

ENFOQUE PARA EL MANEJO DE RESIDUOS NO PELIGROSOS APROVECHABLES, EMPLEANDO UNA ESTACIÓN ECOLÓGICA

César Rodrigo Malaver-Flor¹, Ricardo José Trullo-Guerrero²,
Julián A. Caicedo-Muñoz³, Julio Andrés Mosquera-Bolaños³

¹ Joven investigador del Grupo de Investigación en Tecnología y Ambiente (GITA).

Correo electrónico: cesarmalaver@uni-autonoma.edu.co

² Estudiante de Ingeniería Electrónica

³ Profesor-investigador del Grupo de Investigación en Tecnología y Ambiente (GITA)
Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia

Recibido: 10 de abril del 2016

Aprobado: 15 de julio del 2016

Cómo citar este artículo: C. R. Malaver-Flor, R. J. Trullo-Guerrero, J. A. Caicedo-Muñoz, J. A. Mosquera-Bolaños, "Enfoque para el manejo de residuos no peligrosos aprovechables empleando una estación ecológica", *Ingeniería Solidaria*, vol. 12, no. 20, pp. 107-120, oct. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v12i20.1547>

Resumen. *Introducción:* este artículo es producto del proyecto de investigación "Estación ecológica con base en energías renovables", desarrollado actualmente por el Grupo de Investigación en Tecnología y Ambiente (GITA) de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y financiado por el Proyecto Red de Formación de Talento Humano para la Innovación Social y Productiva en el departamento del Cauca (InnovAcción Cauca), por un periodo de un año (de septiembre del 2015 al 2016, del mismo mes). *Metodología:* se realiza una revisión de la literatura en relación con el manejo de residuos no peligrosos aprovechables (RNPA), presentando las tendencias tecnológicas y estrategias de manejo. Adicionalmente, se realiza una comparativa con base en los objetivos de la educación ambiental y se presentan las principales brechas y vacíos en el proceso de manejo de los RNPA. *Resultados:* la arquitectura de una estación ecológica-amigable (eco-estación) como estrategia pedagógica, donde se integran distintas formas de aprendizaje en el manejo de RNPA para su etapa de recolección. *Conclusiones:* los sistemas de detección de materiales, de interacción de usuario, de selección de residuos y de alimentación energética renovable en el interior de la eco-estación dinamizan el proceso de aprendizaje en el manejo y recolección en la fuente de RNPA.

Palabras clave: eco-estación, energías renovables, mecanismo de interacción, mecanismo de reconocimiento, residuos no peligrosos aprovechables.



APPROACH FOR THE HANDLING OF NON-HAZARDOUS USABLE RESIDUES USING AN ECOLOGICAL STATION

Abstract. *Introduction:* This article is the result of the research project “Ecological Station based on renewable energies” currently developed by the Research Group on Technology and Environment (GITA) of the Corporación Universitaria Autónoma del Cauca and funded by the Human Talent Education Network Project for Social and Productive Innovation in the department of Cauca (InnovAcción Cauca), for a period of one year (September 2015 to 2016, the same month). *Methodology:* A review of the literature regarding the management of usable non-hazardous waste (RNPA) is made, and includes technological trends and management strategies. Additionally, a comparison is made based on the objectives of environmental education and major gaps and voids present when handling RNPA. *Results:* the architecture of an eco-friendly station (eco-station) as a pedagogical strategy, which integrates different forms of learning into the management RNPA during the collection stage. *Conclusions:* material detection systems, user interaction, selection of waste and renewable energy supply within the eco-station streamline the learning process in the management and collection of RNPA at the source.

Keywords: eco-station, renewable energies, interaction mechanism, recognition mechanism, usable non-hazardous waste.

ENFOQUE PARA O MANEJO DE RESÍDUOS NÃO PERIGOSOS APROVEITÁVEIS, EMPREGANDO UMA ESTAÇÃO ECOLÓGICA

Resumo. *Introdução:* este artigo é o resultado do projeto de investigação “Estação ecológica com base em energias renováveis”, desenvolvido atualmente pelo Grupo de Investigação em Tecnologia e Ambiente (GITA) da Corporação Universitária Autónoma do Cauca e financiado pelo Projeto Rede de Formação de Talento Humano para a Inovação Social e Produtiva no departamento do Cauca (Inovação Cauca), por um período de um ano (de setembro de 2015 a 2016, do mesmo mês). *Metodologia:* é feita uma revisão da literatura no que tange o manejo de resíduos não perigosos aproveitáveis (RNPA), apresentando as tendências tecnológicas e estratégias de manejo. Adicionalmente, realiza-se uma comparação baseada nos objetivos da educação ambiental e apresentam-se os principais gaps e vazios no processo de manejo dos RNPA. *Resultados:* a arquitetura de uma estação ecológica-amigável (eco-estação) como estratégia pedagógica, onde se integram diversas formas de aprendizagem no manejo de RNPA para sua fase de coleta. *Conclusões:* os sistemas de detecção de materiais, de interação de usuário, de seleção de resíduos e de alimentação energética renovável no interior da eco-estação dinamizam o processo de aprendizado no manejo e coleta na fonte de RNPA.

Palavras chave: eco-estação, energias renováveis, mecanismo de interação, mecanismo de reconhecimento, resíduos não perigosos aproveitáveis.

1. Introducción

Los residuos sólidos suponen un problema o una oportunidad para cualquier comunidad. En consecuencia, un conjunto de estrategias de gestión efectivas debe aplicarse al manejo de residuos con el fin de minimizar los costos operativos y de administración. De igual manera, la conservación de los activos ambientales como ríos, bosques, fauna, entre otros, es de vital importancia al diseñar estrategias y llevar a cabo estudios para su preservación.

García Jiménez y Blanco Briseño [1] proponen un modelo de recolección de residuos sólidos, en específico plásticos y latas, a través de una *vending machine*, en alianza con el sistema de transporte masivo de Bogotá. La propuesta abarca un estudio demográfico para identificar cuántos ciudadanos estarían dispuestos a participar en el desarrollo del modelo y qué esperan recibir a cambio. De igual manera, existen trabajos como [2] y [3] que estudian el manejo de residuos sólidos que, a diferencia de [1], emplean un modelo de recolección de residuos manual.

