes: comprender el entorno electromagnético en el cual están ubicadas las minas, utilizar radar de bajo costo que pueda ser acoplado en un UAV y desarrollar un algoritmo que permita realizar la detección de la mina en el mismo sitio.

**Figura 3.** Detección y destrucción de minas antipersonal utilizando UAV



Fuente: Kickstarter (s.f.)

Las investigaciones realizadas en la Universidad Javeriana dieron más claridad al objetivo del proyecto, al orientarlo al “desminado en territorio colombiano”. El UAV utilizado en el grupo de investigación del departamento de electrónica para tareas de desminado (Mayorga, 2015) cuenta con GPR (*Ground Penetrating Radar*) y visores para reconocimiento del entorno, además de un mando a distancia para que este sea teleoperado. La cámara permite georreferenciar el terreno, así como identificar patrones de ubicación, mientras que el radar emite una señal que penetra la tierra e indica al rebotar si existe una mina. El sistema además cuenta con un algoritmo que utiliza técnicas de visión por computador

para generar una imagen de mosaico del terreno cubierto, lo que detecta en tiempo real objetos parecidos a minas terrestres (Colorado, Mondragon, Rodriguez y Castiblanco, 2015). Las pruebas realizadas hasta el 2015 fueron desarrolladas en terrenos estructurados. El grupo de investigación propuso, para futuras investigaciones, la miniaturización de componentes electrónicos, evasión de obstáculos e identificación de objetos distintos a minas en tiempo real.

Otro sistema compuesto por UAV fue el premiado en el *reality* El Gran Inventor Colombia (El Colombiano, 2016). El sistema localiza y detona la mina de una manera controlada sin necesidad

de alambres. La localización de la mina se realiza a través de una nariz electrónica, que reconoce los elementos con los que son elaboradas las minas antipersona. La detonación de la mina se realiza por medio de pequeños explosivos que se dejan caer sobre la mina una vez esta sea debidamente localizada. La estructura mecánica del prototipo fue elaborada en aluminio y fibra de carbono; el control se realiza a través de un mando a distancia.

Desde que inició el proceso de paz, el Gobierno de Colombia ha destinado recursos a investigación para que las universidades se comprometan con el desarrollo de tecnología que ayude al desminado en el país. Sin embargo, la recopilación de información expuesta en este capítulo muestra que la gran mayoría de desarrollos fueron hechos en Bogotá, por instituciones como la Universidad Nacional, la Universidad Javeriana, la Universidad Militar Nueva Granada y el SENA.

También se han realizado avances significativos en la identificación de minas, gracias a sensores como el GPR o el sensor que utiliza neutrones y rayos gama para detectar material sospechoso bajo tierra. El sensor de metal utilizado con anterioridad quedó obsoleto una vez que la mina antipersona evolucionó. Además, la robótica no solo provee sistemas terrestres como los

vehículos terrestres no tripulados, UGV<sup>2</sup>, sino también los UAV.

La robótica en este campo seguirá siendo una tecnología que continuará salvando vidas y que contribuye al propósito de tener una Colombia libre de minas antipersonal y tal como lo propuso el expresidente Juan Manuel Santos durante su Gobierno. Se espera que, para el 2021, Colombia sea un país libre de estos artefactos. No se puede continuar pensando que estas labores sean exclusivas del ser humano, por lo cual Colombia se debe apropiarse del uso de la tecnología para avanzar en las labores de desminado que protejan la vida humana.

La optimización de las labores del robot para el desminado aún tiene muchos desafíos como, por ejemplo, hacerlos más autónomos y evitar que sean teleoperados, como se vio en la gran mayoría de estos. También se debe mejorar su aprendizaje del entorno, esto con el fin de aumentar el número de aciertos en la detección de minas; diseñar y construir sistemas mecánicos más robustos que permitan al robot desempeñarse en la geografía colombiana; y, por último, reconocer y eludir agentes dinámicos, por ejemplo, animales y/o personas, que puedan aparecer durante las labores de desminado.

