



Dispositivo para la clasificación de residuos sólidos y medición de huella ecológica

✉ **ÁNGELA MARÍA PACHECO APONTE^A**
IVÁN DARÍO PORRAS PIÑERES^B
DANIEL ALEJANDRO RODRÍGUEZ CARO^C

RESUMEN: La medición de la huella ecológica es importante dado que permite conocer el área productiva necesaria para regenerar los recursos naturales consumidos por el ser humano. El cálculo de este valor se facilita gracias a la clasificación de residuos sólidos, para identificar el impacto generado en el medioambiente según la categoría de cada residuo. Al considerar los avances tecnológicos en el área de la ingeniería electrónica, se plantea la pregunta de investigación: ¿Cómo medir la huella ecológica mediante la clasificación de residuos sólidos al usar un sistema de procesamiento de datos? Para esto, se plantean tres fases metodológicas: diseño del sistema electrónico y de software, pruebas de funcionamiento y, finalmente, demostración de la operación del dispositivo. Así, se obtuvo un dispositivo clasificador de residuos sólidos y medidor de huella ecológica, el cual utiliza bases de datos, sistemas embebidos e interfaces gráficas de fácil comprensión para los usuarios finales.

PALABRAS CLAVE: base de datos, huella ecológica, interfaz gráfica de usuario, procesamiento de datos, residuos sólidos, separación de desechos

CÓMO CITAR

Pacheco, A., Porras, I., & Rodríguez, D. (2021). Dispositivo para la clasificación de residuos sólidos y medición de huella ecológica. *Revista Habitus: Semilleros de Investigación*, 1(2), e12181. <https://doi.org/10.19053/22158391.12181>

RECIBIDO: 05/12/2020 • **EVALUADO:** 26/01/2021
APROBADO: 19/04/2021 • **PUBLICADO:** 12/06/2021



Autor para correspondencia.
angela.pacheco@usantoto.edu.co

^A Universidad Santo Tomás Tunja (Colombia).
<https://orcid.org/0000-0002-9255-729X>

^B <https://orcid.org/0000-0003-3923-5387>

^C <https://orcid.org/0000-0002-2153-2175>

HOW TO CITE

Pacheco, A., Porras, I., & Rodríguez, D. (2021). A device for the classification of solid waste and measurement of ecological footprints. *Revista Habitus: Semilleros de Investigación*, 1(2), e12181. <https://doi.org/10.19053/22158391.12181>

A device for the classification of solid waste and measurement of ecological footprints

ABSTRACT: Measuring an ecological footprint is important since it determines the productive area necessary to regenerate the natural resources consumed by human beings. The calculation of this value is facilitated in large part by the classification of solid waste in order to identify the impact generated on the environment according to the category of each waste. When considering technological advances in the area of electronic engineering, the research question arises: How can the ecological footprint be measured by classifying solid waste when using a data processing system? To answer this question, three methodological phases are proposed: design of the electronic and software system, functional tests, and demonstration of the operation of the device. Thus, a device for classifying solid waste and measuring ecological footprints was obtained which uses databases, embedded systems, and graphical interfaces that are easy to understand for end users.

KEYWORDS: database, ecological footprint, graphical user interface, data processing, solid waste, waste separation

Dispositivo para a classificação de resíduos sólidos e medição de pegada ecológica

RESUMO: A medição da pegada ecológica é importante já que permite conhecer a área produtiva necessária para regenerar os recursos naturais consumidos pelo ser humano. O cálculo deste valor facilita-se graças à classificação de resíduos sólidos, para identificar o impacto gerado no meio ambiente segundo a categoria de cada resíduo. Ao considerar os avanços tecnológicos na área da engenharia eletrônica, plantea-se a pergunta de pesquisa: Como medir a pegada ecológica mediante a classificação de resíduos sólidos ao usar um sistema de processamento de dados? Para isto, planteiam-se três fases metodológicas: desenho do sistema eletrônico e de software, provas de funcionamento e, finalmente, demonstração da operação do dispositivo. Assim, obteve-se um dispositivo classificador de resíduos sólidos e medidor de pegada ecológica, o qual utiliza bases de dados, sistemas embebidos e interfaces gráficas de fácil compreensão para os usuários finais.

