

# Diseño e implementación de un robot recolector de residuos sólidos en playas

G. A. García-Rodríguez<sup>1</sup>, B. A. Aguilar-Figueroa<sup>1</sup>, P. Argüelles-Lucho<sup>2</sup>,  
R. M. Woo-García<sup>2</sup>, F. López-Huerta<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, Universidad Veracruzana,  
Calzada Ruiz Cortines 455, Boca del Río, Veracruz 94294, México

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología, Universidad Veracruzana,  
Veracruz, 94294, Boca del Río, Veracruz, México

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Veracruzana, Veracruz  
94294, Boca del Río, Veracruz, México

[frlopez@uv.mx](mailto:frlopez@uv.mx)

**Área de participación:** Ingeniería mecánica y mecatrónica

## Resumen

Las playas mexicanas son un excelente destino turístico, sin embargo, su atractivo se encuentra mermado por la contaminación de residuos de embarcaciones, basura marítima, residuos sólidos urbanos. En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un robot de recolección de residuos sólidos de volumen en el rango de 100 a 180cm<sup>3</sup> para limpieza de playas, el prototipo es desarrollado en un chasis con orugas tipo tanque para una adecuada tracción en la arena, el sistema es controlado mediante un dispositivo bluetooth a través de un teléfono inteligente y un microcontrolador ATMEGA. El sistema de recolección de residuos consiste en un sensor ultrasónico, el cual al detectar un desecho activa el motor de la barredora de 4 aspas gobernadas por un control de posición de tipo proporcional e integral, almacenando el residuo sólido dentro del robot. El sistema completo realiza la recolección de 3 objetos sólidos en un tiempo de 7 minutos y es alimentado con una fuente de 12 Volts y tiene una autonomía de 45 minutos.

**Palabras clave:** Control PI, Microcontrolador, Recolector, Robot.

## Abstract

*Mexican beaches are an excellent tourist destination; however, their appeal is diminished by pollution from boat waste, marine litter, and municipal solid waste. This work presents the design and implementation of a solid waste collection robot with a volume in the range of 100 to 180cm<sup>3</sup> for cleaning beaches, the prototype is developed on a chassis with tank-type tracks for adequate traction in the sand. the system controlled by Bluetooth through a smartphone and an ATMEGA microcontroller. The waste collection stage consists of an ultrasonic sensor, which when detecting a waste activates the motor of a 4-blade sweeper governed by a proportional and integral position control, storing the solid waste inside the robot. The complete system collects 3 solid objects in a time of 7 minutes and is powered by a 12 Volt source and has an autonomy of 45 minutes.*

**Key words:** PI Control, Microcontroller, Collection, Robot.

## Introducción

La playa es un depósito de sedimentos no consolidados que varían en su morfología conformada en su mayoría por arena y grava, se extiende desde la base de la duna o el límite donde termina la

vegetación hasta una profundidad del mar en donde los sedimentos no presentan movilidad [1]. Las playas en México son altamente visitadas debido a su diversidad: de aguas azul turquesa, fina arena blanca y peces multicolores, las playas del Mar Caribe, azul profundo ideales para la navegación, las del Mar de Cortés, de suave oleaje recomendables para nadar, las del Golfo de México, y de fuerte oleaje para actividades como el surf y esquí acuático, las de la costa del Pacífico sur [2].

Las playas proveen un hábitat para diferentes tipos de plantas y animales, también sirven como protección para los habitantes que viven cerca de océanos al desempeñarse como barreras de amortiguación de impacto para fuertes vientos y oleajes de tormentas, además este tipo de ambiente natural fomenta la actividad económica de las comunidades cercanas a ellas, sin contar el sin fin de actividades recreativas que estas ofrecen tanto a los habitantes de las zonas como a posibles turistas [3-4].