Si bien los esfuerzos en temas de implementación de estrategias de recolección y separación en la fuente son considerables, es necesaria la integración de sistemas pedagógicos orientados a la enseñanza y el fortalecimiento de la educación ambiental. En este sentido, el seminario internacional de educación ambiental celebrado en Belgrado, Yugoslavia [4] presentó temas referentes a la protección del medio ambiente mediante la inclusión de

la educación ambiental como elemento clave en el proceso. La tabla 1 expone los objetivos que la educación ambiental debe alcanzar.

En el ámbito nacional, Colombia, atendiendo el llamado de la Organización de Naciones Unidas (ONU), ha desarrollado su propio plan de educación ambiental de la mano del Ministerio de Educación, en convenio con la Universidad Nacional de Colombia [5]. En dicho plan se destaca la necesidad de proporcionar instrumentos que permitan abrir espacios para la reflexión crítica, donde se desarrollen modelos que incorporen componentes de sostenibilidad (naturales y sociales) [5].

Sin embargo, desarrollar todas las competencias de la educación ambiental requiere conocimientos en pro de la modificación del entorno y de la relación conjunta de los distintos grupos sociales (instituciones educativas, entidades privadas y públicas), para que, a través de la coordinación de esfuerzos, se elaboren prácticas enmarcadas en el contexto de la educación ambiental. De ellos se destacan estudios sobre recuperación de cuencas hidrográficas, actividades agrícolas sostenibles, reforestación, manejo de bosques, conservación y uso sostenible de la biodiversidad [6]. En particular, el aprovechamiento de los RNPA necesita la implementación de estrategias iniciales de recolección y recuperación del material.

Japón es líder en el aprovechamiento de residuos, con una tasa del 77,9 % en el 2009 [7]; mientras que el país latinoamericano con mejor rendimiento es Brasil, con el 55,5 %. Lo anterior da indicios de

Tabla 1. Objetivos de la educación ambiental

Objetivos de la educación ambiental	Conciencia	Ayudar a adquirir una mayor sensibilidad y conciencia del medio ambiente en general y sus problemas conexos.
	Conocimientos	Ayudar a lograr una comprensión básica del medio ambiente en su totalidad, los problemas conexos y la responsabilidad que atañe a los seres humanos.
	Actitudes	Ayudar a adquirir valores sociales y un profundo interés por el medio ambiente, que impulse a participar activamente en su protección.
	Aptitudes	Ayudar a adquirir aptitudes necesarias para enfrentar problemas ambientales.
	Capacidad de evaluación	Ayudar a evaluar las medidas y los planes de educación ambiental.
	Participación	Ayudar a desarrollar sentido de responsabilidad y que se tome conciencia de la necesidad urgente de prestar atención a los problemas del medio ambiente.

Fuente: elaboración propia con base en [4]

una falencia en la separación en la fuente, que se considera un primer paso clave en el proceso de reciclaje [7].

Planes piloto como el presentado en [3] han lanzado una estrategia de separación en la fuente a través de la recolección selectiva de los RNPA, la cual contempla la inclusión económica y social de los recicladores de la ciudad. Adicionalmente, se construyen alianzas con colegios de la zona para que los estudiantes de últimos cursos realicen su práctica social capacitando a sus vecinos en el proceso de separación de residuos [3].

En el entorno nacional, manuales como [8] y [9] orientan el manejo integral de residuos a través de lineamientos para la separación adecuada en los hogares; sin embargo, no se tienen resultados efectivos, principalmente por la no inclusión de elementos pedagógicos que generen un aprendizaje significativo en dicho proceso. Adicionalmente, la inclusión de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) dinamizarían el proceso de enseñanza en el manejo de RNPA. Esto es especialmente cierto para la enseñanza-aprendizaje en los niños de la actual década o los llamados *nativos digitales*, quienes adquieren conocimiento más rápidamente cuando dentro de las estrategias se incluyen herramientas tecnológicas de información.

El programa Basura Cero, en el marco del proyecto Bogotá Humana, busca que los habitantes de la ciudad capital reduzcan, separen y reutilicen sus residuos sólidos aprovechables [9]. Este programa, mediante medios de comunicación y publicidad en aplicaciones móviles, busca abarcar una mayor población, por lo que se espera que su impacto sea mayor que otras estrategias que no usan TIC.

Teniendo en cuenta el panorama expuesto en el que se muestran distintas estrategias para el manejo adecuado de los RNPA, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿cómo se pueden implementar estrategias de enseñanza para el manejo de los RNPA de manera dinámica e interactiva? Para ello, se presenta una eco-estación como una propuesta novedosa para el desarrollo de buenas prácticas en el manejo de RNPA, integrando elementos pedagógicos (métodos de aprendizaje: visual, auditivo y kinestésico) con elementos de las TIC. Los principales componentes de la propuesta son: usuario final, sistema de interacción, sistema de identificación, sistema de almacenaje y sistema energético.

2. Metodología

Los residuos sólidos son elementos resultantes del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios [10]. En particular, residuos sólidos que no generan peligro o riesgo para las personas o animales pueden clasificarse en aprovechables y no aprovechables; estos últimos (RNPA) son definidos como objetos o sustancias de naturaleza sólida que carecen de valor alguno para quienes lo generan [10]. Sin embargo, poseen características especiales que los convierten en candidatos para su reutilización en algún proceso productivo [10].

En Colombia, el manejo de los residuos sólidos ha sido regulado por la Ley 99 de 1993 y ejecutada por el Sistema Nacional Ambiental (SINA), el cual propende a la conservación del capital ambiental nacional; de esta manera, se establece un trabajo mancomunado entre autoridades nacionales, regionales y municipales [11].

Por otra parte, en 1997, el entonces Ministerio de Medio Ambiente promulgó la política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) con el fin de mitigar los daños ambientales, pero fue hasta el 2005 que el legislativo divulgó la Resolución 1390 como nueva solución para atacar la problemática referente a los residuos sólidos. El Gobierno colombiano implantó la obligación de que cada municipio debe formular su propio PGIRS, con el propósito de garantizar una adecuada disposición final de los residuos sólidos, mitigar el impacto ambiental y mejorar la salud pública [12].

Teniendo en cuenta los lineamientos de las políticas de gestión, es posible mapear el tipo de manejo empleado en cada categoría de residuo sólido. La tabla 2 presenta una clasificación de los residuos, algunas de sus instancias más representativas y la estrategia de gestión de los mismos.

La propuesta presentada en este artículo tiene como objeto el manejo de RNPA, principalmente por ser estos susceptibles de volver a un determinado ciclo productivo.

