

Sistema basado en conocimiento para incentivar el reciclaje

Knowledge-based system to encourage recycling

Recibido: 10 de julio de 2023

Aprobado: 13 de noviembre de 2023

Forma de citar: J. D. Roso, T. Velásquez Pérez, and H. F. Castro-Silva, “Sistema basado en conocimiento para incentivar el reciclaje”, Mundo Fesc, vol. 14, no. 29, pp. 97–114, 2024, doi: 10.61799/2216-0388.1613.

Jesus David-Roso



Ingeniero de Sistemas,
jdrosof@ufpso.edu.co,
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Semillero de
Inteligencia Computacional, Grupo de Investigación GITYD, Ocaña, Norte
de Santander, Colombia.

Torcoroma Velásquez-Pérez



Postdoctor en Métodos de Investigación,
tvelasquezp@ufpso.edu.co,
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de Investigación
GITYD,
Ocaña, Norte de Santander, Colombia.

Hugo Fernando Castro-Silva



PhD en Gerencia de Proyectos,
hugofernando.castro@uptc.edu.co,
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, Grupo de
Investigación GITYD, Boyacá, Colombia

***Autor para correspondencia:**

jdrosof@ufpso.edu.co



Sistema basado en conocimiento para incentivar el reciclaje

Resumen

La cultura del reciclaje es un tema de suma importancia en los tiempos actuales puesto que vivimos en un mundo donde no hemos adoptado una conciencia para cuidar el medio ambiente, ya que este requiere que las personas tomen partida sobre lo que sucede en el entorno. El uso de la tecnología se muestra como una alternativa para ayudar a la población en esta tarea, y la implementación de técnicas de inteligencia artificial aporta innovación y mayores opciones para las posibles soluciones. La investigación tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema basado en conocimiento para la clasificación de reciclaje, utilizando técnicas de inteligencia artificial apoyada en la web semántica. Se tiene como propósito que este sistema genere un impacto en la cultura del reciclaje, para ello se cuenta con objetivos específicos, los cuales se basan en las etapas de la metodología de sistemas basados en conocimiento planteados por Rolston. Para tratar de mejor manera la problemática, se realizó un mapeo sistemático para recabar información sobre el uso de la tecnología y las técnicas de inteligencia artificial para incentivar la cultura del reciclaje. En un inicio, se encontraron 255 investigaciones, pero luego de aplicar filtros y realizar una revisión detallada, se encontraron 50 documentos relevantes para la investigación.

Palabras clave: reciclaje; cultura ambiental; web semántica; contaminación, material reciclable.

Knowledge-based system to encourage recycling

Abstract

The culture of recycling is a very important issue in current times since we live in a world where we have not adopted a conscience to take care of the environment, since it requires people to take a stand on what is happening in the environment. The use of technology is shown as an alternative to help the population in this task, and the implementation of artificial intelligence techniques bring innovation and greater options for possible solutions. The main objective of the research is to develop a knowledge-based system for recycling classification, using artificial intelligence techniques supported by the semantic web. The purpose of this system is to generate an impact on the recycling culture, and to do so, there are specific objectives, which are based on the stages of the knowledge-based systems methodology proposed by Rolston. In order to better address the problem, a systematic mapping was carried out to gather information on the use of technology and artificial intelligence techniques to encourage recycling culture. Initially, 255 research papers were found, but after applying filters and performing a detailed review, 50 documents relevant to the research were found.

Key words: recycling; environmental culture; semantic web; pollution; recyclable material.

Introducción

El proceso del reciclaje es una práctica que involucra a todas las personas, tanto en sus beneficios como en sus consecuencias. Dicho proceso se muestra como un tema de suma importancia en los tiempos actuales, donde el reciclaje trata dar aprovechamiento a los residuos sólidos para reintegrarse como materia prima para consumo [1][2] en una sociedad en donde la generación de desechos está a la orden del día, como se muestra a continuación.

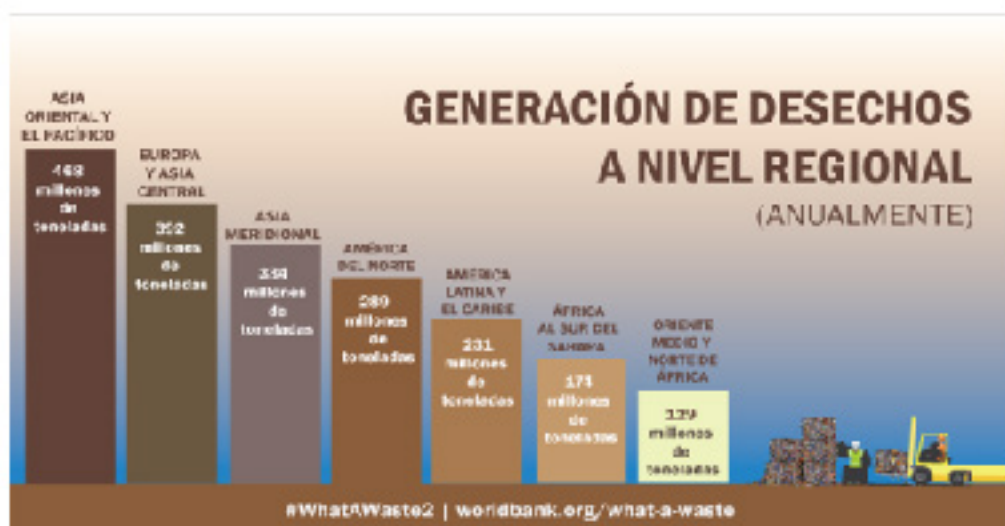


Figura 1. Generación de desechos a nivel regional.