## El renacer de la agroindustria en la era del posconflicto

La ingeniería tiene un rol importante en el desarrollo del país y en el bienestar de la sociedad. Afectada por el conflicto armado, la agroindustria colombiana ha tenido un rezago en el aumento de niveles de producción de alimentos, con millones de hectáreas improductivas o utilizadas para cultivos ilícitos. A pesar del potencial

que Colombia tiene en la agroindustria, este no ha sido debidamente aprovechado, como otros países alrededor del mundo si han aprovechado el suyo. Según lo comentan Méndez-Fajardo y Pérez (2015), una vez finalizara el conflicto con las FARC, se preveía una reactivación de este sector, teniendo en cuenta la restitución de tierras

2 Siglas en inglés de vehículos terrestres no tripulados: *Unmanned Ground Vehicle*

e inversiones en tecnología que le permitirían al país aumentar la autosuficiencia en alimentos, así como las oportunidades de entrar a mercados internacionales.

En el 2016 se estimó que, de los suelos netamente agrícolas, que son 11.3 millones de hectáreas, no se aprovechaban el 65,8 % (El Tiempo, 2016a); además, se importaba aproximadamente el 28,5 % de alimentos consumidos en hogares. Con el final del conflicto armado en este mismo año, se previó el gran potencial de Colombia en la agricultura, siendo estas una de las industrias con mayor futuro y que más le aportará al PIB del país, más aún cuando las proyecciones de producción y reservas de petróleo se encuentran a la baja.

Desde la unidad de planificación rural agropecuaria, propusieron crear mapas detallados para identificar qué suelos y climas son los más indicados para cultivos, lo que mostró que productos como aguacate, piña y madera crecerán sustancialmente en exportaciones para los próximos años, por lo cual, el aprovechamiento de tierra debe ser óptimo. El peso de los productos agrícolas en las exportaciones realizadas en el 2017 fue de tan solo 8 %, siendo el café y el banano los productos más representativos. Los productos agrícolas de países como Chile y Argentina pesaron el 14 % y 50 % respectivamente, del total de las exportaciones realizadas en ese mismo año (Bloomberg, 2017).

Dos problemas que se evidenciaron para que Colombia tuviera bajos niveles de exportaciones agrícolas a pesar de su gran potencial fueron bajos niveles de tecnología, debido a la presencia de grupos subversivos en los sectores rurales del país, y altos costos de transporte. Sin embargo, estos dos problemas han venido siendo subsanados. Para el primero, se firmó un acuerdo de paz que desmovilizó a miles de guerrilleros; para el segundo, se ha venido avanzando en la

construcción de vías para el desarrollo del país en los últimos años.

La población para el 2050 se situará en torno a los 9000 millones de personas, lo que significa que se consumirá un 50 % más de alimentos de los consumidos actualmente (Colcapital, 2015), por lo cual Colombia podría llegar a ser una potencia en el sector agroindustrial, si se hacen los debidos ajustes en este momento. Además de realizar la restitución de tierras, fortalecer la infraestructura del país y formalizar la tenencia de tierra y los canales de comercialización, se debe pensar en realizar una importante inversión en tecnología que lleve a Colombia a ser un país más competitivo respecto a los países con los que tiene Acuerdos de Libre Comercio vigentes.

En el sector agroindustrial se debe pensar en realizar labores de una forma más rápida, económica y periódica, para lo que un sistema como el UAV puede ser de ayuda. Tener acceso a este tipo de tecnología permitirá que nuevas generaciones permanezcan en el campo, dado que esta traerá mejores ingresos, lo que se traduce en un mayor impacto social para el país. La apropiación de esta tecnología hará que residentes de las zonas rurales sean los operarios de estos sistemas (UAV), lo que creará nuevos puestos de trabajo acordes a la cuarta revolución industrial y, así mismo, generará inversión social gracias a estas nuevas tecnologías.

Colombia, al ser país un tropical, tiene la ventaja de estar cultivando y cosechando durante todo el año, a diferencia de los países con estaciones. La desventaja para Colombia es no tener la tecnología apropiada para aumentar su productividad para estar entre los mayores productores de alimentos en el mundo.

Además de utilizar la tecnología para aumentar la productividad, también es posible utilizarla para realizar tareas nocivas para la salud

humana, como la aplicación de herbicidas, lo que hace más eficiente la fumigación, a diferencia de la forma en que las avionetas la hacen.