Olmos [2], citando datos de la Contraloría General de la República, expresa que el 0,87% de los residuos generados en Colombia tienen la característica de ser aprovechados, aunque este porcentaje puede ser mayor debido a que existen plantas integrales en el 7,6% del total de municipios, además

Tabla 2. Clasificación de residuos sólidos

Tipo de residuo sólido	Categoría	Elemento o instancia	Estrategia de gestión
No peligroso	Aprovechable	Papel, cartulina, cartón, vidrio, plástico, metales, tetra pack	Reciclaje, reutilización
	No aprovechable	Papel higiénico, pañales, servilletas, colillas de cigarrillo, icopor	Disposición final
	Orgánico biodegradable	Residuos de comida, material vegetal	Compostaje
Peligroso		Baterías, medicamentos, aceites usados	Incineración, disposición en celda de seguridad
Especial		Escombros, llantas, colchones, muebles	Servicio especial de recolección

Fuente: elaboración propia con base en [8]

de contar con centros de recuperación de residuos sólidos en ciudades como Bogotá. Olmos también promulga que el bajo porcentaje de RNPA es monopolizado por 34 plantas procesadoras que corresponden al 100 % de los sitios dedicados a esta tarea.

Asimismo, el diagnóstico asevera que la comercialización de los RNPA ya procesados es vendida a un número limitado de empresas, las cuales imponen sus propias condiciones para la compra de estos. No obstante, con base en cifras reportadas por la Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios, no se toman en cuenta el trabajo realizado por recolectores y bodegas independientes, las rutas selectivas de recolección que operan en algunos municipios, entre otras.

Igualmente, Olmos [2] establece que se destacan 312 empresas en el mercado del plástico, de las cuales 39 se dedican a la recuperación, reciclaje y comercialización de resina plástica postindustria y postconsumo. Para el mercado del papel y cartón, señalan que en el 2008 se recuperaron 675 200 T de papel. Esta acción es principalmente ejecutada por empresas ubicadas en el Valle del Cauca.

Por otro lado, la aplicación de las TIC en la búsqueda de soluciones que ayuden a mitigar las problemáticas causadas por la incorrecta disposición final de los RNPA ha llevado al desarrollo de diferentes productos tecnológicos como en [13], donde Albán Naranjo y Del Hierro Calvachi proponen la identificación de las botellas de Tereftalato de Polietileno (PET) a través de un sistema de identificación compuesto por sensores de presencia, peso e imagen. El sistema detecta la entrada de un objeto por medio del sensor de presencia, luego pesa el objeto ingresado, finalmente, evalúa si el objeto ingresado tiene o no la forma de una botella. El sistema procesa la

información recopilada y toma la decisión pertinente. Adicionalmente, emplea algoritmos predefinidos que garantizan solo el ingreso de botellas PET y desechan otro tipo de botellas o cuerpos extraños introducidos dentro de este.

En algunos trabajos como el de [14], se propone la identificación de residuos sólidos urbanos empleando sensores de proximidad capacitivos y sensores de presencia. El sistema discrimina los residuos sólidos urbanos por el tipo de material del que están compuestos. Dicha discriminación se realiza utilizando los sensores de proximidad capacitivos, configurando su sensibilidad de modo que detecte un determinado tipo de material. Este sistema requiere varios sensores, puesto que cada sensor solo puede ser configurado para la detección de un material en especial. Los residuos sólidos urbanos son transportados por medio de una banda transportadora y se identifican y discriminan por los sensores capacitivos de proximidad, los sensores de presencia y un sistema de pistones. Para este caso, el autor modeló los residuos sólidos urbanos como cilindros hechos de madera, plástico y aluminio.

De igual manera, en [15] se diseña e implementa una máquina expendedora inversa con el fin de recolectar botellas PET. El sistema de identificación de la máquina basa su funcionamiento en un sensor óptico por reflexión, el cual detecta cuando la botella es introducida en el sistema y un sensor de presencia capacitivo. Cuando el sistema de identificación detecta la botella, la máquina procede a compactarla y recompensar al usuario que la introdujo; sin embargo, no se evidencian estrategias que otorguen seguridad si el usuario introduce elementos distintos a una botella plástica PET.

Por otra parte, en [16] el autor fundamenta su estudio en la identificación del tipo de material de residuos sólidos como PET, poli cloruro de vinilo (PVC), entre otros, a través de la espectroscopia de bajo costo para *reverse vending machine*.

Toyama Uematsu et al. diseñan y construyen una máquina tipo *reverse vending* para el reciclaje de botellas PET, aluminio y vidrio [17]. La diferencia de esta máquina frente a otras ya existentes radica en la reducción de la complejidad de los sistemas internos que la componen sin sacrificar rendimiento y funcionalidades.

Los trabajos mencionados [13-17], si bien tienen una aproximación en sus arquitecturas para la identificación de tipos de materiales haciendo uso de *reverse vending machine* como herramientas tecnológicas de acopio, no cuentan con modelos pedagógicos que, en conjunto con instrumentos tecnológicos, dinamicen los procesos de separación y recolección de RNPA (PET, vidrio, aluminio). Adicionalmente, su limitada interactividad no permite una adecuada enseñanza en la protección ambiental.

En [18] y [19] los autores realizan la identificación de plástico presente en residuos domésticos a través de espectroscopia y redes neuronales, y alcanzan un 80% de efectividad; además, se estudian los diferentes métodos y test para identificar plástico y conocer sus principales características. Sin embargo, en el estudio no se abordan temas sobre manejo de RNPA o el uso de energías renovables.

Por otra parte, en [20] los autores estudian el impacto de los colores en una habitación para estudiantes universitarios, dado que estos generan

estímulos a la vista, producen desarrollo de las capacidades cognitivas, mejoran la atención, apreciación y reconocimiento del entorno. No obstante, en el estudio no se evidencia uso de herramientas tecnológicas ni manejo de RNPA.

En [21], los autores diseñan un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica para alimentar un aireador. El sistema fue diseñado para proveer una potencia de 342,39 kWh/mes, siendo un factor crítico los meses de invierno; sin embargo, los autores no estudian el manejo de RNPA y estrategias de aprendizaje sobre la gestión de estos.

En [22], los autores modelan y evalúan algoritmos para el seguimiento del punto de máxima potencia en sistemas fotovoltaicos a través del *software* Matlab/Simulink, los cuales pueden ser utilizados para el dimensionamiento de cualquier sistema fotovoltaico. También presentan una técnica denominada ANFIS para predecir el ciclo de trabajo del convertidor DC-DC. No obstante, los autores no abordan temáticas referentes al manejo de RNPA.