PALAVRAS-CHAVE: base de dados, pegada ecológica, interface gráfica de usuário, processamento de dados, resíduos sólidos, separação de lixo

En la actualidad, el manejo y la clasificación de los residuos sólidos es uno de los retos más grandes que enfrenta la humanidad (Balaguer, 2002). Se entiende por *residuo sólido* el material considerado como desecho en las actividades humanas y que no representa utilidad. Los residuos sólidos pueden afectar el medio ambiente y contaminar todo sistema ecológico (Uriza, 2016). A su vez, el Ministerio de Industria y Comercio de Colombia en 2018 añadió que los residuos sólidos se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Dichos residuos carecen de un valor económico (Rivas, 2018).

La sociedad de consumo ha exigido a la humanidad el incremento desmedido en la adquisición de nuevos productos, que inciden directamente en el aumento de la producción de residuos sólidos para depositar en rellenos sanitarios (Angarita, 2009). La anterior idea es reforzada por Sonu *et al.* (2011), quien establece que la constante necesidad de adquisición de nuevos productos se convierte en un aumento de la producción de residuos sólidos, que terminan depositados en rellenos sanitarios, lo que ocasiona la reducción de su vida útil y disminuye la capacidad ecológica que tiene la tierra para regenerar los recursos naturales. A esto último se le conoce como *huella ecológica* y es una herramienta para representar la cantidad de área de tierra productiva que se necesita para regenerar el recurso que consume la población humana.

La situación mencionada se complica, puesto que no se evidencia de forma estructurada una cultura ecoamigable al clasificar de manera correcta los residuos sólidos, sino que se presenta un aumento de estos. Según Silpa *et al.* (2018), en el informe *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*, publicado en 2018, América Latina y el Caribe generaron 231 millones de toneladas de residuos en 2016, con un promedio de 0,99 kg per cápita por día. Del total de residuos producidos, tan solo el 4,6 % es reciclado, cifra que representa un nivel bajo en cuanto al aprovechamiento y correcta disposición de los residuos.

Además, según lo mencionado por Lebreton y Andrady (2019), se espera que en 2025 la población urbana mundial genere hasta más de 6 millones de toneladas de residuos sólidos por día, mientras que el lento crecimiento de las tasas de reciclaje y el auge en los materiales de un único uso solo exacerban esta situación. Asimismo, el panorama mundial no es muy alentador. Según la revista *Nature* en su artículo "Circular economy: Lessons from China" (Mathews & Tan, 2016), el uso de los recursos de ese país es ineficiente, ya que usa 2.5 kg de material para aumentar en un dólar el producto interno bruto. Peor aún, en 2014 allá se generaron un total de



3.2 billones de toneladas de residuos sólidos, de los cuales solo 2 billones llegaron a una correcta disposición final —reciclaje, compostaje, incineración o reúso—.

En Colombia, se generan en promedio 0,54 kg/hab/día de residuos sólidos domésticos y 0,69 kg/hab/día de residuos sólidos urbanos (Banco Interamericano para el Desarrollo, 2015). Sin embargo, en 2020, Colombia es el segundo mejor país de la región en recolección de residuos sólidos, con un porcentaje de 98.6 % en comparación con Uruguay —98,2 %—, Chile —97,8 %— y Brasil —95,9 %—. Aunque el país es un referente en cuanto a materia de aprovechamiento, es necesario hacer un esfuerzo para completar la meta de los *Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030*, puesto que solo recicla el 10.6 % de lo que gasta (Vergel, 2020). La meta para el 2022 es reciclar el 12 % de los residuos sólidos generados; y para el 2030, el 17 % (Departamento Nacional de Planeación, 2020)

En Boyacá el panorama es preocupante. Según García (2017),

162 720 toneladas anuales de basura que se generan en los 123 municipios [y] solo se aprovechan 4 300. Esta cifra corresponde apenas al 2,6 %, muy inferior al promedio nacional que se ubica en el 17 % de acuerdo con datos del Departamento Nacional de Planeación.