Desafortunadamente, estos atractivos sedimentos están expuestos a diversos tipos de afecciones principalmente en la arena, las causas más comunes de contaminación de las playas son: descargas de aguas residuales, drenajes deficientes, residuos de embarcaciones, arrastres de residuos por lluvias, desechos de la población y animales [5-6]. La contaminación en playas afecta en diferentes formas: daña el ecosistema, representa un riesgo para la salud de habitantes de las zonas cercanas y visitantes, teniendo como consecuencia una pérdida económica al reducir el turismo en las playas con malos cuidados y reducir las actividades como la pesca por la contaminación que también llega los océanos [7].

Los residuos son arrastrados por las lluvias y desembocan en los océanos. De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 13 millones de toneladas de plástico se vierten en océanos cada año [8], una vez ahí los plásticos son expuestos a temperaturas cambiantes, radiación ultravioleta ocasionando que se fragmenten, estas porciones de desechos pueden enredarse en pequeñas especies animales ocasionando que queden inmovilizadas o asfixien, asimismo estos plásticos son consumidos por la fauna marina, causando la muerte de diversas especies [9].

Para evitar los problemas de contaminación antes mencionados, es necesario un monitoreo constante de las playas, con el objetivo de procurar la limpieza de estas zonas, lo que motiva al desarrollo de prototipos capaces de mantener las playas saneadas de residuos sólidos.

Existen diferentes tipos de diseños de dispositivos recolectores de residuos, tipo barredora [10], con una red o brazo mecánico con una garra [11-12]. En este trabajo se optó por un diseño tipo barredora debido a que es el más fácil de ensamblar y de respuesta rápida, los otros dos tipos necesitan de un mínimo de tres motores, mientras que el tipo barredora solo necesita de un motor para el funcionamiento haciéndolo fácil de controlar.

## **Metodología**

### **Materiales**

El sistema completo está formado por un robot chasis T-Rex tipo tanque con orugas y motores corriente directa (DC) de 12V, dos etapas de potencia L298, dos microcontroladores ATMEGA, módulo bluetooth HC-06, sensor ultrasónico HS-SE04 y un enconder de cuadratura KY-040 acoplado a un motor DC.

### **Diseño del mecanismo de recolección**

El dispositivo de recolección de residuos está diseñado para basura de dimensiones del 100 a 180 cm<sup>3</sup> aproximadamente, el cual está basado en un sistema tipo barredora de 4 aspas que al girar recolecta y almacena el desecho para posteriormente depositarlo en un acopio general. El sistema

es desplazado a partir de dos orugas que se encuentran acopladas a dos motores de DC, alimentados por una batería de 12V a 4.5 Ah, interconectados a una etapa de potencia L298.

El control del robot se ha implementado en un microcontrolador ATMEGA de 8 bits, la lógica desarrollada se basa en la posición de las aspas de recolección a través de un encoder de cuadratura, este dispositivo envía la posición de retroalimentación para dictar el control del motor de acuerdo con el punto de ajuste (setpoint) establecido. El sistema es controlado por un mando tipo proporcional integral (PI) haciéndolo inmune a las fuerzas no deseadas como son algunas variables ambientales (viento, lluvia) pudiendo éstas alterar la posición de las aspas o desestabilizar el movimiento del sistema.

Al inicializar el sistema, el microcontrolador almacena la posición de las aspas, después el operador del dispositivo ubica el objetivo y coloca el robot a una distancia no mayor a 8 cm de éste, colocando al robot de frente para la recolección. Al hallarse un residuo sólido en la zona de cobertura del sensor ultrasónico quien cumple la función de ejecutor del mecanismo de recolección, se modifica el punto de ajuste, causando que las aspas giren en 180° colocando el residuo sólido entre dos aspas, el robot es capaz de almacenar residuos sólidos no mayores a 500 cm<sup>3</sup> o 1200 gramos en conjunto. Una vez alcanzado el límite de almacenaje en el depósito interno del robot recolector, el operador dirige el dispositivo a la zona de descarga y activa mediante el control remoto la rotación de las aspas en 90° por cada residuo para depositar los desechos en el punto de acopio.

### Caracterización del motor del mecanismo de recolección

Mediante la herramienta “ident” del software de MathWorks de MATLAB® [14], se calculó la función de transferencia del motor que manipula las aspas de recolección del robot. Como dato de entrada para la función de transferencia se tomó el voltaje de alimentación con intervalos de 500 mV y como valor de salida las revoluciones por minuto del motor. Como se muestra en la Figura 1.