En conjunto con la maquinaria desarrollada para el manejo en la fuente de los RNPA, debe implementarse una estrategia educativa que conduzca a las personas a hacer uso de los métodos y elementos que existen; para ello, es importante plantearse mecanismos orientados por los objetivos de la educación ambiental (tabla 1), que permitan determinar si la solución planteada tiene el impacto deseado. En consecuencia, la tabla 3 presenta una evaluación comparativa entre los trabajos más destacados.

Este tipo de mecanismos mencionados y comparados integran componentes importantes de la

Tabla 3. Cumplimiento de objetivos de la educación ambiental

Trabajos	Objetivos de la educación ambiental																	
	Objetivo 1			Objetivo 2			Objetivo 3			Objetivo 4			Objetivo 5			Objetivo 6		
	NC	CP	CT	NC	CP	CT	NC	CP	CT	NC	CP	CT	NC	CP	CT	NC	CP	CT
[1]		X			X		X			X					X			X
[7]		X		X				X	X				X					X
[3]		X			X			X			X		X					X
[11]		X			X			X			X		X			X		
[13]		X		X				X		X			X					X
[14]		X		X			X				X		X					X
[15]		X		X				X			X		X					X

*NC: no cumple, CP: cumple parcialmente, CT: cumple totalmente
Fuente: elaboración propia

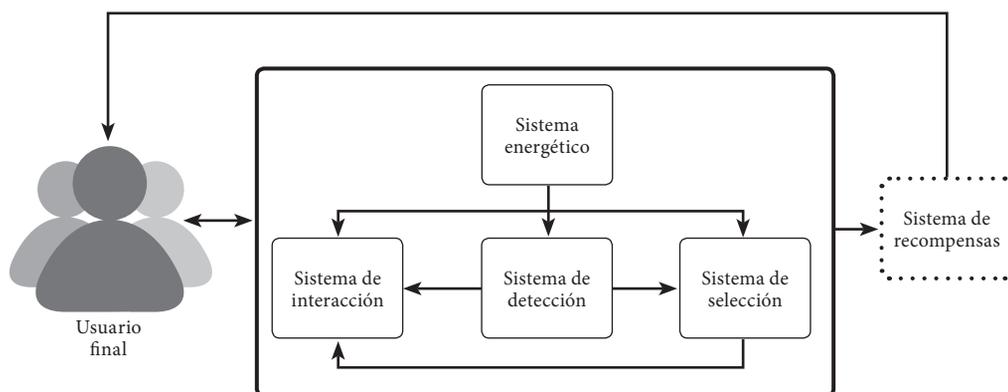


Figura 2. Arquitectura general eco-estación

Fuente: elaboración propia

educación ambiental; sin embargo, no integran componentes que, aunque no son incluidos en los manuales de educación ambiental, tienen un auge latente en la sociedad actual, particularmente en las TIC.

La comparativa en la tabla 3 muestra que el objetivo más cumplido es el concerniente a la participación (objetivo 6), principalmente por la disposición que se tiene a contribuir con el ambiente aún sin contar con el conocimiento necesario. El objetivo que se cumple de forma parcial con mayor constancia es el de la conciencia (objetivo 1), dado el creciente flujo de información que se encuentra disponible; finalmente, el objetivo que no se cumple con mayor regularidad es el de capacidad de evaluación (objetivo 5), especialmente en estrategias que no cuentan con mecanismos evaluativos efectivos.

3. Resultados

La eco-estación nace con la idea de crear una estrategia pedagógica que permita generar buenas prácticas de recolección y separación en la fuente para productos de uso cotidiano como los PET, latas de aluminio y envases de vidrio; tres elementos de mayor consumo por parte de la población. Para ello, se plantea diseñar y construir una máquina distribuidora reversible que cumpla totalmente con los objetivos de la educación ambiental mostrados en la tabla 1. La arquitectura propuesta está dividida en sistemas que actúan entre sí y con un usuario final; a su vez, estos sistemas están conformados por módulos interconectados que cumplen con funciones específicas (figura 2).

- **Usuario final:** la arquitectura está diseñada para lograr el mayor impacto posible en el usuario final; por tal motivo, la delimitación poblacional es un factor importante. Los usuarios de la estrategia pedagógica serán las personas entre 15 y 64 años; rango que representa el 62 % de la población nacional [23].
- **Sistema de interacción:** será el primer contacto directo que el usuario final tenga con la eco-estación; este le indicará el propósito de la estación ecológica y los beneficios que puede obtener si decide darle un manejo responsable y adecuado a los RNPA. Es importante que este sistema sea llamativo para el usuario final, de tal forma que existan más posibilidades de interacción. Por lo anterior, se plantea que el sistema genere una señal de saludo cada vez que pase un usuario frente a la máquina. El sistema de interacción debe permitir una ejecución ágil¹ de los procesos entre humano y computador. La figura 3 expone el sistema de interacción propuesto, identificando los módulos que lo componen: el módulo audiovisual, módulo de entrada de información, módulo de procesamiento. La integración de estos tres módulos aporta interactividad y busca dar un manejo dinámico a los RNPA, en consecuencia, el sistema de interacción se considera clave debido a la adecuada integración de componentes pedagógicos con base en las normas de manejo de RNPA, así, se logra de manera dinámica potenciar la educación ambiental en la población.

1 Tiempo que tarda un usuario final en lograr la tarea propuesta y compararlo con tiempos establecidos en pruebas de laboratorio [24].

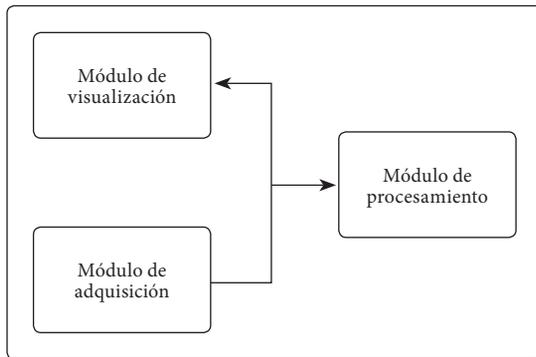


Figura 3. Sistema de interacción

Fuente: elaboración propia

Módulo audiovisual o de visualización: es el módulo principal del sistema de interacción que permite al usuario final recibir instrucciones e información sobre el proceso que se lleva a cabo; para ello, se propone usar una pantalla LED, principalmente por su menor consumo energético y por el empleo de menos materiales contaminantes en su fabricación respecto a otras alternativas [25]. El tamaño de la pantalla es también un factor importante en la estrategia pedagógica; pantallas muy pequeñas y cargadas de información no son aptas para un adecuado aprendizaje [26, 27]. En consecuencia, se propone usar una pantalla de 25 pulgadas y se incluye también un par de parlantes para permitir la reproducción de sonidos que refuercen el contenido visual, y de esta forma generar un mejor aprendizaje.