Igualmente, según las cifras de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2019), en 2018 el departamento produjo en promedio 483,66 toneladas de desechos sólidos diarios. Esto significa que la cantidad de residuos sólidos diarios producidos por una persona en el departamento es de 425,87 g —tomando como población un total de 1 135 698 habitantes, según el censo del DANE (2018)—.

La ciudad de Tunja —capital del departamento de Boyacá— no es ajena a esta tendencia mundial y local, puesto que en 2017 se registró una producción por día de 127,5 toneladas de residuos sólidos (García, 2017). Fue el municipio con mayor producción de desechos de los 123 del departamento. Además, según el *Reporte para el control social del servicio público* —con corte el 31 de diciembre del 2019—, la producción promedio de residuos sólidos fue de 4219,24 toneladas (ServiTunja, 2019).

Teniendo en cuenta la relevancia de estas cifras y debido a la falta de información o posible ignorancia en cuanto a los problemas ambientales en relación con la correcta clasificación de los residuos sólidos, se identifica la necesidad de plantear soluciones para mitigar esta problemática. Una de las principales soluciones es el *reciclaje*, que consiste en someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar (Real Academia Española, s. f.). Para que este proceso sea un éxito, aparte de ser

necesarias campañas de educación y de concienciación, desde la ingeniería es importante contribuir con este método. Bien lo dice Rey (2019): “Es fundamental llevar el reciclaje más allá y dar pasos hacia un futuro donde la innovación y la tecnología estén al servicio de ese ciudadano reciclador” (p. 13).

Ya que una de las primeras etapas del proceso de reciclaje consiste en la separación de los desechos (Ordóñez, 2012), desde la ingeniería electrónica surge la iniciativa de diseñar e implementar un dispositivo capaz de clasificar residuos sólidos —según el tipo de material: cartón y papel, plásticos, vidrio, orgánicos, residuos metálicos, madera y ordinarios (Icontec, 2009)—, que a su vez mida la huella ecológica generada por dichos residuos, con el fin de contribuir al mejoramiento de la problemática planteada, para aportar al medio ambiente y llevar un registro del impacto ambiental que estos residuos generan.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en conjunto con el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, mediante la Resolución No. 2184 de 2019, establecieron un código de colores unificado para la separación de residuos en la fuente, que deberá adoptarse en todo el territorio nacional a partir del primero de enero de 2021. El código de colores blanco, negro y verde para la separación de residuos en la fuente funciona de la siguiente manera:

- color blanco: para depositar los residuos aprovechables como plástico, vidrio, metales, papel y cartón.
- color negro: para depositar residuos no aprovechables como el papel higiénico; servilletas, papeles y cartones contaminados con comida; papeles metalizados, entre otros.
- color verde: para depositar residuos orgánicos aprovechables como los restos de comida, desechos agrícolas, etc.

Otro motivo por el cual es necesario un método de clasificación es la falta de educación y de concienciación en cuanto a la cultura del reciclaje, esto debido al ver cómo los estudiantes de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja realizan este proceso. A pesar de que en los diferentes espacios de la universidad hay canecas para depositar residuos según el material —papel y cartón, plástico y orgánicos—, como se observa en las figuras 1, 2 y 3, los estudiantes no muestran interés en llevar a cabo este proceso de la mejor forma posible. Se han visto casos en los cuales en el cesto destinado para depositar plástico hay otros tipos de desechos como cajas de jugo —que deberían ir en el depósito para cartón— y sobras de manzana —desecho cuya categoría de clasificación corresponde al depósito de orgánicos— (figura 4).



Figura 1

Depósitos de basura ubicados en el tercer piso del edificio Fray Giordano Bruno en el campus de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja



Figura 2

Depósitos de basura ubicados en el sendero que conduce del edificio Fray Giordano Bruno al edificio Santo Domingo de Guzmán en el campus de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja



Figura 3

Depósitos de basura ubicados en el edificio Santo Domingo de Guzmán en el campus de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja



Figura 4

Muestra de la incorrecta clasificación de los residuos sólidos que los estudiantes de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, están realizando