En los últimos años se ha empezado a masificar el concepto de la agricultura de precisión, del cual los UAV hacen parte. Los UAV en el sector agroindustrial pueden ser controlados por un operador o pueden ser autónomos. Están provistos de cámaras visuales, infrarrojas y multiespectrales o térmicas. Las cámaras visuales permiten tomar fotos georreferenciadas para identificar área efectiva, caminos, agua y realizar la logística de un amplio terreno. La información puede ser almacenada para ser consultada posteriormente y,

mediante algoritmos de visión por computador, se puede calcular la densidad de siembra, así como la cantidad de árboles y plantas de forma automática. Las cámaras multiespectrales obtienen los colores que refleja la planta a través de una firma espectral, que está compuesta por características únicas e inequívocas de la planta. Con esto se identifica si la planta está saludable, con estrés hídrico o si tiene alguna maleza. Además, con las cámaras multiespectrales se puede generar mapas de diagnóstico, como también de condiciones de cultivo, de fertilizantes, de contenido de nitrógeno, de estrés hídrico y de plagas.

**Figura 4.** uav en la agroindustria



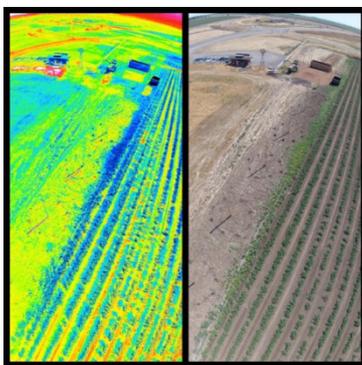
Fuente: Infodron (2016)

Con el desarrollo de esta tecnología, se esperan ahorros financieros y menor impacto ambiental. Para el 2015, se encontró que el 80 % del capital invertido en UAV estaba enfocado en la agricultura (ASOHOFrucol, 2015), siendo Estados Unidos y Europa los mayores productores de estos artefactos. Los costos para ese año rondaban los 20 000 y 30 000 dólares, a los que hay que sumarle los costos de mantenimiento. La utilización de los UAV se encuentra orientada a terrenos de muchas hectáreas, como son los cultivos de cereales, trigo y legumbres.

Uno de los cultivos más representativos en Colombia es la caña de azúcar, para los que se ha estado evaluando el uso de cámaras multiespectrales en UAV que usen la técnica de ortofotos (mosaicos georreferenciados), para así obtener información topográfica en la delimitación de áreas, actualización cartográfica, cuantificación de áreas infestadas por malezas, cuantificación de áreas de resiembra y digitalización de líneas de surcado. Con dicha técnica también se obtienen modelos digitales de elevación para estimar curvas a nivel, construir mapas de pendientes, modelos de superficie y modelos para estimar la

altura del cultivo de la caña de azúcar, así como registrar energía infrarroja para el seguimiento de variables biofísicas. Se han encontrado correlaciones del 74 % con un error de  $\pm 25$  cm entre la altura tomada en campo y la calculada por el modelo (García, s.f.). En los cultivos de caña de azúcar se busca identificar y cuantificar zonas con problemas de bajo desarrollo fisiológico y corrección de variables como concentración de clorofila y contenido de nitrógeno.

**Figura 5.** Cámara multispectral



Fuente: Gonzoeearth (2013)

La investigación realizada por el *International Water Management Institute* (IWMI) y dirigida por Salman Siddiqui (The Guardian, 2015), director del departamento de detección remota,

mostró la relevancia de utilizar UAV equipados con sensores infrarrojos para detectar el estrés de una planta (falta de agua, fertilizantes o el ataque de una peste), hasta 10 días antes de que el ojo humano lo pueda hacer. Siddiqui concluye en su investigación que “la detección temprana de estrés previene pérdidas a gran escala” (The Guardian, 2015).

Entre los UGV construidos en Colombia, como fruto de la cooperación entre la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Militar Nueva Granada, encontramos la plataforma robótica Agrobot CERES (González, 2018), la cual fue diseñada y construida para destruir malezas, agregar nutrientes y aplicar fungicidas. La Universidad Militar Nueva Granada se encargó del diseño mecánico y la adecuación de motores, mientras que la Universidad Nacional de Colombia se encargó del sistema de movimiento con motores lineales, dos de ellos se mueven en un plano  $x$   $ey$  sobre el cultivo, mientras el tercero se emplea sobre un eje  $z$ . El robot fue pensado para que se desplazara sobre los surcos del cultivo. Robots como Agrobot CERES, utilizan láser, cámaras y sensores infrarrojos para detectar la maleza, y un brazo mecánico para la aplicación de herbicidas, fungicidas y remoción de maleza.

**Figura 6.** Agrobot CERES



Fuente: Gonzáles, 2018.