Módulo de adquisición: es la forma que tiene el usuario de comunicarse con la eco-estación. Debe ser una forma de comunicación universal, preferiblemente mediante el uso de símbolos en relieve que les permita, incluso a las personas con poca agudeza visual, hacer uso de la estación. Aunque la entrada mediante pantallas táctiles es una forma más práctica respecto a métodos convencionales [28], el uso de teclados permite un mayor alcance poblacional y por ende un mayor impacto en el medio en el que se instale la eco-estación. Se propone entonces un conjunto de botones con símbolos universales en la estructura de la eco-estación.

Módulo de procesamiento: será la parte encargada de procesar la información necesaria en el sistema de interacción. Este debe dirigir el proceso desde que la máquina detecta un usuario potencial, pasando por la comunicación inter sistemas hasta finalizar el proceso y notificarlo como

concluido. Como mecanismo de procesamiento se elige Raspberry Pi 2 [29]; esta cuenta tiene potencia de procesamiento, bajo consumo energético, portabilidad y costos equilibrados en relación con calidad-precio-servicio. La capacidad puede ser ampliada mediante memorias Micro SD de hasta 128GB y en caso de ser necesario, por medio de uno de sus cuatro puertos USB se puede conectar un disco duro externo para almacenar contenido multimedia que necesite la eco-estación. La Raspberry Pi cuenta con un puerto LAN y es compatible con adaptadores USB WIFI, USB BLUETHOOTH, GSM-GPRS mediante sus puertos de entrada y salida; en este sentido, se puede contar con distintas alternativas de conectividad.

El contenido visual de la eco-estación se divide en componentes (figura 4): el informativo, el auxiliar y el pedagógico, y cada de estos uno puede ser llamado varias veces a lo largo del proceso de interacción de acuerdo con la necesidad del usuario. El componente informativo se encargará de mostrar información respecto al proceso actual, tipo de elemento recolectado, cantidad de elementos en la máquina, servicio obtenido, entre otras. El componente auxiliar le proporciona al usuario información sobre cómo usar la estación ecológica y finalmente el componente principal, el pedagógico que se encarga de enseñar al usuario la importancia de las correctas prácticas ambientales, en especial el manejo de RNPA.

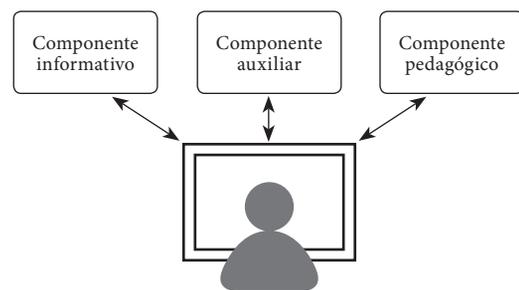


Figura 4. Contenido visual de la eco-estación

Fuente: elaboración propia

- **Sistema de identificación o detección:** provee la funcionalidad de identificar el elemento o residuo que se introduce en él, es decir, es el agente cuyo oficio radica en inspeccionar, censurar o medir ciertas propiedades físicas de los materiales que llegan a la eco-estación con el fin de identificarlos.

En general, según [31], los sistemas de reconocimiento o identificación propenden a la asignación de un número a una característica o cualidad de un suceso con el objetivo de describirlo. De manera visual, los sistemas de reconocimiento se dividen en módulos, como se observa en la figura 5. En primer lugar, está el módulo de Sensado, el cual es puente entre las variables y objetos por medir, y de los siguientes módulos del sistema. En este módulo le es asignado un número o cualidad a una variable, principalmente física y codificada o transformada en otro tipo de señal, por lo general de naturaleza eléctrica, de tal forma que los módulos subsiguientes entiendan el significado de lo medido [31].

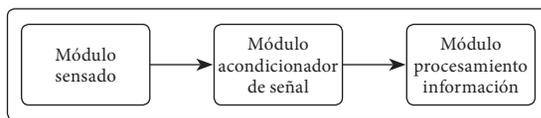


Figura 5. Sistema de detección

Fuente: elaboración propia

La señal obtenida en el módulo de sensado entra al módulo acondicionador de señal, puesto que esta última debe ser tratada, filtrada y en muchas ocasiones convertida en una señal de mayor o menor magnitud, con el propósito de que la interacción con los módulos y sistemas de la eco-estación se realice en el mismo lenguaje.

Por último, se encuentra el módulo de procesamiento de información, en el cual es recibida la señal proveniente del módulo acondicionador de señal e interpretada por uno o diversos sistemas, con la finalidad de darle a entender a la eco-estación qué elemento ha recibido. El sistema de identificación aporta a la solución del problema de investigación el reconocimiento del RNPA que posee el usuario de la eco-estación, con lo cual se logra que este se vea motivado a utilizarla y, por ende,

la estrategia pedagógica ambiental tenga un mayor porcentaje de penetración en la población.

El sistema de selección es el encargado de contener o acopiar temporalmente los residuos según la clasificación obtenida. También es importante destacar que el sistema de selección contendrá los RNPA en recipientes independientes con colores definidos según el tipo de material que los articule; esto es según la norma técnica GTC 24 de 2009 [32]; azul para plástico, blanco para vidrio y café oscuro para metales, en pro de facilitar la movilización, distribución y disposición final. Dichos recipientes se accionarán dependiendo del RNPA identificado por el sistema de detección de RNPA.

- **El sistema de selección:** se enmarca en el proceso denominado separación. La separación hace parte del reciclaje que, según [32], es el proceso mediante el cual se busca devolver los RNPA al ciclo productivo como bienes terminados o materia prima para generación de nuevos productos. Dicho proceso está constituido por varias etapas que se ilustran la figura 6.
- La recolección selectiva o acopio consiste en transportar los residuos desde los centros de generación hacia los centros de acopio, con la finalidad de darles una adecuada disposición final.
- La separación consiste en apartar los residuos según su material (plástico, cartón, papel, etc.) en el sitio donde se generan.
- La reutilización propende a la recuperación total o parcial de la función principal del residuo, sin que ello amerite someter al mismo a procesos de transformación adicionales.
- La transformación radica en someter los residuos recuperados a procesos o técnicas que aumenten su capacidad de recuperación y aprovechamiento.