Hablando del reciclaje y la generación de los desechos que se presentan en la actualidad, se debe mostrar los materiales a los que se hace alusión y los cuales se presentan como actores principales dentro de esta historia. A nivel mundial, se han dividido en general en 6 tipos: plásticos, latas y bricks, papel y cartón, vidrio, material orgánico, material no reciclable [3] y desechos peligrosos, que a su vez, corresponden a unos contenedores en específicos de acuerdo al color de estos, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 2. Tipos de reciclaje según su contenedor.

La práctica del reciclaje se muestra como fundamental para la preservación de los ecosistemas [4] y se ha vuelto casi que una obligación para la sociedad. Sin embargo, la cultura de reciclaje en la sociedad es demasiado baja, esto se atribuye a diferentes retos que impiden dicho proceso, tales como la separación de los residuos teniendo en cuenta al grupo al que corresponden [5], mostrando un problema en las personas al realizar la clasificación de los desechos, contando también con un problema en el diseño de los contenedores [6], causando una confusión a la hora de realizar el reciclaje, y así entre algunos tantos que suponen desafíos en la sociedad.

La incorporación de técnicas de inteligencia artificial se ha mostrado como una ayuda de suma importancia en la consecución de objetivos para mejorar la cultura del reciclaje. La visión y reconocimiento de patrones supone una herramienta de gran aporte para esto y la web semántica como un terreno el cual vale la pena explorar para obtener de ella su máximo provecho.

Materiales y Métodos

La investigación emprendida en esta tesis se fundamenta en un enfoque cuantitativo según (Hernandez Sampiere; Pilar Baptista; Fernández Collado, 2014), incluye la recolección

y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población. El alcance de la investigación es descriptivo. La población objeto de estudio son los estudiantes, docentes y administrativos del programa de Ingeniería de Sistemas. También se contará con experto en reciclaje de la universidad. Se realizará una muestra estratificada por los diferentes actores, en este caso estudiantes, docentes y administrativos del programa de Ingeniería de Sistemas.

Las fuentes primarias de recolección de información seleccionadas para el desarrollo del proyecto serán el guión de preguntas para los expertos en el objeto de estudio y el instrumento diseñado como cuestionario a la comunidad académica del programa de Ingeniería de Sistemas. También se considera la observación directa sobre el proceso de recolección y clasificación de los residuos dentro de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Con la finalidad de abordar la situación problema presentada inicialmente, se realizó un mapeo sistemático para compendiar y analizar estudios sobre la temática que se trata, haciendo uso de un método que fue propuesto por Petersen [7]. Una revisión sistemática de literatura es un método para la revisión e interpretación de los estudios disponibles relacionados con una pregunta de investigación, un tema o un fenómeno de interés en particular [8]. La revisión sistemática se puede realizar sobre investigaciones primarias o secundarias [9], mostrando en ambos unos métodos y procesos que de antemano estén bien establecidos. Para un mayor entendimiento de los aportes de cada uno de los documentos que fueron analizados, se hace uso de las categorías que se sugieren por parte de Wieringa et al. [10].

Resultados y Discusión

Los estudios analizados en este mapeo sistemático de literatura muestran diversas opciones de uso tecnológico para la incentivación del reciclaje. Las papeleras inteligentes realizadas con tecnologías IoT se ven cómo las utilizan para tratar la problemática abordada, estando en algunos casos acompañadas de incentivos para las personas que hagan uso de dichos contenedores, lo que hace que la sociedad encuentre mayor interés en este proceso. En cuanto a las técnicas de inteligencia artificial, no se muestra tanta variedad como la opción mencionada anteriormente, aunque sí demuestra tener muy buenos resultados a la hora de ser aplicado, lo que puede verse como una oportunidad de estudio e implementación de estas herramientas para tener mayor variedad de alternativas en la práctica del reciclaje. La implementación de la tecnología en este tipo de problemáticas demuestra ser un aporte importante en la resolución de las mismas, dando una perspectiva innovadora y atractiva para que las personas hagan uso de ellas. El desarrollo de estas iniciativas supone el mejoramiento de la cultura en cuanto al reciclaje en la sociedad, y por supuesto, el entorno en el que vivimos.

En [11] se realiza un análisis de investigaciones y casos de estudio sobre el etiquetado proambiental en los contenedores de reciclaje, realizándose estudios de campo, teniendo como base la premisa de que el etiquetado proambiental no presenta una orientación de cómo se debe realizar esta práctica correctamente, lo que afecta el medio ambiente por el desconocimiento de las personas. En otra investigación, se enfocan más en las botellas, realizando un diseño de 10 contenedores de reciclaje para botellas PET para investigar el efecto del diseño en la eficiencia de eliminación de tapas y la contaminación del reciclaje teniendo en cuenta 4 tipos, contenedores todo en 1, con visibilidad interior, señalización cerca de la ranura y forma de la ranura [12].

Desde el punto de vista legal, en un estudio se emplea una técnica que es la teoría de la disuasión para investigar si las sanciones que se han diseñado (elementos disuasorios) son lo suficientes para lograr una motivación en los hogares para que participen activamente en el proceso de reciclaje [13]. La severidad percibida de la sanción tiene una influencia positiva y significativa en el comportamiento del cumplimiento para realizar el reciclaje. En Grecia se desarrolló un estudio con 757 personas en el diseño de contenedores, teniendo en cuenta color, forma, tipo de ranura y tapa, la finalidad era conocer algunos elementos que pueden influir en la no participación del proceso del reciclaje [14]. Otros trabajos aplican simulaciones mentales en el proceso del reciclaje, para analizar si esa perspectiva mejora la eficacia potencial de reciclar, teniendo en cuenta la visualización de imágenes, el procesos de este llegando a un resultado [15]. En Johannesburgo se realizó un estudio a través de una encuesta social, para evaluar los factores sociodemográficos, que pueden afectar la participación en la separación de residuos [16].

