

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

Facultad de Ciencias y Tecnología



Escuela de Informática

Simulación de sistema de clasificación de desechos sólidos basado en
reconocimiento de imagen en el campus de la Universidad Nacional Pedro
Henríquez Ureña (UNPHU)

Propuesta de Trabajo de Grado presentada por

Ángel Marino Del Carpio Castillo

17-1540

Andrés Eduardo Núñez Cordero

18-0011

Santo Domingo, D.N.

2022

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	5
1.1 Antecedentes	6
1.1.1 Proyectos de clasificación de desechos sólidos implementados anteriormente	6
1.1.1.1 Diseño y simulación de un sistema para el reciclaje de aguas grises en el hogar	6
1.1.1.2 Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos	7
1.1.1.3 Diseño de una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos	7
1.1.1.4 Diseño y Construcción de un prototipo automatizado para la clasificación de Residuos Sólidos Urbanos	8
1.2 Definición del problema	8
1.3 Objetivos del proyecto	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Justificación	11
1.4.1 Originalidad	12
1.4.2 Profundidad	13
1.4.3 Impacto	13
1.5 Alcance	14
1.6 Limitaciones	15

CAPÍTULO 2	MARCO TEÓRICO	16
2.1	Conceptos Generales	16
2.1.1	Desechos sólidos	16
2.1.2	Clasificación	16
2.1.2.1	Clasificaciones universales	16
2.1.2.2	Clasificaciones jerárquicas	17
2.1.2.3	Clasificaciones facetadas	17
2.1.2.4	Clasificaciones híbridas	17
2.1.2.5	Clasificaciones especializadas	17
2.1.3	Clasificación de desechos sólidos	18
2.1.3.1	Por atributos, utilidad y origen	18
2.1.3.1.1	Desechos sólidos urbanos	18
2.1.3.1.2	Desechos peligrosos	18
2.1.3.1.3	Desechos de manejo especial	18
2.1.3.2	Por composición	18
2.1.3.2.1	Desechos Orgánicos	18
2.1.3.2.2	Desechos inorgánicos	19
2.1.3.2.3	Desechos peligrosos	19
2.1.3.3	Clasificación de imagen	19
2.1.3.4	Sistema	19
2.1.3.5	Simulación	20
2.1.3.6	Modelado	20
2.1.3.7	Validación de un modelo	20
2.1.3.8	Verificación de un modelo	20
2.1.3.9	Modelos de simulación	21

2.1.3.9.1 Modelos de simulación estáticos vs. dinámicos	21
2.1.3.9.2 Modelos de simulación deterministas vs. estocásticos	21
2.1.3.9.3 Modelos de simulación continuos vs. discretos	22
2.1.3.10 Modelado 3D	22
2.1.3.11 Predicción	23
2.1.3.11.1 Inductivo	23
2.1.3.11.2 Deductivo	23
2.1.3.11.3 Abductivo	23
2.1.3.12 Inteligencia artificial	23
2.1.3.13 Aprendizaje profundo	24
2.1.4 Definición de las Herramientas Tecnológicas Utilizadas	24
2.1.4.1 Simio	24
2.1.4.2 Power BI	25
2.1.4.3 Python	25
2.1.4.4 Anaconda Navigator	25
2.1.4.5 Jupyter Notebook	25
2.1.4.6 Numpy	26
2.1.4.7 TensorFlow	26
2.1.4.8 Sympy	26
2.1.4.9 Keras	26
2.1.4.10 MobileNetV2	27
2.1.5 Conceptos de tecnologías para posible implementación del sistema	27
2.1.5.1 Arduino MKR WIFI 1010	27
2.1.5.2 Módulo de cámara OV7670	27
2.1.5.3 Servo Motor High Torque IP66	27

2.1.5.4	Módulo HX711 transmisor de Celda de Carga	28
2.1.5.5	Celda de Carga 200 Kg	28
2.1.5.6	Modulo Sensor de Proximidad HC-SR04	28
2.1.5.7	Madera Sintética	28
CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO		29
3.1	Diseño de investigación	29
3.2	Técnicas de recolección de datos	30
3.3	Técnicas de análisis de datos	31
3.4	Herramientas de análisis de datos	32
3.4.1	Power BI	32
3.4.2	Python	33
3.4.3	Anaconda Navigator	33
3.4.4	Jupyter Notebook	33
3.4.5	Numpy	33
3.4.6	TensorFlow	34
3.4.7	Sympy	34
3.4.8	Keras	34
3.4.9	MobileNetV2	34
3.5	Fórmulas de análisis de datos	35
CAPÍTULO 4 RESULTADOS		38
4.1	Resultados de funcionamiento de la simulación.	38
4.2	Resultados de proyección de la simulación.	41
4.2.1	Resultados del levantamiento de datos en el campus.	41
4.2.1.1	Semana 1.	42
4.2.1.2	Semana 2.	44