En la búsqueda de trabajos donde se clasifiquen residuos sólidos con ayuda de herramientas tecnológicas, se resalta la investigación de un sistema de separación de los tipos de residuos sólidos con el uso de banda transportadora. La primera etapa es la zona de inspección, en donde, gracias a cámaras termográficas, se pueden tomar imágenes para clasificar el tipo de objetos y su posición en el espacio. Una segunda etapa es la zona de manipulación, donde se usa un robot de seis grados de libertad, para así, con la información brindada en la etapa anterior, realizar el algoritmo que planteo la trayectoria de movimientos para recolectar adecuadamente cada uno de los desechos sólidos analizados. De esta forma, el proceso de clasificación es de una alta precisión, análisis y velocidad (Paulraj *et al.*, 2020). Este trabajo sirve como soporte para el sistema planteado en este artículo, ya que se requieren reducir costos y que el sistema sea más intuitivo para cualquier persona que desee realizar una correcta clasificación de los residuos generados en el entorno. Esta es una estrategia viable para mejorar la sostenibilidad del manejo de los residuos sólidos (Yu & Li, 2020).

Por otro lado, el sistema diseñado por Huang y Bian consiste en realizar un estudio de color, forma y dimensiones a través del uso de sensores ópticos. Además, se incluye el uso de sensores mecánicos controlados por computadora con los cuales se realiza la separación de los residuos (Huang *et al.*, 2010).

Finalmente, Siddappaji *et al.* (2016) describen el funcionamiento de un método de segregación mediante separación magnética, corrientes de Eddy, clasificación por aire y separación por humedad, con el cual se separan elementos de tipo férrico, no férrico, plásticos, vidrios y desechos orgánicos (Richard, 1992)



Metodología

Material

Para la realización del proyecto se utilizaron los siguientes materiales:

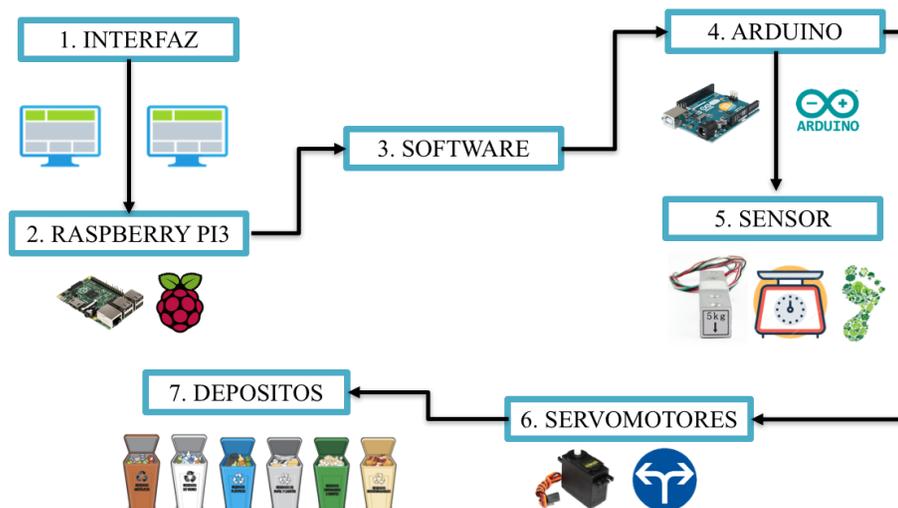
- Arduino UNO.
- Raspberry pi 3 Model B.
- Micro SD 32Gb SanDisk.
- Raspberry Pi LCD-7" Touchscreen.
- Soporte SmartPi Touch.
- 6 servomotores SG-5010.
- Celda de carga de 5 kg.
- Jumpers macho hembra.
- Adafruit Servo Shield 16 channels 12-bits.
- Fuente de alimentación 12 V/10 Amp.
- Estructura metálica para el clasificador.

Fases del desarrollo del proyecto

Fase 1: diseño del sistema electrónico y de software. En la figura 5 se observa el diagrama de bloques diseñado para el proyecto, en donde se muestran las características de funcionamiento y de operación del equipo clasificador de residuos sólidos y del medidor de huella ecológica.