En lo relacionado con ¿Cuáles son las actividades más comunes relacionadas con tecnología para incentivar el reciclaje?, se tienen en cuenta los siguientes estudios: El primero es un Diseño de infraestructura IoT para gestionar interacciones e intercambio de datos entre los dispositivos inteligentes y la app SmartCiticien, usando contenedores inteligentes o camiones de basura, y luego el uso de la nube para recopilación y análisis de datos de manera oportuna [17]. Otro muestra el diseño de 2 videojuegos en 3D orientados a fomentar el reciclaje dentro de una población estudiantil en Ecuador. La primera, se basa en la recolección de los materiales que pueden ser reciclados, la segunda está más enfocada en la "eliminación" de los residuos que no sean reciclables, hicieron uso de Angular Framework ya que le permitía tener una actualización en tiempo real de un sitio web desde varios dispositivos [18]. A nivel de contenedor se diseña e implementa un contenedor de reciclaje inteligente llamado enviro-bin, filtrando los residuos según si son metales, vidrios o papel con el uso de sensores de proximidad, infrarrojos, inductivo y capacitivo, los cuales permiten detectar la presencia de un material, incluyendo sensores para medir el nivel de llenura de los contenedores propuestos [19].

Para fomentar el reciclaje se realiza la implementación de una prueba piloto con la creación de un token virtual que tiene como nombre RECICLO, que premia e incentiva a través de una aplicación web. Combina tecnologías actuales digitales para la creación de una plataforma que permite realizar el monitoreo y control del flujo de materiales reciclados

desde la casa hasta llegar a su centro de acopio, reconociendo y beneficiando a las familias que realizan esta labor de una manera eficiente, transparente, eficaz, de forma automatizada y efectiva haciendo uso la tecnología blockchain [20]. Con una propuesta de un sistema inteligente de una papelera de reciclaje que realiza autoclasificación para que separe de forma automática los desechos teniendo en cuenta sus materiales mediante unos sensores de luz y de vibración que realizan una diferenciación de la opacidad y usando también las propiedades vibratorias. Con el uso de IoT se envía información del estado actual de los contenedores para la toma de decisiones [4]. Se muestran en varios artículos el papel del sistema de Implementación de IoT para el manejo de los residuos, en [21] se mide la capacidad total de los contenedores propuestos para los residuos, pasando el reporte a las compañías que manejan estos mismos, para que luego tomen las medidas necesarias teniendo en cuenta los datos suministrados a través de dicha implementación. Con la creación de una plataforma de IoT basada en un modelo de agentes que permite la captura, análisis y toma de decisiones para incentivar el proceso de reciclaje de residuos en las ciudades, esto contando con una infraestructura comunicativa de la plataforma IoT, al móvil de los usuarios, con una arquitectura multiagente propuesta [22]. En el diseño de un sistema E-Bin usando Internet de las cosas (IoT) e integración de aplicaciones basadas en la nube. Con esto se logra el monitoreo en tiempo real en el sistema E-bin. Los sensores en el E-Bin permiten recuperar la información en tiempo real sobre el nivel de llenado del contenedor. Los datos que pueden verse por el usuario final muestran históricos de recolección y las recompensas que se han recolectado, esto a través de una app móvil [23].

A nivel de juegos de tiene el trabajo de PadovaGoGreen que es capaz de enseñar a personas de todas las edades cómo unir los distintos botes de basura con el tipo de desecho correspondiente en la ciudad de Padua, proporcionando consejos para y pidiendo ayuda en la limpieza de la ciudad (dentro del juego), para aplicarlo en la vida real [24]. Para el monitoreo de residuos basado en IoT que utiliza el lenguaje de programación PHP para aplicaciones web, Kodular, NodeMCU, algunos sensores ultrasónicos y módulos de GPS para la comunicación y que se garantice la solución del problema [25].

Al querer conocer si ¿Hay investigaciones que demuestren efectividad en el uso de técnicas de inteligencia artificial para incentivar el reciclaje?, se tienen en cuenta los siguientes estudios: se realizan el desarrollo de un sistema que pueda realizar el proceso de separación de los residuos automáticamente y concentrarlos en los contenedores correspondientes haciendo uso de una cámara que realiza la captura de la imagen del material y su posterior clasificación haciendo uso de aprendizaje profundo y raspberry para su implementación real, El sistema que se propuso puede realizar una identificación de los tipos de reciclaje de acuerdo a su respectivo contenedor con una precisión del 77 al 85 %, que se presenta como una cifra considerada para darle validez a los resultados. [5]. También se encuentran trabajos que usan aprendizaje automático y técnicas de predicción aplicando una regresión de aumento de gradiente árboles y modelos de redes neuronales para predecir la generación de residuos semanal y diaria a escala de edificio, recopilando 609 subsecciones y estimando los residuos de más de 750.000 propiedades

en apartamentos de la ciudad de Nueva York [26]. Al realizar una validación cruzada y luego una validación espacial que consta de dos etapas, se indica que este método puede realizar la predicción en cuanto a la generación de desechos con gran precisión. La predicción a nivel general es del 99,8 % para camiones personales y del 93,9 % para ambas rutas.