Algunas ventajas que se proyectan con el uso de robots en la agroindustria son las de producir alimentos en cantidad y calidad de una forma sostenible y respetuosa; tener un sector agrícola más competitivo, con mayor demanda y mayor calidad de alimentos; mejorar la respuesta en los cultivos y en calidad ambiental; incrementar la rentabilidad, calidad, cantidad y rendimiento en los cultivos; contar con una tecnología en permanente desarrollo; tener la oportunidad de monitorear, registrar y evaluar variables; tener cultivos eficiente y sustentables; y ajustar las prácticas de cultivo según las necesidades de la planta.

Países como Estados Unidos, Canadá y Australia han sido pioneros alrededor del mundo en la adopción de tecnologías para el sector agroindustrial, mientras que, en Latinoamérica, lo han sido Argentina y Brasil. En la agricultura tradicional los campos son homogéneos, no se incluye variabilidad espacial, ni temporal, ni el análisis para la aplicación de insumos. Pero en la agricultura de precisión se habla de una optimización de recursos, tanto ambientales como energéticos; se tiene en cuenta la variabilidad espacial y las dosis acordes para la siembra; se reducen costos en insumos, pesticidas y fertilizantes; se aumenta el rendimiento con el mismo nivel de insumos y la calidad de las cosechas; se obtienen productos de mayor valor nutritivo, se controlan los cultivos en tiempo real y se evitan problemas de salud ocupacional. Todas estas ventajas mencionadas deben ir acompañadas de un mayor trabajo social con agricultores, con el fin de que ellos se apropien y entiendan la tecnología para su uso y beneficio.

Algunas dificultades para producir alimentos de una manera sostenible en países industrializados son: envejecimiento de la población rural; emigración del campo a la ciudad y el escaso margen comercial que le queda al agricultor al final de la cosecha. Se espera que esta tendencia

cambie gracias al uso de la tecnología, ya que con esta las proyecciones muestran un mejoramiento en las condiciones de los agricultores y un incentivo para que se mantengan o vuelvan a los campos. Por otro lado, informes del Instituto Global McKinsey y del banco mundial (El Espectador, 2018) sugieren que los sectores agrícolas e industriales tienen un mayor potencial para la automatización por ser tareas repetitivas, lo que genera una preocupación por la mano de obra no calificada, pero a la vez se sugiere capacitación de trabajadores para futuros empleos que aún no existen.

En Colombia se ha realizado poca investigación en el diseño y construcción de UAV, ya que regularmente los grupos de investigación acuden a realizar compras en el extranjero para centrarse en algoritmos de control y algoritmos de visión por computador. Actualmente existe una oportunidad en el desarrollo mecánico de estos robots, como lo han aprovechado algunas *startups* colombianas que diseñan y construyen sus propios UAV. El desarrollo de esta tecnología permite ofrecer servicios más económicos al sector agroindustrial, a diferencia de traer los robots del extranjero.

Por otro lado, el trabajo hecho en robótica cooperativa en los grupos de investigación colombianos ha sido prácticamente nulo. Las UAV y UGV se mantienen interconectados a través de una red de trabajo que les permite realizar distintas labores en campos de cultivo, tales como, monitoreo, análisis, riego, fumigación, siembra, cosecha, entre otras; todas estas se realizan en paralelo. Las empresas colombianas o *startups* no han explotado aun esta oportunidad, posiblemente por una falta de inversión, desconocimiento o una combinación de ambas. Sin embargo, se aclara que Colombia lleva en promedio 3 años haciendo uso de robots en el sector agroindustrial, así que aún falta mucho camino por recorrer antes de que esta tecnología se masifique.

## Adelantos de prótesis en Colombia para población vulnerable

Debido a los altos costos que representa importar prótesis de otros países, ingenieros y científicos colombianos han hecho un esfuerzo para que estas sean más asequibles para sectores sociales de bajos recursos. En el 2016, un estudiante de doctorado de la Universidad Nacional de Colombia comenzó a desarrollar, fabricar y ensamblar prótesis para miembros superiores (CNN español, 2017). El material que utiliza para la elaboración de prótesis es ninjaflex y PET. Estos

se introducen en una impresora 3D modificada (resolución de impresión, densidades y piezas mucho más definidas y precisas) para la fabricación de las piezas. La población a la que especialmente se dirige este emprendedor es a la de los niños con escasos recursos, razón por la cual sus diseños son alusivos a superhéroes. Las amputaciones que trata pueden ser congénitas o traumáticas. Actualmente se encuentra constituida la empresa Fabrilab, gracias a esta iniciativa.