Figura 5

Diagrama de bloques del equipo



Respecto a la sección del *software*, la programación fue diseñada en el lenguaje de programación Python 3 y se usó la *librería* encargada de la creación de interfaces en Python, la cual recibe el nombre de *tkinter*. Para que el usuario pueda utilizar el dispositivo, se crean tres interfaces: en la primera, se enseña la correcta clasificación de los residuos sólidos según el tipo de material y la categoría a la cual pertenece, pues se busca enseñar de forma didáctica la correcta clasificación de los residuos depositados; en la segunda, el usuario puede observar la cantidad de desechos —por peso en gramos— que se han depositado al separarlos por categoría, de tal forma que se identifique el monto de residuos que se han desperdiciado y aquellos que pueden ser reciclados; la tercera interfaz permite cerrar el programa principal y apagar el equipo.

Para la correcta clasificación de residuos sólidos por categorías, es necesario crear una base de datos con registros de 100 residuos sólidos, junto con la categoría a la cual pertenecen —cartón y papel, plásticos, vidrio, orgánicos, residuos metálicos, madera y ordinarios—. El sistema empleado para que el dispositivo funcione es manual, de tal forma que, al momento de depositar el residuo en el equipo y seleccionar el nombre de lo que se ha botado, el sistema verifique la categoría a la cual pertenece el desecho y lo clasifique correctamente. Paralelo a este proceso, en la base de datos se irá almacenando el peso de los residuos y se organizará este dato por categoría.

Una vez realizada la programación del equipo, se continúa con el *hardware*. Para su diseño, se usaron dos microcontroladores conectados entre sí mediante comunicación serial mediada por protocolo RS232: la Raspberry pi 3 Model B, en donde se encuentran las 3 interfaces descritas antes para que el usuario pueda manipular el equipo; y el Arduino UNO, encargado del control de los servomotores y lectura del dato de la celda de carga para registrar el peso del residuo depositado —dato que será enviado a la Raspberry para su almacenamiento en la base de datos—.

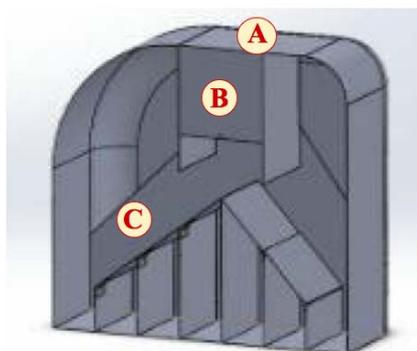
Con respecto a la estructura metálica del clasificador —en la cual se hace la instalación del *hardware* para su funcionamiento—, se creó un modelo para una estructura de latón (figura 6), que tiene de largo 1 m, de ancho 0,5 m y de alto 1,2 m. Este modelo tiene 3 secciones: A, B y C. La sección A se destinó como compuerta de depósito del residuo en cuestión. Además, allí está la pantalla táctil con la interfaz gráfica con la cual el usuario interactúa. En la sección B está el compartimento de depósito del residuo sólido, donde hay una celda de carga con la cual se registra el peso del elemento en cuestión. Por último, en la sección C están los siete compartimentos, de los cuales cinco cuentan con un sistema de apertura y cierre controlado mediante



servomotores. Los dos restantes, debido a la construcción del dispositivo, no requieren de compuerta, ya que están a los extremos de la sección inclinada.

Figura 6

Estructura metálica diseñada para el clasificador de residuos



Fase 2: prueba de funcionamiento del sistema. En esta fase se calibró la celda de carga mediante pesos conocidos, por ejemplo, una botella plástica de agua que pesa 10 g. Se ensayaron cada uno de los servomotores encargados de abrir y cerrar las compuertas de los depósitos mediante un programa de testeo, en el cual se utilizan valores de ángulos con los que se abre y se cierra correctamente la compuerta. Se verificó la correcta conexión de comunicación serial entre el Arduino UNO y la Raspberry pi 3 a través del envío y recepción de diferentes caracteres y, finalmente, el correcto funcionamiento de la interfaz, de tal forma que, al mostrar el dispositivo al público, funcione de manera apropiada.

Fase 3: muestra del proyecto. Como última fase, se expuso el prototipo a la comunidad en general, tanto a los estudiantes de la Universidad Santo Tomás, como en muestras de proyectos llevadas a cabo por la Facultad de Ingeniería Electrónica a estudiantes de colegio. Se observó la interacción usuario-dispositivo para determinar si el equipo cumplió con el objetivo para el cual fue diseñado.