Con la implementación de un robot, llamado Smart Trash Junior, un basurero mecatrónico que utiliza la visión y reconocimiento de patrones para la identificación de objetos reciclables y que entabla una conversación con los niños para educarlos, dentro de las escuelas primarias, sobre cómo practicar de manera correcta el proceso del reciclaje [27]. Para este caso, se puede incorporar fácilmente al plan de estudios de una escuela, con el maestro en otra sala actuando como el dispositivo CRI, dando a los niños consejos para reciclar. Otro ejemplo es un profesor que se comunica a través de un dispositivo y les da orientaciones a los niños de que el papel reciclado es excelente para salvar árboles. También se creó una aplicación que identifica desechos electrónicos, metálicos y plásticos con el uso de técnicas de aprendizaje automático implementando un sistema de puntos de crédito para incentivar el reciclaje en las personas que llegan a sufrir de pereza al momento de practicar el proceso del reciclaje [28]. Tras la implementación del modelo fue un éxito según cifras que muestran en las pruebas, mostrando una precisión del 88% en E-Waste, 90% en plastic waste y 87% en metal waste, realizando la captura de las imágenes y haciendo una clasificación correcta de ellas, mostrando una solución a la pereza de las personas de acercarse de forma personal a lugares dispuestos para entregar el material que se haya reciclado.

Una de las técnicas más empleadas son las redes neuronales artificiales para la gestión de residuos sólidos. En [29] se usó matlab para obtener resultados deseados. Realización de encuestas para recopilar información y hacer uso de las técnicas nombradas anteriormente para el tratamiento de los datos y saber que tiene mayor influencia en la generación de residuos sólidos en Barangay. Otro estudio, diseñó un modelo que se basó en el aprendizaje de transferencia, teniendo en cuenta un modelo entrenado en el conjunto de datos de ImageNet Visual Recognition Challenge, haciendo uso de 2527 imágenes [30]. Este modelo mostró unos resultados en su prueba final del 87,2 % que se optimizó.

Una vez realizado el mapeo sistemático de literatura se procede al cumplimiento del segundo objetivo que es la representación de conocimiento, para esto se parte de la conceptualización que se toma del estado arte, las respuestas de los expertos y la percepción de miembros de la comunidad académica como estudiantes, docentes y administrativos del programa de ingeniería de sistemas. Posteriormente se selecciona la técnica de representación de conocimiento como las Ontologías y la metodología Methontology, de la cual se seleccionan tareas como glosario de términos, taxonomía de conceptos, diccionarios de conceptos, atributos de instancia y atributos de clase.

Para poder tener clara percepción de la comunidad académica, se diseña un instrumento basándose en la escala de Likert, con una cantidad de 24 preguntas donde se habla

de uso y reciclaje de materiales, entre otros ítems. Con la información recolectada se realiza un pre-procesamiento de los datos y se crea un dataset para ser entrenado en la herramienta SPSS. Adicionalmente con la representación del conocimiento construida y se aplican tareas propuestas en Methontology para la representación semántica.

En la tabla se refleja la incidencia de las preguntas para el modelo de clasificación

Tabla I. Resumen de procesamiento de casos

<i>Resumen de procesamiento de casos</i>		N	Porcentaje
Muestra	Entrenamiento	46	76,7%
	Pruebas	14	23,3%
Válido		60	100,0%
Excluido		1	
Total		61	

En la gráfica se muestra la importancia de las variables independientes

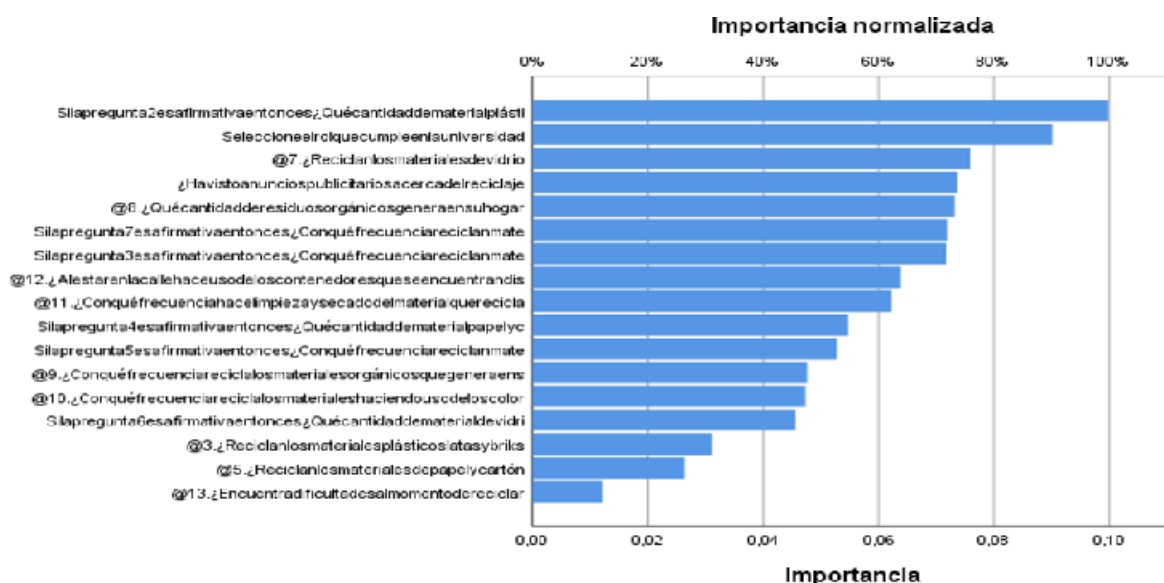


Figura 3. Importancia normalizada de las variables independientes

Para la representación ontológica se desarrollan las siguientes tareas: glosario de términos, diccionario de conceptos, atributos de instancia, atributos de clase entre otros. La taxonomía de conceptos tiene la siguiente representación ya que se consideraron aspectos como normativa, ODS, tipos de reciclaje entre otros.