4.2.1.3	Semana 3	46
4.2.1.4	Semana 4.	48
4.2.2	Cálculos de valores estadísticos.	50
4.2.3	Materiales y proporciones estudiadas.	53
4.2.4	Resultados de proyección a futuro de unidades clasificadas	55
4.2.5	Proyecciones para plástico comercializable.	56
4.3	Requerimientos	57
4.4	Estudio de Factibilidad	58
4.4.1	Factibilidad técnica	58
4.4.2	Factibilidad económica	58
CAPÍTULO 5	CONCLUSIONES	60
CAPÍTULO 6	RECOMENDACIONES	62
6.1	Recomendaciones para la UNPHU en caso de implementación	62
CAPÍTULO 7	REFERENCIAS	63
CAPÍTULO 8	ANEXOS	65
8.1	Preguntas de la Entrevista	65
8.2	Resultados Encuestas	66
8.3	Diagrama de funcionamiento de modelo 3D	71
8.4	Tabla de resultados de simulación 3D	71
8.5	Casos de Uso	72
8.5.1	Caso de uso proceso propuesto	72
8.5.2	Caso de uso sistema proceso actual	73
8.5.3	Caso de uso de consultar análisis histórico - Administrador	73
8.6	Diagramas de flujo	74
8.6.1	Diagrama de flujo del sistema propuesto	74

8.6.2	Diagrama de flujo del sistema actual	75
8.7	Reunión personal “Piensa en Verde”	76
8.8	Basureros de las Instalaciones	76

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, le agradezco a Dios por guiarme y ayudarme en esta trayectoria, tanto profesional como personal, y por permitirme lograr todo lo que me he propuesto.

A mi familia, especialmente a mis padres, Mercy y Ángel, a los cuales tengo mil cosas que agradecer, pero entre estas, que a pesar de todos los obstáculos que surgieron en el camino siempre confiaron en mí, me mostraron la forma más bella de ver todo y me apoyaron en todos mis sueños desde el primer día. Angymer, Aurangel y Eric, mis hermanos que siempre me apoyaron y aconsejaron en todo momento. Sin ustedes no sería quien soy.

A mis amistades, especialmente: José Romero, Diego Iglesias y Elías por estar para mí en todo momento, por su cariño y su amor hacía mí, por todos sus consejos, por todas las risas y por todos los llantos juntos y por esos momentos en los que no podía más y me dieron la mano. Gracias por motivarme cada día para llegar a cumplir mi sueño de ser ingeniero.

Por último, agradezco a Andrés Núñez por siempre ser un gran amigo y por aceptar ser mi compañero de tesis, al director Ing. Héctor Santillán, nuestro asesor Ambiorix Liriano, por guiarnos en todo este proceso, brindarnos su apoyo y conocimiento y a José Ramón Romero por su apoyo especial en este trabajo de grado.

Angel Marino Del Carpio Castillo

En primer lugar, agradecer a mi familia, mención especial para mis padres José Gregorio Nuñez y Limery Milena Cordero, por insistir y persistir tanto en mi educación, por hacer todo lo que hacen por mi bienestar y por ser ese apoyo incondicional en mi vida incluso en los momentos más difíciles. Así mismo, agradecer a mi hermano Diego Leonardo Nuñez por recordarme lo que es ser perseverante y por acompañarme en cada paso del camino.

Agradecer así mismo a todos los profesores que acompañaron este trayecto universitario y dedicaron su tiempo para dar lo mejor de sí mismos en pro de mi formación profesional, especiales menciones al profesor Ambiorix Liriano por el tiempo dedicado durante la asesoría de esta tesis y por persistir tanto con nosotros para lograr esta meta agradecer mucho por su tiempo y sus ganas de que triunfemos, también agradecer al profesor José Ramon Romero por ser exigente y hacerme esforzarme y demostrar mi capacidad de progresar y de aprender por mí mismo, sin ustedes esto no hubiese sido posible.