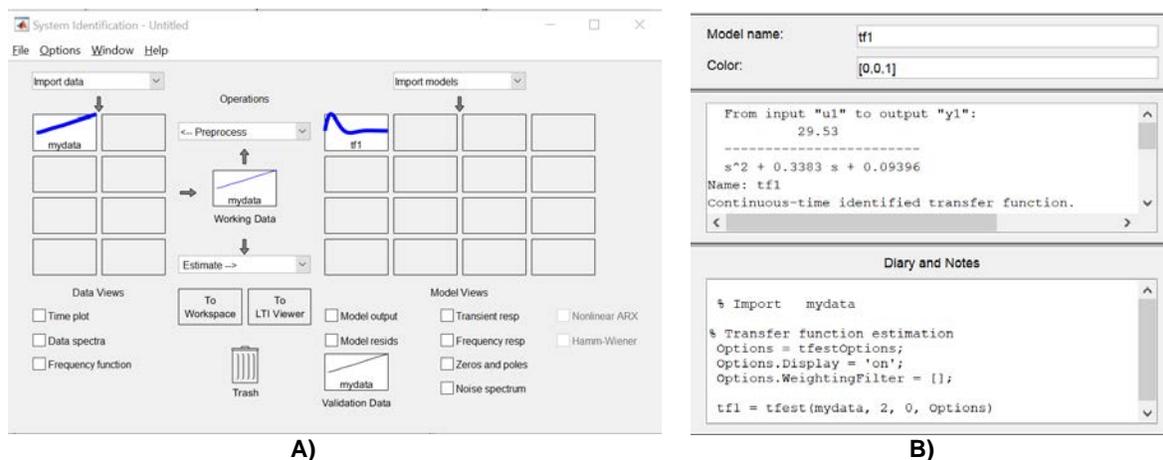


Figura 1. A) Función “ident”. B) Cálculo de la función de transferencia del motor de recolección

Una vez obtenida la función de transferencia (Ecuación 1) se ha simulado en el entorno simulink, para realizar el cálculo de las constantes proporcional e integrativa(integral), utilizadas para la calibración del punto de ajuste en el algoritmo de control.

$$H(s) = \frac{29.53}{s^2 + 0.3383s + 0.09396} \quad (1)$$

La biblioteca PID\_V1.h [15] ofrece las funciones para establecer los valores de las constantes proporcional e integral, y con ellas controlar el ancho de pulso de la salida PWM (Pulse Width

Modulation) del microcontrolador activando de manera proporcional el motor de las aspas del sistema de recolección. Los valores calculados son  $K_i=2.2$  y  $K_p= 1$ . Se han utilizado dos interrupciones externas conectada al sensor enconder de cuadratura para contabilizar los pulsos y mediante ello calcular la posición de las aspas, logrando ajustar su nivel de acuerdo con el punto de referencia configurado. En la Figura 2 se presenta el control del mecanismo de recolección.