Resultados

Diseño y creación de la base de datos

Para el diseño de la base de datos, se utilizó el sistema de gestión de base de datos MySQLite, en el cual se creó una tabla con tres columnas —residuo, tipo y factor de multiplicación—. Esta fue completada con un total de 100 diferentes residuos (tabla 1) y se especificó la categoría a la cual pertenecen, al igual que su factor de multiplicación —valor numérico necesario para

poder calcular la huella ecológica que cada desecho genera—. El modelo de esta tabla —para el caso de la categoría *papel*— se muestra en la figura 7.

Tabla 1

Cantidad de elementos –residuos– por tipo –categoría– registrados en la base de datos

Tipo –categoría–	Cantidad de elementos en la base de datos
Plástico	12
Metálico	5
Orgánico	63
Ordinario	10
Vidrio	2
Papel	6
Madera	2
Total	100

Figura 7

Modelo de la base de datos creada –ejemplo para la categoría “papel”–

Residuo	Tipo	Factor_de_multiplicación
Filter	papel	Filter
1 Caja de Carton	Papel	3.45e-05
2 Hoja de Papel	Papel	0.0009846
3 Papel Periódico	Papel	3.45e-05
4 Revista	Papel	0.0009846
5 Cuaderno	Papel	0.0009846
6 Sobre de Papel	Papel	3.45e-05

Diseño y creación de la interfaz

Figura 8

Interfaz del menú principal





En la figura 8 se observa el diseño para la interfaz del menú principal del clasificador. Hay tres botones. Cada uno permite el acceso a una ventana diferente. Al oprimir el botón “Depositar Residuo”, el usuario accede al programa en el cual aprenderá a hacer la correcta clasificación del residuo sólido que ha depositado en el equipo (figura 9). Al presionar el botón “Residuos Depositados”, el usuario puede observar el histórico de residuos sólidos que han sido depositados –por peso en gramos– (figura 10). Finalmente, con el botón “Administrador” (figura 11), se ingresa a la ventana que permite el cierre del programa y el correcto apagado del dispositivo.

Figura 9

Interfaz mostrada al oprimir el botón “Depositar Residuo”



En la figura 9 se muestra la interfaz diseñada para la función principal del dispositivo correspondiente a “Depositar Residuo”. Allí el usuario encuentra en la parte superior izquierda un indicador en forma de flecha orientada hacia la izquierda que permite regresar al menú principal. En el centro de esta interfaz, está el widget *listbox*, con el cual se puede navegar entre los cien residuos dispuestos en la base de datos. El usuario seleccionará el residuo que ha depositado. Luego dará clic en el botón “Depositar”. El sistema se dirigirá a la base de datos y buscará el nombre del residuo depositado. La categoría a la cual pertenece el resultado obtenido, según sea el caso –cartón y papel, plásticos, vidrio, orgánicos, residuos metálicos, madera y ordinarios– aparecerá en la franja amarilla junto al residuo seleccionado, que se mostrará en la franja roja. Además, en la franja verde se evidenciará el cálculo de la huella ecológica que el residuo está generando. Finalmente, en la franja azul se muestra su masa.

Al oprimir el botón “Residuos Depositados”, el usuario accede a una ventana en la cual se ve una gráfica con la cantidad de residuos depositados en relación con la categoría del tipo de material clasificado.

Figura 10

Interfaz mostrada al oprimir el botón “Residuos Depositados”

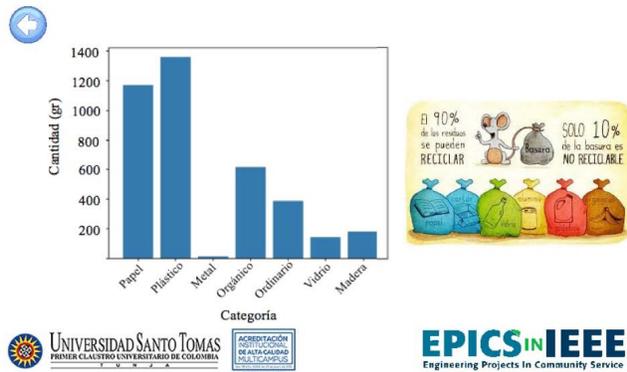


Figura 11

Interfaz mostrada al oprimir el botón “Administrador”