Agradecer a mis amigos. José Romero, Diego Iglesias, Elías Salloum, por su amistad y su apoyo incondicional a lo largo del camino. Agradecimientos a mi novia María Emilia por estar siempre a mi lado y por confiar siempre en mí.

Por último, agradecer a mi amigo y compañero Angel Marino, por la amistad, el cariño y las experiencias, incluyendo este trabajo de grado que ha sido toda una experiencia y un honor compartirlo con él.

Andrés Eduardo Nuñez Cordero

RESUMEN

En la actualidad, uno de los grandes problemas que enfrenta el ser humano como especie es la generación a gran escala de basura, la cual en su mayoría se encuentra en forma de desechos sólidos. Es cierto que hoy en día existen alternativas para procesar estos desechos, como es el caso del reciclaje en el caso de algunos tipos de desechos, por ejemplo, el plástico. En la ciudad de Santo Domingo esta problemática adquiere una dimensión aún mayor, por lo tanto, como estudiantes de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, nos vemos en la necesidad de plantear una alternativa para abordar este problema, desde un enfoque relacionado con la tecnología.

El siguiente trabajo de grado tiene como objetivo simular un sistema de clasificación de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen en el campus de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, recinto Santo Domingo. Para así, demostrar la factibilidad que tendría implementar este sistema en el recinto universitario y los beneficios que traería.

Este trabajo nos brinda la posibilidad de ahorro de tiempo y esfuerzo del empleado encargado de la clasificación manual de los desechos, lo que se traduce en una reducción de horas de trabajo y, por tanto, de gasto económico para la institución, así mismo, que la utilización de los clasificadores aumentará la cantidad de plástico clasificado el cual es comercializado por la institución, lo que también representaría un beneficio económico.

ABSTRACT

Nowadays, one of the major problems facing humans as a species is the large-scale generation of garbage, which we mostly find in the form of solid waste. It is true that today there are alternatives for processing this waste, such as recycling for some types of waste, for example plastic. In the city of Santo Domingo this problem acquires an even greater dimension, therefore, as students of the National University Pedro Henríquez Ureña, we see the need to pose an alternative to address this problem, from a technology-related approach.

The following degree work aims to simulate a solid waste classification system based on image recognition on the campus of the National University Pedro Henríquez Ureña, Santo Domingo campus. To demonstrate the feasibility of implementing this system on the campus and the benefits it would bring.

This work offers us the possibility of saving the time and effort of the employee in charge of the manual classification of waste, which translates into a reduction of working hours and, therefore, of economic expense for the institution, Likewise, the use of classifiers will increase the amount of classified plastic which is marketed by the institution, which would also represent an economic benefit.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el avance tecnológico ha sido extremadamente acelerado y eficaz en atender necesidades básicas e impulso industrial con el fin de traer comodidad al ser humano y mejorar la calidad de vida de la sociedad. Una de estas necesidades en su momento fue la conservación de los alimentos para ser consumidos posteriormente y no en el momento que son recolectados. A la refrigeración le siguieron inventos como el plástico, las latas, el cartón y diversos inventos que, para la época, presentaron una solución no solo para el inconveniente de preservar los alimentos, sino también para hacer más práctico el comercio con el almacenamiento de varios productos y un sin fin de usos que posteriormente se les encontraron a estos. Sin saber que, con el pasar del tiempo estos útiles crearían un problema por sí mismos, el conocido “Problema de la basura”, y es que una vez la vida útil de estos objetos termina, estos no dejan de existir, sino que se convierten en desechos que contribuyen a gran escala con la contaminación y deterioro del medio ambiente, esto debido a que la mayoría de estos no son biodegradables.

A pesar de los grandes esfuerzos que se han logrado a través de los años en la clasificación de desechos sólidos, nuestro país en pleno desarrollo aún tiene mucho por lograr y una enorme capacidad de desarrollar nuevas alternativas para resolver las problemáticas que arraiga este desarrollo. Incurrir por soluciones dentro de organizaciones e instituciones ha demostrado ser la mejor opción de prueba para investigaciones exploratorias.

El presente proyecto está enfocado en representar a través del modelado y simulación, el funcionamiento de un sistema planteado que clasifique los desechos sólidos a través del reconocimiento de imagen en el recinto de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña.