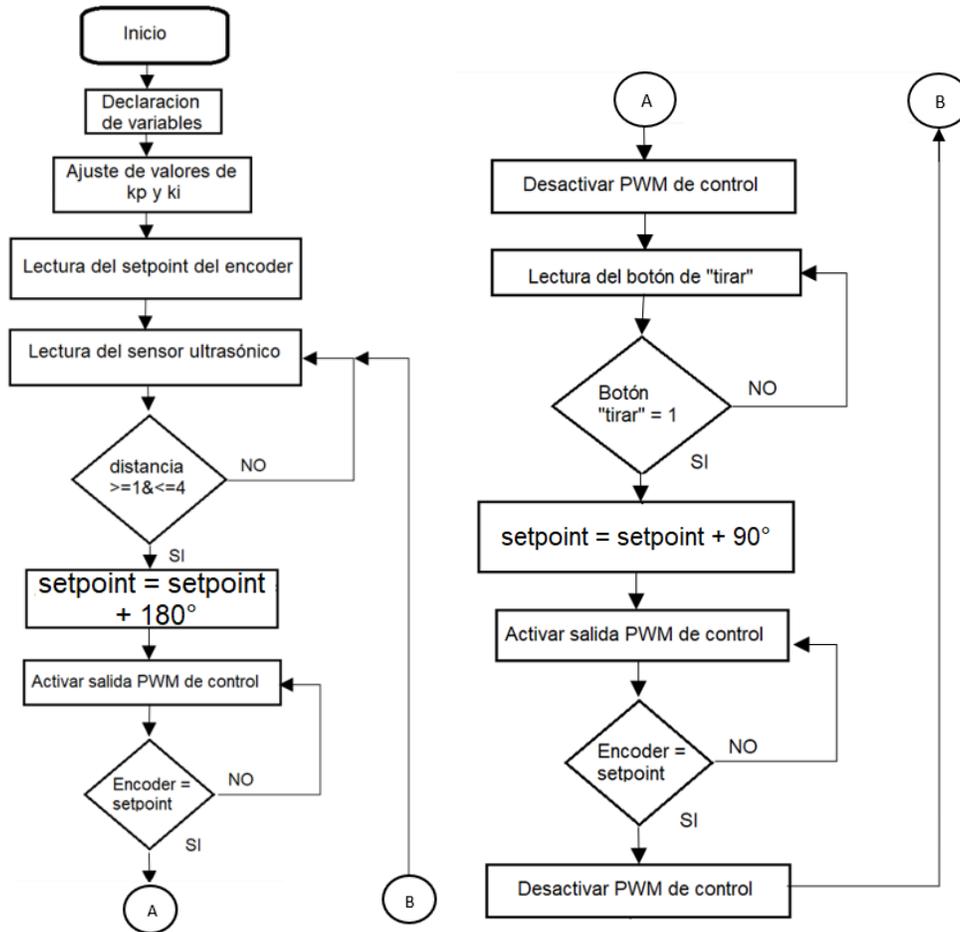


Figura 2. Diagrama de flujo del control del mecanismo de recolección

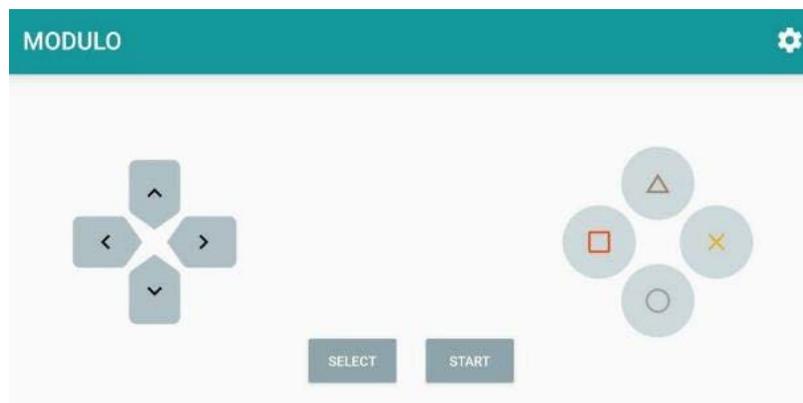
### Diseño del dispositivo móvil

El robot recolector de residuos sólidos en playas fue montado sobre un chasis T-REX [16] tipo tanque con orugas para tracción en la arena, este cuenta con dos motores DC que permiten el movimiento del dispositivo. Los motores son controlados por un microcontrolador ATMEGA y una etapa de potencia L298.



**Figura 3. Chasis T-REX.**

El microcontrolador se conecta a un módulo bluetooth HC-06, con el cual recibe las instrucciones a ejecutar desde un teléfono inteligente mediante la aplicación Bluetooth controller®, desarrollada por XDA-Developers, adquirida desde la plataforma de distribución digital de aplicaciones móviles para los dispositivos con sistema operativo Android, Google Play. Bluetooth controller® envía diferentes variables tipo cadena para controlar el movimiento del robot y el mecanismo de recolección.