Figura 7. Prótesis para miembros superiores- Fabrilab



Fuente: elaboración propia.

En esa misma línea, en el 2017, Andrés Cruz Rodríguez, físico de la Universidad Nacional de Colombia, construyó una prótesis que puede ser controlada por medio de ondas cerebrales (Agencia de noticias UN, 2017). El cerebro humano funciona mediante impulsos eléctricos, los cuales, a su vez, generan movimientos a lo largo del cuerpo humano. Según el estudio, la región del cerebro en la que Cruz Rodríguez enfocó la investigación fue la frontal para medir las ondas cerebrales que son captadas a través de un electrodo y enviadas a un microprocesador para que este envíe una orden a los actuadores de la prótesis, y así crear movimiento. Para obtener respuesta en la prótesis por medio de las

ondas cerebrales, se debe entrar en una etapa de entrenamiento para concentrarse. El tiempo de respuesta del sistema es de 40 ms y el envío de las señales capturadas por el electrodo se realiza a través de tecnología bluetooth. También se encontró en el estudio que la respuesta de los niños era más efectiva que en adultos. La prótesis fue construida en una impresora 3D y la carga de su batería dura 24 horas para ser nuevamente cargada por 3 horas. Con este sistema se busca llegar a personas en condición de discapacidad con bajos recursos, ya que es más económica que lo encontrado actualmente en el mercado.

Otros adelantos en la fabricación de prótesis se centran en el material utilizado para ellas, como

es el caso presentado por el programa de diseño industrial de la Universidad ICESI en el 2014 Salazar, 2014). Este desarrollo se centró en utilizar PLA, plástico derivado del almidón de maíz, para la fabricación de una prótesis de miembros inferiores por medio de una impresora 3D. El costo de la prótesis rondaba los 50 dólares, aproximadamente. Además de su bajo costo, también se resalta la capacidad de personalizar la prótesis y el poco tiempo de fabricación.

Alargar vida de las prótesis y evitar una segunda intervención quirúrgica fue la investigación propuesta por la Universidad Industrial de Santander y la empresa Quirúrgicos Especializados (El Tiempo, 2013). La propuesta nace al descubrir que después de 10 años, el usuario de la prótesis comienza a experimentar molestias, dolor, pierde movilidad e incluso se puede someter a una nueva cirugía, por lo cual los investigadores propusieron utilizar biomateriales de calcio para recubrir las prótesis y de esta forma reducir los

costos de producción hasta en un 70 %, ya que las piezas son importadas.

Continuando con la comodidad del usuario de prótesis, la Universidad de Antioquia planteó una investigación en el 2016 para identificar laceraciones y deformaciones en el muñón (El Tiempo, 2016b), con lo cual se buscó optimizar topografía interna del *socket* a través de un micromecanizado del polipropileno, para generar rugosidades y texturas que se adapten mejor a la piel.

Debido al flagelo del conflicto armado de las últimas décadas en Colombia, se presentaron 3600 amputados en los últimos 20 años, según estadísticas del Hospital Militar Central, con una inversión de casi 3 millones de dólares en la atención de soldados mutilados (Dussán, 2017). Las mutilaciones en los soldados fueron entre los 18 y 35 años, presentándose 90 % de las amputaciones en miembros inferiores y el 10 % restante en los miembros superiores.

**Figura 8.** Víctima del conflicto armado



Fuente: Redacción CM& (2017)

Desde el 2008 se empezaron a desarrollar nuevas tecnologías para afectados por minas anti-personal. En la década de los 80, las prótesis eran en madera y se adquirían en la cruz roja o con entidades alemanas. Más adelante se empezaron

a ver prótesis con rodillas mecánicas y de control de movimiento con resortes y elásticos, prótesis modulares, sistemas de suspensión más modernos, con silicona y sistemas de bloqueo. Posteriormente llegaron las prótesis hidráulicas

o neumáticas, que tenían un 90 % de semejanza en la simulación de movimiento de una extremidad normal. Ya en los últimos años se presentaron las prótesis semi-eléctricas o eléctricas.

Los costos para cada una de estas prótesis fueron los siguientes: 3 millones la de rodilla mecánica, 7 millones la hidráulica y 45 millones la electrónica.

**Figura 9.** Evolución prótesis



Fuente: elaboración propia.