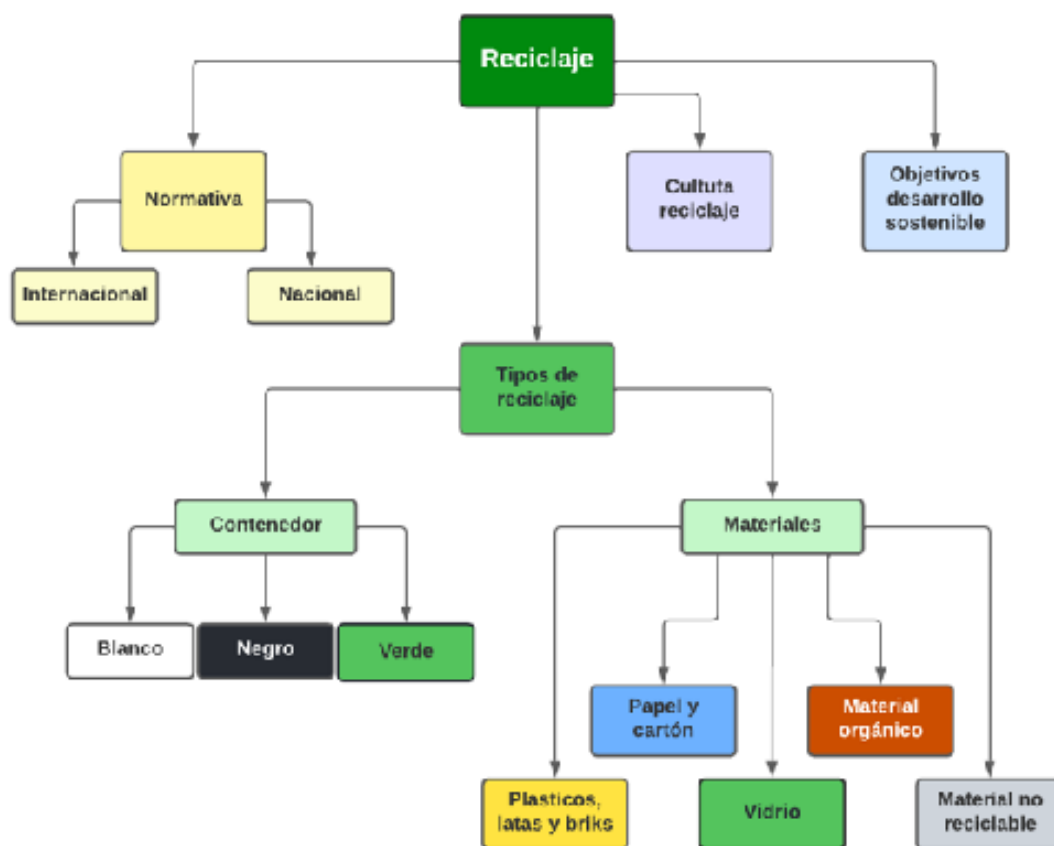


Figura 4. Taxonomía de conceptos

Teniendo en cuenta la caracterización de la información, siguiendo la metodología de Methontology y con la ayuda de la herramienta Protégé, el modelo resultante fue codificado en el lenguaje ontológico OWL. Las clases que fueron definidas en la taxonomía de conceptos, nos dan la base para ir desglosando su información. Para este caso, dichas clases definidas dentro del reciclaje, se agrupan en cultura de reciclaje, normativa, objetivos de desarrollo sostenible y tipos de reciclaje.

Dentro de algunas de las clases podremos encontrar las subclases, como por ejemplo normativa, teniendo a nacional e internacional como dichas subclases, y a contenedores y materiales, como subclases de tipos de reciclaje. A su vez, contenedor tiene a blanco, negro y verde, y materiales tiene a plásticos, latas y brick, papel y cartón, vidrio, residuos orgánicos y material no reciclable. Dicha estructura se muestra en la siguiente figura.