**Figura 4. Interfaz del controlador bluetooth**

### Diseño del algoritmo de control de movimiento

El desplazamiento del robot recolector es controlado por el usuario desde un teléfono inteligente conectado vía Bluetooth al microcontrolador ATMEGA que manipula los motores de las orugas. Es mediante el envío de diferentes letras desde Bluetooth controller como se establecen las instrucciones a ejecutar en el algoritmo de movimiento. Las instrucciones de desplazamiento se representan en la Tabla 1, la Figura 5 expone la máquina de estados del movimiento del robot.

**Tabla 1. Variables transmitidas por bluetooth para el control del dispositivo móvil**

Variable string	Código hexadecimal	Acción
A	41	Adelante
R	52	Reversa
i	69	Giro Izquierda
D	44	Giro Derecho
S	53	Parar
T	54	Tirar

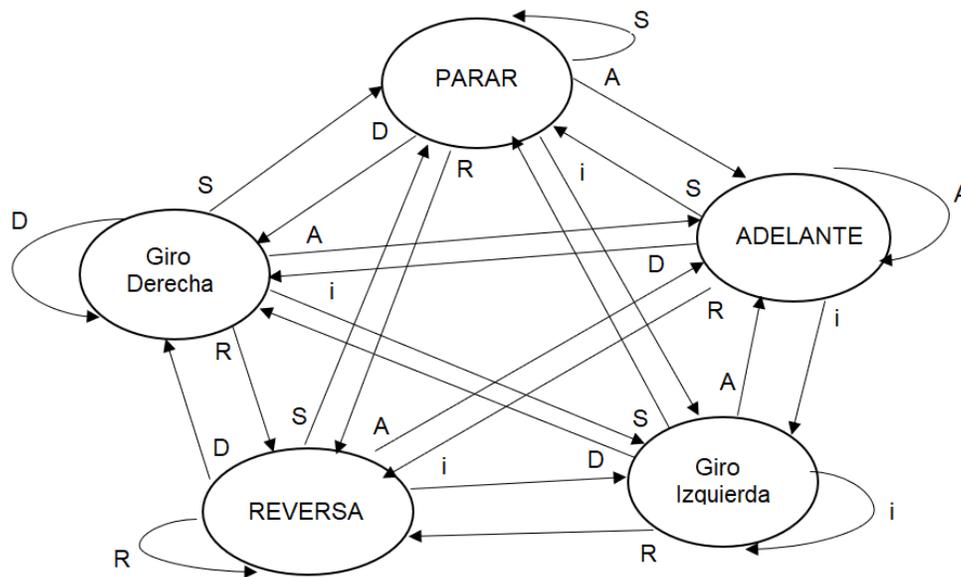


Figura 5. Máquina de estados del movimiento del robot.

## Resultados y discusión

### Ensamblaje robot recolector de residuos sólidos en playas

En la parte frontal del chasis es colocada la batería que alimenta los motores, creando un contra peso evitando con ello el ingreso de arena dentro del robot al avanzar, adicionalmente se realizaron tres aberturas en la base del depósito de residuos, debajo de las aspas. Los microcontroladores están ubicados en la parte trasera del mecanismo de recolección, las etapas de control se encuentran energizadas por una batería de 9V. El robot recolector ensamblado se muestra en la Figura 6.