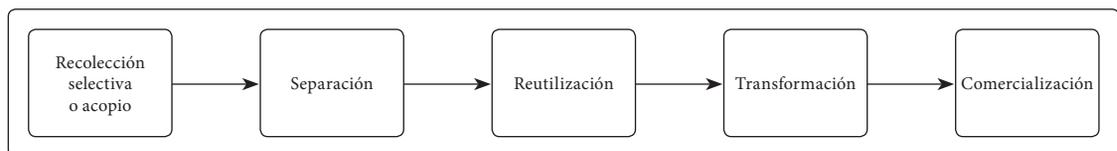


Figura 6. Proceso de reciclaje¹

Fuente: elaboración propia

¹ No hace parte de la arquitectura de la eco-estación.

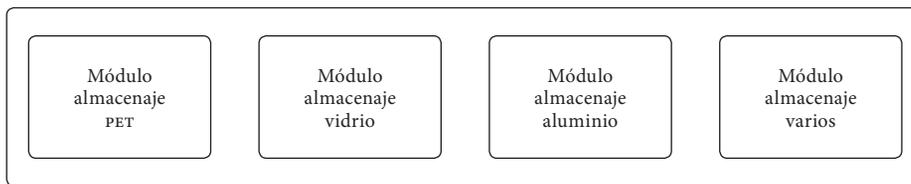


Figura 7. Sistema de selección

Fuente: elaboración propia

La eco-estación se enmarca en gestionar adecuadamente los RNPA, haciendo uso del proceso de reciclaje, específicamente recolección selectiva, acopio y separación.

Los módulos del sistema de selección están representados en la figura 7.

Adicionalmente a lo expuesto, el sistema de selección contará con sensores de peso en cada uno de los recipientes, con el propósito de estar al tanto de cuántos kilogramos de residuos contiene la eco-estación en todo momento, de manera que esta información sea utilizada para apoyar la estrategia pedagógica ambiental; asimismo, este sensor alertará cuando los recipientes hayan alcanzado su capacidad máxima de almacenamiento. Con el sistema de selección se pretende enseñar a los usuarios de la eco-estación, la apropiada separación y los colores distintivos de los recipientes para cada tipo de RNPA, con el fin de reproducir lo aprendido en distintos escenarios.

- **Sistema energético:** el sistema energético de la eco-estación tendrá como característica principal suplir a la misma de energía eléctrica a partir de una fuente de energía renovable, específicamente la energía solar aprovechando que la tierra recibe 3×10^{24} Joules por año [33].

No obstante, la variabilidad climática que existe en diversos puntos geográficos repercute en la mayor o menor cantidad de energía solar que se pueda aprovechar en cada una de las regiones del territorio colombiano y, más aún cuando los mecanismos de obtención y transformación de energía solar a energía eléctrica llegan a una eficiencia del 17% [34]. A pesar de esto, la energía solar tiene la ventaja de ser transformada en electricidad y almacenada en baterías para su inmediato o posterior consumo [35]. Dado que la fuente generadora de electricidad para la eco-estación es renovable, es decir, no es perjudicial para el ambiente, esta va en concordancia con la estrategia pedagógica

eco-amigable, principalmente porque busca educar ambientalmente a una población para sensibilizar y generar cambios de comportamiento frente al manejo de RNPA.

En la figura 8 se encuentra descrita la arquitectura del sistema energético, el cual cuenta con tres módulos. El módulo captador y transformador de energía solar, el cual contiene un componente capaz de transformar la energía solar a energía eléctrica (panel fotovoltaico); el módulo regulador, encargado de normalizar la cantidad de potencia producida, con el fin de no dañar los módulos que necesiten una determinada potencia para funcionar, y finalmente el módulo de respaldo, que tiene la función de almacenar la energía eléctrica.

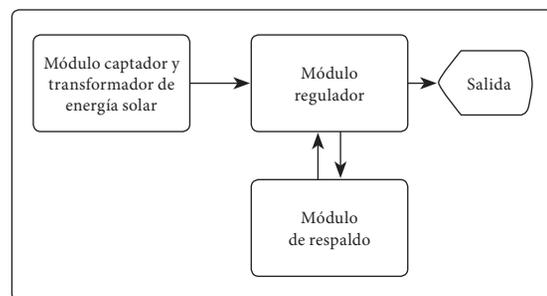


Figura 8. Sistema energético

Fuente: elaboración propia

En la etapa subsiguiente se encuentra el módulo controlador/regulador de potencia que se encarga de mantener una potencia adecuada en cualquier momento, con el propósito de no sobrecargar el módulo de respaldo y las cargas o dispositivos conectados al sistema en general [35]. El módulo de respaldo tiene la función de proveer de electricidad a la eco-estación cuando el recurso solar no esté disponible. Este módulo almacena la energía producida por el elemento captador y transformador de la energía solar a energía eléctrica, que luego será entregada a los sistemas que precisen de ella. El sistema energético, basado en

una fuente de energía renovable, enriquece el concepto de estación amigable con el medio ambiente, principalmente por ser un sistema que no requiere el uso de energías convencionales para la generación de energía eléctrica. Adicionalmente ayudará a los sistemas de reconocimiento y selección de RNPA a cumplir sus objetivos.

- **Sistema de recompensas:** recompensar al usuario por culminar el proceso pedagógico y contribuir al medio ambiente deriva en referencias positivas sobre la estación ecológica, lo cual atrae más usuarios; en este sentido, se propone un sistema de recompensas denominado Puntos ecológicos, que podrán ser intercambiados por productos o servicios opcionales como puntos de carga para celulares, bonos de descuento en empresas aliadas, kits ecológicos, entre otros. Con el sistema de recompensas los usuarios sentirán que hacen parte de un proceso recíproco, dinámico e interactivo a medida que aprenden sobre el buen manejo de los RNPA.

4. Discusión

La problemática medio ambiental debido a los RNPA es latente, tanto así que el Gobierno nacional impulsa campañas para reducir el uso de las bolsas plásticas, los productos PET, entre otros; sin embargo, existen situaciones en las que el uso de este tipo de productos es inevitable, por lo que es necesario promover el manejo adecuado de los RNPA mediante estrategias que generen en las personas comportamientos coherentes con las normas para el manejo de RNPA existentes.