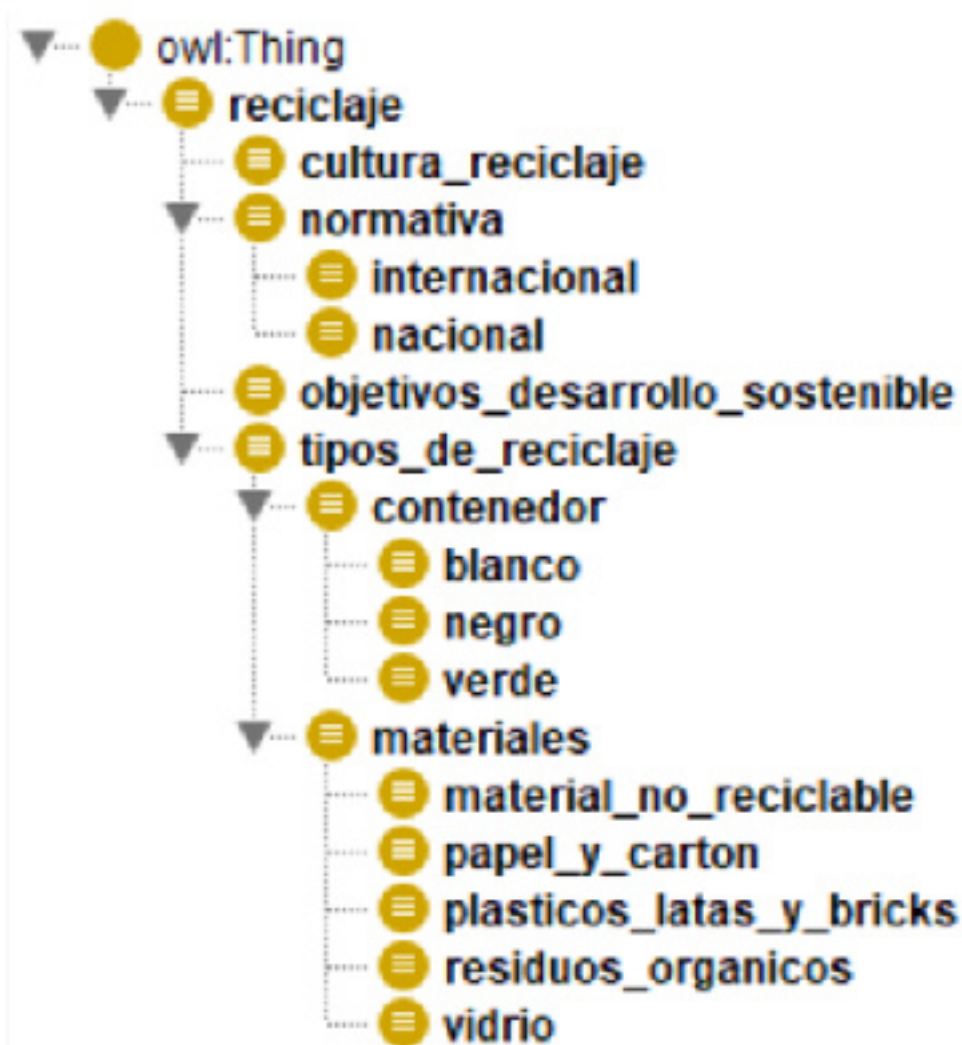


Figura 5. Clases y subclases

En la herramienta se crean las clases, los objetos, los atributos de instancia, donde se describen las propiedades de los conceptos. En los Objetivos de desarrollo sostenible se consideran Ods13: Metas: 13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países. 13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales y 13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

Se hace una descripción de los materiales, sus características, ejemplos como Residuos_organicos:

Características: Generan gases tóxicos al acumularse en una zona.

Ejemplos: Restos de comida, servilletas y papel de cocina usado.

Usos: Abono al descomponerse, Alimento para ciertos animales, tejidos.

Hasta generar el grafico de Ontograf

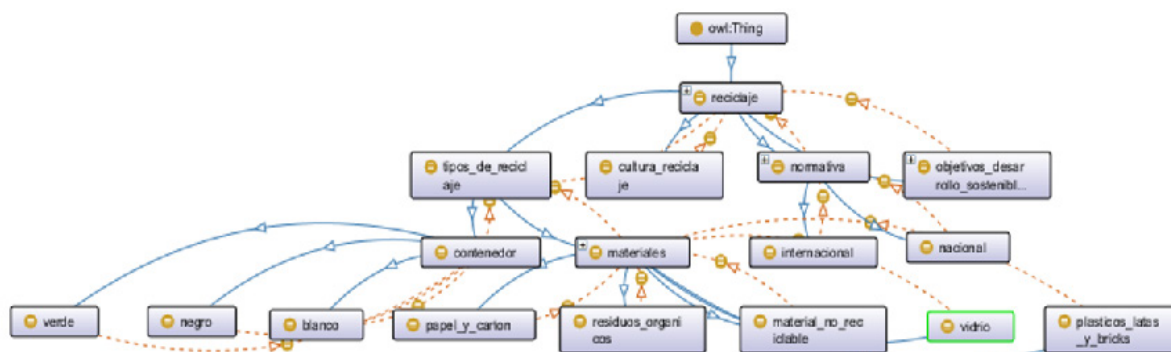


Figura 6. Topología y relación de clases subclases

Teniendo la representación semántica, y basándose en el esquema generado, se procede a realizar el aplicativo web. Este utiliza tecnologías como Html5, Css3 y JavaScript. Se realiza la versión del código con ayuda de la herramienta Git y la plataforma de GitHub para el alojamiento del mismo, estableciendo esta arquitectura para los sistema basado en conocimiento diseñado para la cultura de reciclaje.

Arquitectura del sistema basado en conocimiento



Figura 7. Arquitectura del sistema basado en conocimiento

Dentro de la aplicación se encuentra información sobre el reciclaje, vistos en la representación semántica, tales como conceptos, beneficios, problemáticas, normativa, clasificación de los materiales, entre otros. Para realizar el despliegue, se utiliza el servicio prestado por Netlify, que permite alojar sitios web con solo publicar el proyecto en el alojamiento que brinda.