Como última interfaz está la de “Administrador” (figura 11). Se ve un teclado numérico con el cual se introduce la clave que permite salir del programa principal y acceder directamente al escritorio del sistema operativo Raspbian —propio de la Raspberry pi 3 Model B—, en donde es posible apagar de manera segura el dispositivo.

En la figura 12 se muestra la estructura metálica que se manufactura para la instalación del hardware. Se observa en la parte central superior la pantalla táctil, con la cual el usuario puede interactuar con el dispositivo. De igual forma, se ve la manija que abre la compuerta del compartimiento para depositar el residuo.

Prueba del correcto funcionamiento del equipo

El microcontrolador Arduino UNO conectado al *shield* para servomotores —Adafruit Servo Shield 16 channels 12-bits— es el encargado de la correcta



clasificación de los residuos sólidos. A través de comunicación serial, la Raspberry pi 3 envía una señal al Arduino UNO e indica cuál servomotor debe activarse para cambiar su ángulo, de tal forma que se abra la compuerta para depositar el desecho.

Figura 12

Estructura metálica del dispositivo



Muestra del proyecto

El dispositivo fue mostrado a los estudiantes del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, y en el evento organizado por la Facultad de Ingeniería Electrónica –Día de Muestra de Proyectos (figura 13)—, al cual asisten como invitados colegios de la ciudad de Tunja. El dispositivo ha obtenido una respuesta favorable por parte de los estudiantes interesados en el proyecto, quienes dicen que es una estrategia sobresaliente para adquirir un buen hábito del reciclaje a partir de la tecnología.

A pesar de que este proyecto aún está en la fase de prototipado, se logra generar una consciencia de cambio en las personas que interactúan con él. De tal manera, a través de un enfoque educativo, se asocian los residuos con su categoría respectiva y se muestran los datos de huella ecológica que el desecho depositado genera. A través de esto, los integrantes de la comunidad estudiantil comprenden la importancia de la correcta clasificación de residuos sólidos. Cabe resaltar que, mediante la muestra de este proyecto, se realiza un avance en el cumplimiento del objetivo del desarrollo sostenible número 12, el cual se refiere a *la producción y el consumo responsables*. Una de sus principales metas es llevar a cabo una correcta disposición final de

los residuos sólidos que generamos como humanos. Además, mediante la muestra de la huella ecológica generada por cada uno de los desechos, se crea un interés en la reducción por parte de los participantes en esta fase del dispositivo.

Figura 13

Exposición del clasificador de residuos sólidos



Conclusiones

Gracias al sistema embebido Raspberry Pi 3 Model B, se logró desarrollar un dispositivo clasificador de residuos sólidos y medidor de huella ecológica, que cuenta con un sistema mecánico y sensor de peso. Además, por medio del programa Python se creó una interfaz gráfica de usuario que permite el correcto funcionamiento y visualización de los datos del proceso de clasificación en el dispositivo. Como última anotación, para trabajos futuros se recomienda el uso de motores paso a paso para aumentar el torque y precisión del movimiento de las compuertas del clasificador.

Referencias

- Angarita, D. (2009). Programa interinstitucional para la separación y valorización de residuos sólidos aprovechables en la ciudad de Tunja. *In Vestigium Ire*, 2, 1-11.
- Balaguer, L. (2002). Las limitaciones de la restauración de la cubierta vegetal. *Ecosistemas*, 11(1), 1-11.
- Banco Interamericano para el Desarrollo. (2015). *Residuos Sólidos en América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Situaci%C3%B3n-de-la-gesti%C3%B3n-de-residuos-s%C3%B3lidos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Producción y consumo responsables*. <https://www.ods.gov.co/es/objetivos/produccion-y-consumo-responsables>
- García, B. (2017). *Boyacá se raja en el aprovechamiento de sus basuras*. <https://entreojos.co/ambiente/conflictos/boyaca-se-raja-en-el-aprovechamiento-de-sus-basuras>