El desarrollo de estrategias pedagógicas permite implementar procesos de aprendizaje efectivos que logren un mayor cumplimiento de los objetivos propuestos en la estrategia. Es válido entonces plantear una forma de enseñar a las personas el manejo adecuado de los RNPA mediante la inclusión de estrategias pedagógicas que involucren diferentes estilos de aprendizaje (visual, auditivo o kinestésico).

Una de las ventajas del aprendizaje visual y auditivo es que pueden ser aplicadas mediante un mecanismo de interacción que le permita al usuario percibir la información mediante la vista y el oído, siendo una de las maneras más efectivas de aprender. En consecuencia, el sistema de interacción

(módulo visualización) presente en la arquitectura propuesta de la eco-estación hace posible la integración de estos dos estilos de aprendizaje.

Por su parte, el aprendizaje kinestésico es un proceso lento pero significativo, que logra en el usuario de la eco-estación una interiorización de los procesos adecuados en el manejo de los RNPA (aluminio, PET, vidrio). Para ello el sistema de detección y el de selección presentes en la arquitectura propuesta de la eco-estación trabajan en conjunto para lograr un aprendizaje significativo. El sistema de detección identifica el tipo de material que se está manipulando e informa al usuario del procedimiento de disposición final.

Por otro lado, la arquitectura propuesta de la eco-estación integra estrategias de manejo adecuado de los RNPA con procesos de aprendizaje significativos. Para ello, los sistemas presentes en la eco-estación (sistema energético, sistema de interacción, sistema de detección, sistema de selección) trabajan en conjunto como un mecanismo dinamizador del proceso de manejo y de separación en la fuente para los RNPA, con lo cual se logra cubrir los objetivos de la educación ambiental que otras alternativas no han alcanzado satisfactoriamente. Finalmente, la eco-estación hace uso de fuentes de energía renovables como sistema de alimentación energética, y de esta manera aporta a la protección del medio ambiente.

5. Conclusiones

Los trabajos revisados han mostrado una creciente preocupación por contribuir a la protección del medio ambiente; sin embargo, no se observa un total cumplimiento de los objetivos de la educación ambiental, principalmente por la no inclusión de suficientes componentes pedagógicos para educar a los usuarios en el proceso de manejo integral de RNPA. Aunque en diferentes artículos se documentan trabajos que muestran el uso de tecnologías para la clasificación e identificación de RNPA, la proyección multimedia en relación con el manejo responsable de estos residuos aún es un tópico poco tratado; más aún, la integración de todos los componentes no está presente en los enfoques revisados. Por consiguiente, la propuesta planteada contempla la integración de estrategias pedagógicas, de interactividad y manejo de RNPA,

como mecanismo dinamizador en la educación ambiental.

Aunque este documento presenta una propuesta que está en su fase inicial, se pueden obtener conclusiones referentes al uso de estrategias que fortalezcan la educación ambiental. La tabla 3 muestra el grado de cumplimiento de la educación ambiental de algunas propuestas ya planteadas para el manejo de RNPA. Como resultado parcial de esta investigación se identificaron falencias en las propuestas revisadas, principalmente en el uso de las TIC como elemento dinamizador y que potencie el alcance de la educación ambiental. Dado lo anterior, es válido iniciar el desarrollo de una estrategia que, mediante las distintas metodologías de la enseñanza, pueda educar sobre la importancia del manejo adecuado de los RNPA

5. Agradecimientos

Al semillero de Gestión Energética adscrito al grupo de investigación GITA de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, por sus esfuerzos investigativos y tecnológicos. A la Dra. Nazly Sánchez, quien lidera el grupo GITA, por sus apreciaciones en el proyecto. A InnovAción Cauca por financiar el proyecto en la categoría I+D, y contribuir así al desarrollo de la región. A la empresa Integra Grupo Tecnológico por ser un aliado estratégico en el desarrollo de este.

Referencias

- [1] G. García Jiménez y M. C. Blanco Briceño, “Modelo de recolección de residuos sólidos botellas plásticas y latas utilizando como aliado el sistema de transporte masivo de Bogotá”, 2014 [en línea]. Disponible en: <http://repository.urosario.edu.co/handle/10336/8743>
- [2] A. R. Olmos, *Recuperación y reutilización de residuos sólidos. Módulo didáctico*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2011.
- [3] J. Morrobel, “Lanzan programa ‘Separación en la Fuente y Recolección’ para manejar residuos sólidos”, *El nuevo diario*, 4 marzo 2014 [en línea]. Disponible en: <http://www.elnuevodiario.com.do/app/article.aspx?id=374230>
- [4] Unesco, “Educación ambiental: módulo para la formación de profesores de Ciencias y de supervisores para escuelas secundarias”, enero 1990 [en línea]. Disponible en: unesdoc.unesco.org/images/0007/000714/071480So.pdf
- [5] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Ministerio de Educación Nacional, “Política Nacional de Educación Ambiental SINA”, 2002 [en línea]. Disponible en: http://cmap.upb.edu.co/rid=1195259861703_152904399_919/politi-ca_educacion_amb.pdf%20%20C3%9Altimo%20acceso:%208,%20noviembre%202016
- [6] Ministerio de Educación Nacional, “Educación ambiental: construir educación y país”, sept. 2005.
- [7] M. N. Ortega Leyva, “El reciclaje de PET está en su mejor momento”. *Tecnologías del Plástico*, agosto 2011 [en línea]. Disponible en: <http://www.plastico.com/temas/El-reciclaje-de-PET-esta-en-su-mejor-momento+3084014>
- [8] Alcaldía Municipal de Envigado, “Guía para el adecuado manejo de los residuos sólidos y peligrosos”, 2011.
- [9] Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá Humana, “Programa Basura Cero”, *Bogotá Humana*, 6, sept. 2013 [en línea]. Disponible en: <https://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/campa%C3%B1a/programa-basura-cero>
- [10] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2013, dic. 20). Decreto 2981. Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Bogotá, Colombia. [en línea]. Disponible en: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2013/Documents/DICIEMBRE/20/DECRETO%202981%20DEL%2020%20DE%20DICIEMBRE%20DE%202013.pdf>
- [11] E. Uribe-Botero, *Reformas fiscales y regulatorias en la gestión y manejo de residuos sólidos. América latina frente al cambio climático*. Santiago de Chile, Chile: CEPAL y Cooperación Alemana, 2014, p. 77 [en línea]. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37394/S1420713_es.pdf;jsessionid=29573E9BFD0F824C388EDA084366868?sequence=1
- [12] E. F. Avendaño-Acosta, “Panorama actual de la situación mundial, nacional y distrital de los residuos sólidos. Análisis del caso Bogotá D.C. programa Basuras Cero”, Tesis de pregrado, Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia, 2015 [en línea]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/3417/1/79911240.pdf>