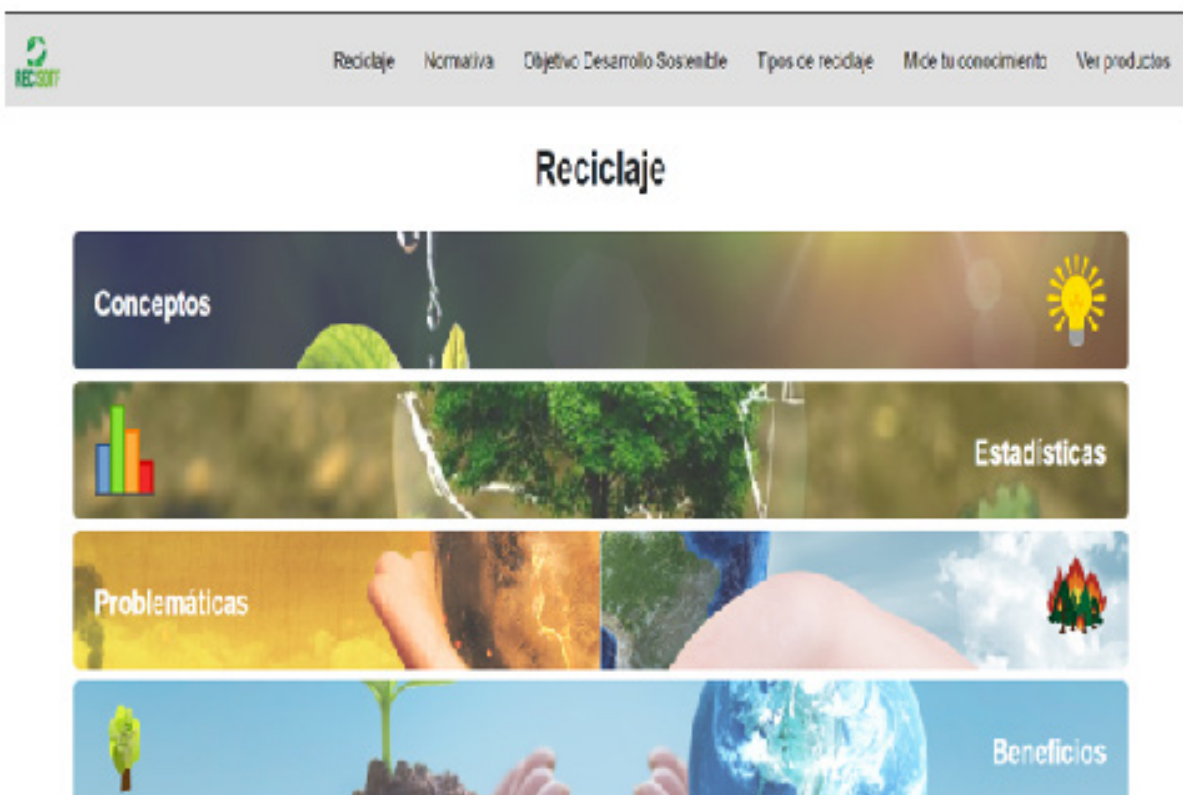


Figura 8. Aplicativo Web

Conclusiones

Se realizó un estado del arte sobre el reciclaje, su tipología y utilidad de los materiales reciclados, desempeñando un papel importante dentro de la realización del proyecto y mostrando con datos y estadísticas la poca cultura que se vive en cuanto al aprovechamiento de los materiales. Para ello se cuentan con varios documentos relevantes, como los oficiales entregados por el DANE y la Cámara de Comercio de Bogotá sobre la generación y reciclaje de los materiales en Colombia. Esta revisión también mostró la influencia de TI en los temas del reciclaje, trabajando soluciones como aplicaciones web, contenedores inteligentes, robots, entre otros, destacando el uso de inteligencia artificial como una propuesta innovadora, tal como se muestra en las investigaciones relacionadas con la web semántica y RNA, como la representación ontológica de peces del Catatumbo y las redes neuronales artificiales sobre la generación

de residuos sólidos.

Se caracterizó el conocimiento partiendo de la conceptualización que se tomó del estado arte, las respuestas de los expertos al guión de preguntas realizado, que en este caso fueron expertos del reciclaje y de la web semántica. También de la percepción sobre el reciclaje de los miembros de la comunidad académica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, teniendo una muestra de 61 personas entre estudiantes, docentes y administrativos del programa de ingeniería de sistemas. Además, la caracterización por medio de un lenguaje formal que permitió tanto la clasificación como la estructuración ontológica implementando técnicas de inteligencia artificial por medio tareas como el glosario de términos, diccionario y taxonomía de conceptos, atributos de instancia y de clase establecidas en la metodología de Methontology.

Se diseñó un modelo de entrenamiento con redes neuronales artificiales, con ayuda de la herramienta SPSS, que permitió la clasificación y representación semántica del objeto del estudio. Este modelo se implementó a través de una aplicación web semántica desarrollada con la herramienta Protégé, y se estructuró utilizando el lenguaje de marcado extensible (XML). La integración de estas tecnologías permitió no solo una clasificación precisa y eficiente de los datos, sino también una representación semántica detallada que mejora la interpretación y el análisis de la información sobre reciclaje.

Referencias

- [1] R. Sanmartín, S. Gladis, L. Zhigue, A. Rosalía, C. Alaña, y T. Patriciav, «EL RECICLAJE: UN NICHOS DE INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO CON ENFOQUE AMBIENTALISTA», *Revista Universidad y Sociedad*, 2017, [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000100005&lng=es&tlng=es
- [2] A. Reyes, N. Pellegrini, y R. Reyes, «Recycling as alternative for solid waste management in Minas of Baruta, estado Miranda, Venezuela», 2015, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376144131008>
- [3] Ecoembes, «Materiales reciclables y su uso», Ecoembes, 8 de septiembre de 2021. <https://ecoembesdudasreciclaje.es/materiales-reciclables-y-su-uso/>
- [4] M. Ismail y A. Ghazali, «IoT Green-Bin: The Development of a Self-sorting Recycle Bin System», *Human Engineering Symposium, HUMENS 2021*, p. 9, 2021, doi: 10.1007/978-981-16-4115-2_37.
- [5] M. Wahab, S. Tay, A. Abdull, A. Mohamed, y M. Mahinderjit, «Smart Waste Management System», *12th National Technical Seminar on Unmanned System Technology, NUSYS 2020*, p. 12, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-2406-3_55.