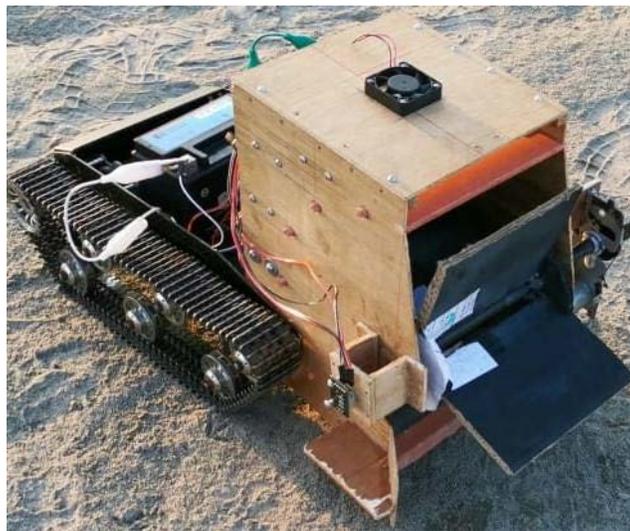


Figura 6. Robot recolector de residuos sólidos en playas

## Verificación del desempeño del robot recolector de residuos sólidos

Se ha verificado el desempeño del robot recolector de residuos sólidos en un campo de pruebas [13] dentro de una playa como se muestra en la Figura 7. Se ha logrado la correcta recolección de tres objetos sólidos de  $135 \text{ cm}^3$ ,  $110 \text{ cm}^3$  y  $180 \text{ cm}^3$  con un peso de 1100 gramos en conjunto, en un tiempo de 7 minutos.

El campo de prueba es un área 12 m por 6 m rodeada por una franja azul de seguridad de medio metro, dentro del área de prueba se colocaron una toalla de playa, una silla plegable y una sombrilla como obstáculos, asimismo se encuentra un círculo rojo, el cual emula el área de almacenamiento de los desechos sólidos, donde son descargados los residuos recolectados por el robot.

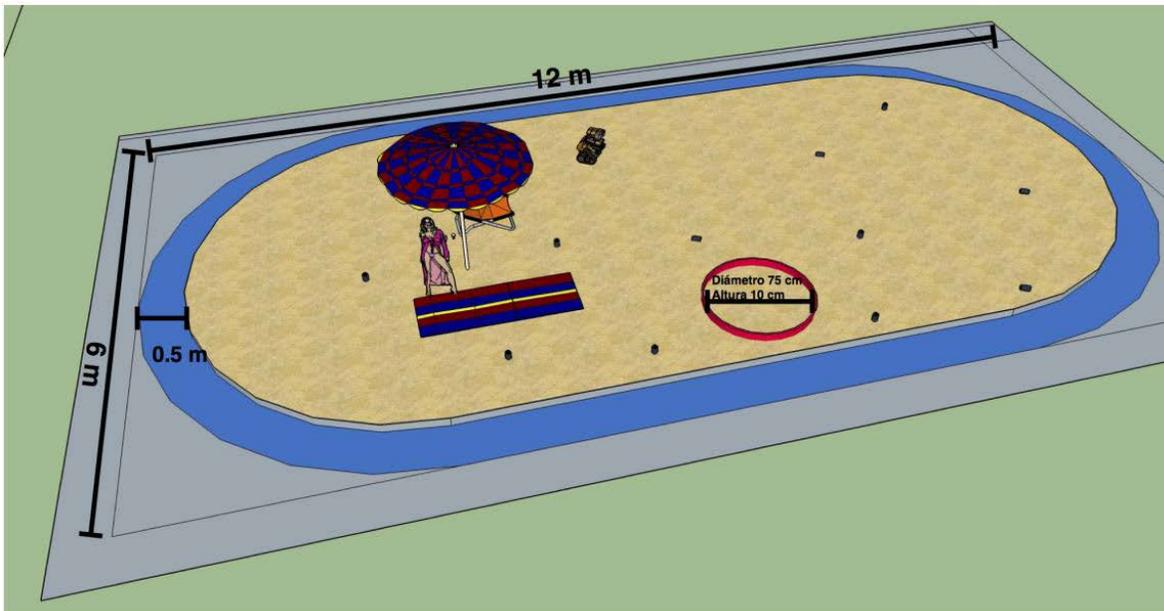


Figura 7. Arenero como campo de pruebas [13].

## Conclusiones

En este trabajo se diseñó e implementó un robot móvil para la recolección de residuos sólidos en playas. El prototipo propuesto cuenta con dos dispositivos, uno para el control del robot y el otro para el sistema de recolección el cual es capaz de recolectar 3 residuos en 7 minutos de manera independiente. El prototipo es alimentado con una fuente de 12 volts y tiene una autonomía de 60 minutos. La interfaz gráfica implementada en el dispositivo inteligente es de fácil acceso y simple para el usuario final.