En Colombia se han hecho adelantos en la fabricación de prótesis gracias a la impresión 3D. Sin embargo, se debe promover investigación en el procesamiento de señales mioeléctricas o interfaces cerebro-máquina para controlar las prótesis, lo que produce un mayor confort y destreza en el usuario. Debido al conflicto armado que dejó

tanta víctimas mutiladas, existe la oportunidad, a través de la investigación, de brindar un mejor futuro con prótesis más avanzadas y más asequibles a los usuarios de estos dispositivos, pues con la importación se incrementa el costo considerablemente.

## Conclusiones

Uno de los grandes flagelos para Colombia ha sido el conflicto armado. Sin embargo, gracias al acuerdo alcanzado entre el Gobierno Colombiano y las FARC, se ha podido avanzar en la búsqueda de una mejor sociedad. Desde distintos sectores, se ha aportado en el saneamiento de distintas heridas que ha dejado el conflicto, con herramientas como la robótica. Desde las IES, se han desarrollado diferentes sistemas robóticos que detectan y destruyen minas antipersona; se han construido robots para potenciar el agro colombiano, lo que previamente no tenía

demasiada relevancia debido a la presencia de grupos armados en áreas rurales; y, finalmente, se han desarrollado prótesis de bajo costo que contribuyen a mejorar la calidad de vida de las personas afectadas por el conflicto armado. Si bien se ha avanzado considerablemente en los distintos frentes presentados en este artículo, aún falta una mayor inversión para realizar un desminado total, potenciar la agroindustria en Colombia y llegar a un mayor número de personas que perdieron algún miembro a causa del conflicto.

## Referencias

- Agencia de noticias UN. (22 de septiembre de 2017). Físico de la UN construye prótesis de mano que puede ser controlada con ondas cerebrales. *Caracol Radio*. Recuperado de [https://caracol.com.co/radio/2017/09/22/tecnologia/1506102949\\_352748.html](https://caracol.com.co/radio/2017/09/22/tecnologia/1506102949_352748.html)
- Asociación Colombiana de Fondos de Capital Privado (Colcapital) (junio de 2015). INFORME SECTORIAL - Sector Agroindustrial. Recuperado de [https://drive.google.com/file/d/1mWcTrR9lnw02sNK-zHiqwVv\\_mvwxVJmJ/view](https://drive.google.com/file/d/1mWcTrR9lnw02sNK-zHiqwVv_mvwxVJmJ/view)
- ASOHOFrucol. (2015, Septiembre-Octubre). Drones, los socios de la agricultura de precisión. Frutas & Hortalizas. Recuperado de <https://www.asohofrucol.com.co/img/pdfrevisitas/75Lecciones%20para%20la%20productividad.pdf>
- Bloomberg. (29 de julio de 2017). Colombia quiere convertirse en una potencia agroindustrial. *Portafolio*. Recuperado de <https://www.portafolio.co/economia/colombia-quiere-convertirse-en-una-potencia-agroindustrial-508227>
- CNN español (22 de junio de 2017). El colombiano que fabrica y dona prótesis de superhéroes a niños de bajos recursos. *CNN español*. Recuperado de <https://cnnespanol.cnn.com/2017/06/22/el-colombiano-que-fabrica-y-dona-protesis-de-superheroes-a-ninos-de-bajos-recursos/>
- Colombia y las minas antipersonal. (Septiembre de 2000). UNICEF - Colombia. Recuperado de <https://www.resdal.org/caeef-resdal/assets/el-salvador---sembrando-minas--cosechando-muerte.pdf>
- Colorado, J., Mondragon, I., Rodriguez, J., & Castiblanco, C. (2015). Geo-Mapping and Visual Stitching to Support Landmine Detection Using a Low-Cost UAV. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. DOI: 10.5772/61236
- Dussán, Y. (01 de marzo de 2017). Colombian Military Hospital Expands Prosthesis Program. *Diálogo*. Recuperado de <https://dialogo-americas.com/articles/colombian-military-hospital-expands-prosthesis-program/#.YQhrKI5KiM8>
- El Colombiano. (22 de julio de 2015). Con robots reinicia desminado humanitario en Antioquia, *El Colombiano*. Recuperado de <https://www.elcolombiano.com/colombia/paz-y-derechos-humanos/con-robots-reinicia-tarea-de-desminado-en-antioquia-XM2358918>
- El Colombiano (14 de septiembre de 2016). Robot aéreo antiminas fue premiado como el gran invento. *El Colombiano*. Recuperado de <https://www.elcolombiano.com/antioquia/robot-aereo-antiminas-fue-premiado-como-el-gran-invento-LE4978841>