- [6] N. Leeabai et al., «The effects of color preference and noticeability of trash bins on waste collection performance and waste-sorting behaviors», *Waste Management*, p. 11, dic. 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2020.12.010.
- [7] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, y M. Mattson, «Systematic Mapping Studies in Software Engineering – ScienceOpen», presentado en *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) (EASE)*, jun. 2008. doi: 10.14236/ewic/EASE2008.8.
- [8] B. Kitchenham y S. Charters, «Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering», enero de 2007. Accedido: 10 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/302924724_Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_Reviews_in_Software_Engineering
- [9] G. Tebes, D. Peppino, P. Becker, y L. Olsina, «Proceso para revisión sistemática de literatura y mapeo sistemático», presentado en *XX Simposio Argentino de Ingeniería de Software (ASSE 2019) - JAIIO 48 (Salta)*, may 2020. Accedido: 10 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/135071>
- [10] R. Wieringa, N. Maiden, N. Mead, y C. Rolland, «Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: A proposal and a discussion — University of Twente Research Information», mar. 2006, doi: 10.1007/s00766-005-0021-6.
- [11] J. Catlin, J. Leonhardt, Y. Wang, y R. Manuel, «Landfill or Recycle? Pro-Environmental Receptacle Labeling Increases Recycling Contamination», *Journal of consumer Psychology*, p. 8, oct. 2021, doi: 10.1002/jcpy.1216.
- [12] Q. Jiang, T. Izumi, y H. Yoshida, «The effect of recycling bin design on PET bottle collection performance», jul. 2019, doi: doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.054.
- [13] I. Ogiri, F. Sidique, y M. Talib, «Encouraging recycling among households in Malaysia: Does deterrence matter?», 2019, Accedido: 8 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www-scopus-com.sibdigital.ufpso.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85064569451&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=10.1177%2f0734242X19842328&sid=02c129c8655cdb52fbc462edc2f00d2d&sot=b&sdt=b&sl=29&s=ALL%2810.1177%2f0734242X19842328%29&relpos=0&citeCnt=10&search-Term=>
- [14] K. Keramitsoglou y K. Tsagarakis, «Public Participation in Designing the Recycling Bins to Encourage Recycling», *sustainability*, p. 17, abr. 2018, doi: 10.3390/su10041240.
- [15] J. Zhang, L. Zhao, y S. Hu, «Visualizing recycling: Promoting recycling through mental simulation», nov. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105783.

- [16] F. Okonta y M. Mohlalifi, «Assessment of factors affecting source recycling among metropolitan Johannesburg residents - ScienceDirect», 2020, Accedido: 8 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20300647>
- [17] L. Pelonero, A. Fornaia, y E. Tramontana, «From Smart City to Smart Citizen: Rewarding Waste Recycle by Designing a Data-Centric IoT based Garbage Collection Service», *6th IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2020*, pp. 380-385, sep. 2020, doi: 10.1109/SMARTCOMP50058.2020.00081.
- [18] A. Torres-Toukoumidis, V. Robles-Bykbaev, y M. Cajamarca, «Recycling process through 3D videogame technologies for web platforms in Latin-American context», *2020 IEEE International Symposium on Technology and Society, ISTAS 2020*, 2020, doi: 10.1109/ISTAS50296.2020.9462179.
- [19] M. Makhseed, A. Salam, S. El-Aswad, y S. Esmaili, «Design and Assembly of A Smart Recycling Bin», *2021 3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, jun. 2021, doi: 10.1109/HORA52670.2021.9461315.
- [20] D. Gibovic y A. Bikfalvi, «Incentives for Plastic Recycling: How to Engage Citizens in Active Collection. Empirical Evidence from Spain», *Recycling*, p. 20, abr. 2021, doi: 10.3390/recycling6020029.
- [21] M. Maksimovic, «Leveraging Internet of Things to Revolutionize Waste Management», *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, p. 13, oct. 2018, doi: 10.4018/IJAEIS.2018100101.
- [22] A. Gonzales, P. Chamoso, y R. Casado-Vara, «Internet of Things Platform to Encourage Recycling in a Smart City», en *Internet of Things Platform to Encourage Recycling in a Smart City*, ene. 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.10726-X.
- [23] R. Venushini, N. Yogan, y R. Kanesara, «A Cloud-Based Implementation of IoT System in Recycle Industry», presentado en *BDIOT 2019: Proceedings of the 3rd International Conference on Big Data and Internet of Things*, ago. 2019. doi: 10.1145/3361758.3361764.
- [24] O. Gaggi, F. Meneghello, C. Palazzi, y G. Pante, «Learning how to recycle waste using a game», sep. 2020, doi: 10.1145/3411170.3411251.
- [25] M. Srilatha, C. Abhinav, M. Balaram, y A. Sanjana, «Smart Monitoring and Collection of Garbage System Using Internet of Things», presentado en *2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile*

Networks (ICICV), Tirunelveli, India, mar. 2021. doi: 10.1109/ICICV50876.2021.9388438.

- [26] C. Kontokosta, B. Hong, y N. Johnson, «Using machine learning and small area estimation to predict building-level municipal solid waste generation in cities», jul. 2018, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2018.03.004.
- [27] A. Marcus, K. Pradeep, L. Zhenyang, S. Irvin, y H. Jong, «Robots Teaching Recycling: Towards Improving Environmental Literacy of Children», *HRI '20: Companion to the 2020 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 2020, doi: 10.1145/3371382.3379462.
- [28] K. Acharekar, P. Khedekar, J. Dsouza, y S. Vaidya, «Machine Learning based Recy-Click: Recycle At A Click», jun. 2020. doi: 10.1109/ICOEI48184.2020.9142933.
- [29] J. Cagurungan, R. Factuar, J. Reyes, y D. Torres, «Artificial Neural Network on Solid Waste Generation Based on Five (5) Categories Within Barangay Sagrada Familia in Hagonoy, Bulacan», presentado en 2021 IEEE 13th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), nov. 2021. doi: 10.1109/HNICEM54116.2021.9731914.
- [30] S. Rabano, M. Cabatuan, y E. Sybingco, «Common Garbage Classification Using MobileNet», presentado en 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), nov. 2018. doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666300.