- Huang, J., Pretz, T., & Bian, Z. (2010, 16-18 de octubre). *Intelligent solid waste processing using optical sensor-based sorting technology* [Conferencia]. Proceedings - 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing, Yantai, China. <https://doi.org/10.1109/CISP.2010.5647729>
- Icontec. (2009). *Norma técnica colombiana GTC 24: Gestión ambiental. Residuos Sólidos y guía para la separación en la fuente*. Icontec. http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC_24_DE_2009.pdf
- Lebreton, L., & Andrady, A. (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, 5(1), 1-11. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2019). *Disposición final de residuos sólidos*. DNP. https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_nacional_disposicion_final_2019.pdf
- Mathews, J., & Tan, H. (2016). Circular economy: Lessons from China. *Nature*, 537, 440-442. <https://doi.org/10.1038/531440a>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Gobierno unifica el código de colores para la separación de residuos en la fuente a nivel nacional*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4595-gobierno-unifica-el-codigo-de-colores-para-la-separacion-de-residuos-en-la-fuente-a-nivel-nacional>
- Ordóñez, J. (2012). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado para la clasificación de Residuos Sólidos Urbanos* [Tesis profesional, Universidad de las Américas Puebla]. Bibliotecas UDLAP. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/hernandez_o_jm/
- Paulraj, S., Shukla, R., Gupta, R., Hait, S., & Thakur, A. (2020). Optimal Sequence Planning for Robotic Sorting of Recyclables from Source-segregated Municipal Solid Waste. *ASME*, 27(1), 014502. <https://doi.org/10.1115/1.4047485>
- Real Academia Española. (s. f.). Reciclar. En *Diccionario de la Real Academia Española*. https://dle.rae.es/reciclar?m=30_2
- Rey, N. (2019). El reciclaje de envases, reflejo de una sociedad cada vez más comprometida. *Retema*, 214, 12-13. <https://issuu.com/r.retema/docs/retema214>
- Richard, T. (1992). Municipal solid waste composting: Physical and biological processing. *Biomass and Bioenergy*, 3(3-4), 163-180. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(92\)90024-K](https://doi.org/10.1016/0961-9534(92)90024-K)
- Rivas, C. (2018). *Piensa un minuto antes de actuar: gestión integral de residuos sólidos*. <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>
- ServiTunja. (2019). *SERVIGENERALES S.A. E.S.P. TUNJA, Conforme a lo estipulado en el artículo 1.3.4.6 de la Resolución CRA 151 de 2001, emitida por la Comisión Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, realiza la siguiente publicación con el fin de permitir el Control Social del Servicio Público Domiciliario de Aseo. La información reportada se toma al corte del 31 de diciembre de 2019*. https://alcaldiatunja.micolombiadigital.gov.co/sites/alcaldiatunja/content/files/000756/37769_2020_30mar_control_social_servigenerales_2019.pdf
- Siddappaji, K., Sujatha, K., & Radha, R. (2016, 24-26 de febrero). *Technologies for segregation and management of solid waste: A review* [Conferencia]. 1st International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS). Pudukkottai, India. <https://doi.org/10.1109/ICETETS.2016.7603046>
- Silpa, K., Lisa, Y., Perinaz, B., & Frank, V. (2018). *What A Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Open Knowledge Repository. <https://olc.worldbank.org/system/files/What%20a%20Waste%202.0%20Overview.pdf>
- Sonu, G., Binod, P., & Sonika, G. (2011). Ecological footprint: a tool for measuring sustainable development. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(1), 140-144.
- Uriza, N. (2016). *Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en el sector urbano de la ciudad de Tunja y propuesta de sensibilización para su separación en la fuente* [Tesis de Maestría, Universidad de Manizales]. Repositorio Institucional Universidad de Manizales. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2790>
- Vergel, J. (2020). *Tratamiento de residuos sólidos en el marco de la emergencia por COVID-19*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-07/presentacion-residuos-solidos.pdf>

Yu, Q., & Li, H. (2020). Moderate separation of household kitchen waste towards global optimization of municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123330. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123330>