- El Espectador. (12 de julio de 2018). Impacto de la automatización es mayor para países en vías de desarrollo. *El Espectador*. Recuperado de <http://www.elespectador.com/> <https://www.elespectador.com/economia/impacto-de-la-automatizacion-es-mayor-para-paises-en-vias-de-desarrollo-article-799688/>
- El Mundo. (14 de abril de 2011). 'Arcadio', un robot colombiano que encuentra minas antipersonales. *El Mundo*. Recuperado de <https://www.elmundo.es/america/2011/04/07/colombia/1302207303.html>
- El Tiempo. (12 de octubre de 2013). Colombia desarrolla prótesis biocompatibles para reducir cirugías. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13118475>
- El Tiempo. (23 de mayo de 2016a). El 65.8 % de la tierra apta para sembrar en Colombia no se aprovecha. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16601436>
- El Tiempo (17 de octubre de 2016b). Lograr prótesis amigables con la piel sí es posible. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16728656>
- García, C. (s.f.). Uso de drones en el cultivo de la caña de azúcar, Colombia.: Técnicaña. Recuperado de <https://tecnicana.org/uso-de-drones-en-el-cultivo-de-la-cana-de-azucar/>
- Gaviria, F. (2014). El brutal drama de las minas antipersona en Colombia. Las 2 Orillas. Recuperado de <https://www.las2orillas.co/el-drama-de-las-minas-antipersona-en-colombia/>
- González, X. (15 de febrero de 2018). Cultivos de hortalizas serán protegidos por una plataforma robótica. *Agronegocios*. Recuperado de <https://www.agronegocios.co/tecnologia/cultivos-de-hortalizas-seran-protegidos-por-una-plataforma-robotica-2623240>
- Gonzoeath (2013). Multispectral GoPro at cloverleaf farm. Recuperado de <https://publiclab.org/notes/gonzoeath/07-02-2013/multispectral-gopro-at-cloverleaf-farm>
- Infodron (2016). Bolivia ya se ayuda de drones en mas del 15% de su suelo agrícola. Recuperado de <https://www.infodron.es/id/2016/08/30/noticia-bolivia-ayuda-drones-suelo-agricola.html>
- Kickstarter (s.f.). Mine Kafon Drone. Recuperado de <https://www.kickstarter.com/projects/massoudhassani/mine-kafon-drone>
- Mayorga, D. (28 de noviembre de 2015). Un dron para desminar el país. *Pesquisa Javeriana*. Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/un-dron-para-desminar-el-pais/>

- Medellin, M. J. (2015, 24 de Marzo). La academia, con las botas puestas. *El Espectador*. Recuperado de <https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/la-academia-con-las-botas-puestas-article-551287/>
- Méndez-Fajardo, S.M. y Pérez, B.C. (2015). Posconflicto en Colombia: El rol de la ingeniería. Recuperado de <https://docplayer.es/36998084-Posconflicto-en-colombia-el-rol-de-la-ingenieria.html>
- MinCiencias (03 de junio de 2018). La ruta de la ciencia. Recuperado de [https://todoesciencia.minciencias.gov.co/todo\\_es\\_ciencia/ruta\\_ciencia](https://todoesciencia.minciencias.gov.co/todo_es_ciencia/ruta_ciencia)
- Redacción CM& (2017). Carro taller repara las prótesis de los soldados heridos en batalla. Recuperado de <https://noticias.canal1.com.co/noticias/carro-taller-repara-las-protesis-de-los-soldados-heridos-en-batalla/>
- Salazar, D. (12 de noviembre de 2014). Colombiano desarrolla prótesis económicas en 3D a partir de almidón de maíz. *La Información*. Recuperado de [https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/colombiano-desarrolla-protesis-economicas-en-3d-a-partir-de-almidon-de-maiz\\_O5wUgsctZMSpjd17awFHR7/](https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/colombiano-desarrolla-protesis-economicas-en-3d-a-partir-de-almidon-de-maiz_O5wUgsctZMSpjd17awFHR7/)
- The Guardian (26 de diciembre de 2015) Drones set to give global farming a makeover. *The Guardian*. Recuperado de <http://www.theguardian.com/> <https://www.theguardian.com/global-development/2015/dec/26/drones-farming-crop-problems-uavs>
- Victimas de minas antipersonal y municiones sin explotar. (31 de Mayo de 2018). Organización Descontamina Colombia. Recuperado de <http://www.accioncontraminas.gov.co/Estadisticas/estadisticas-de-victimas#:~:text=A%20la%20fecha%20de%20corte,toda%20la%20historia%20de%20Colombia.&text=En%20lo%20corrido%20del%20a%C3%B1o%202021%2C%20se%20han%20presentado%2073%20v%C3%ADctimas>



# Pautas para publicar en *Hashtag*

*Revista especializada en Ingeniería*

La revista está dirigida a estudiantes, docentes y egresados de la Escuela de Ingenierías de la CUN, de áreas del conocimiento relacionadas de la misma universidad o a investigadores invitados de otras universidades u organismos nacionales o internacionales.