- [13] R. E. Albán Naranjo y P. A. Del Hierro Calvachi, "Diseño y construcción de un prototipo de máquina vending inversa para la aceptación, compactación y almacenamiento de botellas PET de 250 a 3000 cm³ para Serpra CÍA. LTDA.". Tesis de pregrado, Ingeniería Mecatrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Quito, 2013 [en línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6659>
- [14] J. M. Hernández Ordóñez, "Diseño y construcción de un prototipo automatizado para la clasificación de residuos sólidos urbanos". Tesis de licenciatura, Ingeniería Mecatrónica, Universidad de las Américas Puebla, México, 2012 [en línea]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/hernandez_o_jm/resumen.html
- [15] D. M. Cardoso Totoy y H. M. Vizcaíno Salazar, "Rediseño e implementación de la máquina expendedora inversa (RVM) automatizada, orientada al reciclaje de botellas plásticas PET para la facultad de mecánica". Tesis de pregrado, Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2015 [en línea]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4491>
- [16] A. Nordbryhn, "The optics of recycling", *Optics and Photonics News*, vol. 23, n.º 6, pp. 18-23, 2012. [en línea]. Disponible en: <https://www.osapublishing.org/opn/abstract.cfm?uri=opn-23-6-18>
- [17] L. K. Toyama-Uematsu, R. C. Borges-Montagnini y M. Berretto, "Projeto e construcao de uma máquina automática para coleta embalagens recicláveis" [en línea]. Disponible en: <http://143.107.106.66/sites/pmr.poli.usp.br/euniversidade.com.br/files/Artigo%20Leonardo%20Uematsu%20e%20Renata%20Montagnini.pdf>
- [18] W. H. A. M. van de Broek, D. Wienke, W. J. Melssen y L. M. C. Buydens, "Plastic material identification with spectroscopic near", *Analytica Chimica Acta*, vol. 361, n.º 1-2, pp. 161-176, marzo 1998 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267098000129>
- [19] D. Braun, *Simple Methods for Identification of Plastics*. Cincinnati, Estados Unidos: Hanser, 2013, p. 127 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781569905265500016>
- [20] N. Ab. Jalil, Y. Rodzyah Mohd. y N. S. Said, "Students' Colour Perception and Preference: An Empirical", 2013.
- [21] Y. Choi y J. Song, "Design of photovoltaic systems to power aerators for natural purification of acid mine drainage", *Renewable Energy*, vol. 83, Nov. 2015. [en línea]. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.014>
- [22] M. A. Enany, M. A. Farahat y A. Nas, "Modeling and evaluation of main maximum power point tracking", *Renewal ans Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 1578-1586, mayo 2016 [en línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116000228>
- [23] Consejo Nacional de Acreditación, "El sistema de educación superior en Colombia" [en línea]. Disponible en: <http://www.cna.gov.co/1741/article-187279.html>
- [24] F. Humera y M. T. Siddique, "A Comparative Study on User Interfaces of Interactive Genetic Algorithm", *Procedia Computer Science*, vol. 32, 2014, pp. 45-52.
- [25] Samsung co., "Samsung Mexico", *Samsung*, 12 enero 2016 [en línea]. Disponible en: <http://www.samsung.com/mx/article/benefits-of-an-led-monitorccfl-vs-led>
- [26] K. Daesang y K. Dong-Joong, "Effect of screen size on multimedia vocabulary learning", *British Journal of Educational Technology*, 2010 [en línea]. Disponible en: <http://coursedesign.smwc.edu/daesang/DKim%20Sample%20publications.pdf>
- [27] Y. Li, C. S. Nam, B. B. Shadden y S. L. Johnson, "A p300-based brain-computer interface: Effects of interface type and screen size", *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 27, pp. 52-68, 2010 [en línea]. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10447318.2011.535753#.Vywi0eR4-ME>
- [28] F. E. Sandnes, H.-L. Jian, Y.-P. Huang y Y.-M. Huang, "User interface design for public kiosks an evaluation of the taiwan high speed rail ticket vending machine", *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 26, pp. 307-321, 2010 [en línea]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/b270/04b0cb90253ece92f76430e1fe0360d68b07.pdf>
- [29] M. Richardson y Sh. Wallace, *Getting Started with Raspberry Pi*. Estados Unidos: Maker Media, 2012, p. 160 [en línea]. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xYhMlilTwC4C&oi=fnd&pg=PR2&dq=raspberry+pi&ots=W39fjAih1&sig=aOVqrymd0TwO_i3EajbIAzf2Eis#v=onepage&q=raspberry%20pi&f=false
- [30] D. Kun-Kun, W. Zhi-Liang y H. Mi, "Human machine interactive system on smart home of IoT", *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, vol. 20, n.º 1, pp. 96-99, 2013. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1005-8885\(13\)60240-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1005-8885(13)60240-X)
- [31] R. Pallás Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*. Barcelona: Marcombo, 2004, p. 479.

- [32] Icontec, Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la Separación en la Fuente”, Norma Técnica Colombiana GTC 24, 29 mayo 2009 [en línea]. Disponible en: <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC%2024%20DE%202009.pdf>
- [33] A. Rey de Castro, “Nuevas formas de aprovechar la energía solar y producir hidrógeno”, *Revista de Química PUCP*, vol. 26, n.º 1-2, pp. 20-22, 2012 [en línea]. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/6100>
- [34] J. Mundo-Hernández, B. de Celis-Alonso, M. C. Valerdi-Nochebuena y J. Sosa-Oliver, “Integración de sistemas de energía solar fotovoltaica en el edificio de oficinas del ZAE en Alemania”, *Revista Habitat Sustentable*, vol. 2, n.º 2, pp. 60-72, 2012 [en línea]. Disponible en: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/421>
- [35] O. A. Mastache-Miranda, “Proyecto de implementación de un sistema fotovoltaico para la reducción del consumo de energía en un local de muebles”, 2015 [en línea]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/13963>