Como trabajo futuro se propone aumentar la eficiencia del movimiento del robot en arena con un chasis que genere mayor tracción, también se plantea el expandir el compartimento de carga del dispositivo para poder recolectar más residuos antes de tener que regresar a depositarlos y realizar la detección de los residuos por procesamiento de imagen para obtener un funcionamiento autónomo del dispositivo.

## Agradecimientos

Al CONACYT por el apoyo a través de la beca 733715 por el Programa educativo Maestría en Ingeniería Aplicada. A la Facultad de la Construcción y el Hábitat de la Universidad de Veracruz, México.

## Referencias

- [1] Botello, A. V. (2016). La contaminación marina y la urgencia de su legislación. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*.
- [2] IñIGUEZ, L. S., Corona, C. G. G., Pérez-López, R., RAMÍREZ, R. C., Mendoza, A. L., & Lizarraga-Arciniega, R. (2007). La gestión integral en playas turísticas: herramientas para la competitividad. *Gaceta ecológica*, (82), 77-83.
- [3] Agencia de protección ambiental de Estados Unidos, EPA (2018, jul 11). La importancia de la protección de las playas [Online]. Available: <https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-la-proteccion-de-las-playas>
- [4] IñIGUEZ, L. S., Corona, C. G. G., Miramontes, L. G., & Mendoza, A. L. (2007). El impacto de la actividad turística en la calidad bacteriológica del agua de mar. *Gaceta ecológica*, (82), 69-76.
- [5] Sánchez Domínguez, B. E. (2015). El género *Enterococcus* como contaminante en la zona intermareal en playas arenosas de Veracruz-Boca del Río.
- [6] Márquez-Guloso, E., & Rosado-Vega, J. R. (2011). Clasificación e impacto ambiental de los residuos sólidos generados en las playas de Riohacha, La Guajira, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (60), 118-128.
- [7] Mejía, E., & del Agua, C. (2008). Contaminación en playas causales y soluciones. *Comisión Nacional del Agua. México DF, México*.
- [8] Ocampo, M., & Santa Catarina, C. Plásticos en los océanos.
- [9] Sommer, M., & Fronteras, O. S. Océanos: la Concientización del Cambio Climático.
- [10] Quintero Jurado, A. F. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de robot recolector de basura automático para el uso interno de oficinas del departamento de gestión de desarrollo organizacional de la dirección general de registro civil identificación y cedula del Ecuador digercic-dgdo (Bachelor's thesis, Quito: Universidad Israel, 2015).
- [11] Dos Reis, J., PACHECO, L., León, J., Lezama, J., Diaz, D., & López, I. (2013). Robot autónomo de recolección de latas en arena.
- [12] Bueno, S. M. I., Martínez, E. C., Juan, A. E. H., Velasco, M. D. P. S., & Orona, J. P. (2013). Open IEEE: Robot Limpiador de Playas.
- [13] "System Identification Toolbox Documentation- MathWorks América Latina", *La.mathworks.com*, 2020. [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/help/ident/>. [Accessed: 01- Aug- 2020].
- [14] "Improving the Beginner's PID – Introduction « Project Blog", *Brettbeauregard.com*, 2020. [Online]. Available: <http://brettbeauregard.com/blog/2011/04/improving-the-beginners-pid-introduction/>. [Accessed: 01- Aug- 2020].
- [15] *Sandorobotics.com*, 2020. [Online]. Available: <https://sandorobotics.com/wp-content/uploads/2016/11/12719-01.jpg>. [Accessed: 10- Aug- 2020].
- [16] "Torneo mexicano de robótica 2019" (2020). [Online]. Available: [https://www.femexrobotica.org/tmr2019/wpcontent/uploads/2019/02/TMR\\_Reglas\\_Limpiadores\\_Playa\\_2019.pdf](https://www.femexrobotica.org/tmr2019/wpcontent/uploads/2019/02/TMR_Reglas_Limpiadores_Playa_2019.pdf) [Accessed: 01- Aug- 2020].