## Lineas temáticas:

- Ciencia, tecnología e innovación
- Utilización de las tic en el aula
- Seguridad informática, gestión de redes y telecomunicaciones
- Inteligencia artificial y sistemas expertos

## Tipos de artículos:

Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta de manera detallada los resultados originales de un proyecto de investigación. Por lo general, la estructura de estos textos está constituida por cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y discusión.

Artículo de reflexión: documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

Artículo de revisión: documento que surge de una investigación en la que se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones, publicadas o no, con el fin de dar cuenta de los avances y tendencias de desarrollo en un área de conocimiento o de la técnica determinada. Se caracteriza por presentar un cuidadosa revisión bibliográfica.

## Pautas de presentación de artículos

Los artículos deben cumplir con los siguientes parámetros:

- Extensión entre doce (12) y quince (15) páginas (4500 palabras aproximadamente, esto incluye los pies de página y referencias bibliográficas).
- Ser entregado en formato Word, tamaño carta, márgenes de 2,54 cm, espacio y medio de interlineado, letra Times New Román 12 puntos.

- Las páginas deben ser numeradas desde la página 1 hasta el final, la ubicación de la numeración debe estar en el margen inferior derecho.
- Tener el título y un resumen en español o en el idioma escrito y en inglés. Se recomienda que estas coincidan con las aprobadas por el Tesouro de la Unesco.
- El resumen o abstract no debe superar las 150 palabras y debe describir la esencia del artículo.
- Tener entre tres y seis palabras clave en el idioma en que esté escrito y en inglés.
- Los datos académicos del autor y su filiación institucional deben ser anexados en otro archivo Word.
- Todos los cuadros, gráficas, mapas, diagramas y fotografías serán denominados “Figuras”. Estas deben ser insertadas en marcos o cajas de línea delgada, numeradas, en orden ascendente, e identificadas y referenciadas en el texto mediante un pie de foto. Asimismo, deben ser enviadas en formato .jpg o .tiff de alta resolución, es decir, de 300 pixeles por pulgada (ppp).
- Todos las figuras representadas por mapas deben estar: 1) enmarcadas en una caja de línea delgada, 2) estar geográficamente referenciadas con flechas que indiquen latitud y longitud o con pequeños insertos de mapas que indiquen la localización de la figura principal, y 3) tener una escala en km.
- El autor debe emplear los pies de página estrictamente en los casos en los que desea complementar información del texto principal. Los pies de página no se deben emplear para referenciar bibliografía o para referenciar información breve que puede ser incluida en el texto principal. Se exceptúan aquellos casos en los que el autor desea hacer comentarios adicionales sobre un determinado texto o un conjunto de textos alusivo al tema tratado en el artículo.
- Cumplimiento de las normas APA. Sexta Edición

## Pautas de presentación de reseñas

Las reseñas deben cumplir con los siguientes parámetros:

- Extensión entre tres (3) y cinco (5) páginas.
- Ser entregada en formato Word, tamaño carta, márgenes de 2,54 cm, espacio y medio de interlineado, letra Times New Román 12 puntos.
- Los datos académicos del autor y su filiación institucional deben ser anexados en otro archivo Word.

## Revisión y ajustes

Los artículos y reseñas que cumplan con las especificaciones y satisfagan los criterios establecidos por el comité editorial serán preseleccionados. Para lograr que el documento sea finalmente seleccionado y publicado, el autor tendrá que ajustarse al tiempo que los editores de la revista consideren prudente para que haga cambios pertinentes al escrito y luego lo retorne con sus respectivas modificaciones si así se llegare a necesitar.

#GSHtag

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

# #CSTAG

REVISTA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA

ISSN: 2346 - 139X



*cun*

Corporación Unificada Nacional  
de Educación Superior

VIGILADA MINEDUCACIÓN