Se pretende exhibir en términos cuantitativos que tan beneficiosa sería la utilización de un sistema como este en los aspectos organizacionales y de procesos, sin considerar profundamente la implementación física, prestamos especial enfoque en la simulación en términos cuantitativos y modelado 3D para validar los resultados de este proyecto y la efectividad de este proceso por medio de reportes posteriores a la simulación.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Proyectos de clasificación de desechos sólidos implementados anteriormente

En este apartado, se contempla proyectos realizados anteriormente que, en mayor o menor medida, han abordado el tema de clasificación de desechos sólidos, los mismos han sido utilizados como guías o referencias para el desarrollo de este proyecto. Así mismo se pretende exhibir en que se diferencian estos del proyecto del cual consiste esta presentación.

1.1.1.1 Diseño y simulación de un sistema para el reciclaje de aguas grises en el hogar

Este proyecto fue realizado en el 2013 en la Universidad Tecnológica de Pereira, se ofrece un sistema de reciclaje de aguas grises, cuyo primordial objetivo es el diseño y simulación que posibilite utilizar esta clase de aguas, este localiza puntos de vista de captación en casa a partir de donde tienen la posibilidad de obtener aguas grises, procedentes de lavados generalmente como: cocinas, lavabo, duchas, conteniendo detergentes, restos de alimentos, materia orgánica y otros contaminantes, se estudiaron las probables necesidades dadas en sistemas de reutilización de aguas grises, y los diferentes esquemas hechos para el sistema, con el objetivo de seleccionar el más conveniente. (Cristian E., David O., Juan R., 2013).

1.1.1.2 Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos

Este proyecto fue realizado por el Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz, México, y se fundamenta en un enfoque sistémico para favorecer la formulación explícita de un modelo teórico de los procesos subyacentes a la prestación de los servicios del medio ambiente hidrológicos, que son el foco de uno de los esquemas de pago que en la actualidad opera la Comisión Nacional Forestal de México. (Pérez-Maqueo, Octavio; Delfín, Christian, 2006).

1.1.1.3 Diseño de una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos

Este proyecto de tesis fue realizado en la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, Ecuador en el año 2015, y se enfoca en el diseño de una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos para ser implementada por una empresa pública municipal de la zona. Planta la cual consta en la caracterización de los residuos sólidos urbanos que se producen en los cantones (instalación para guardar maquinaria y vehículos municipales destinados a la limpieza), además se obtiene la cantidad total de generación de basura, esta información sirve para el dimensionamiento de la planta. Posteriormente se describen los distintos tipos de sistemas de clasificación de residuos sólidos urbanos y la maquinaria empleada para esta labor. (Ing. Enrique Leonardo Ormaza Salamea, 2015).

1.1.1.4 Diseño y Construcción de un prototipo automatizado para la clasificación de Residuos Sólidos Urbanos

Este proyecto fue elaborado en la Universidad de las Américas en Puebla, México, por parte del ingeniero Juan Manuel Hernández Ordóñez en el año 2012. Proyecto que tenía como objetivo presentar un nuevo método de clasificación de residuos sólidos urbanos de acuerdo al tipo de material, por medio de sensores capacitivos que medirán la constante dieléctrica y realizarán la clasificación de los desechos. Se realizó un prototipo a escala para comprobar la efectividad clasificatoria del principio propuesto. El otro objetivo de este sistema es desarrollar una plataforma de aprendizaje que permita al alumno aprender los principios básicos de automatización con PLC's (controladores lógicos programables) además de familiarizarse con componentes reales (actuadores y sensores) de uso común en la industria. (Ing. Juan Manuel Hernández Ordóñez, 2012).

1.2 Definición del problema

Hoy en día el tema de la basura se ha convertido en un tópico cada vez más abordado por gobiernos y organizaciones, por lo tanto, se trata de un tema que concierne cada vez más a la sociedad. Según un informe publicado en la revista Nature, el problema de la basura o los desechos sólidos está alcanzando proporciones inimaginables en la actualidad. Tanto es así que, se estima que para fines de este siglo (2100), la basura se recolecta sobre la base de 11 millones de toneladas por día por todo el mundo, más de tres veces la tasa actual. Implica que la generación de basura que ascendió a 3,5 millones de toneladas por día en 2010 se convertirá en 6 millones de toneladas por día para 2025.

En cuestión de cifras, la República Dominicana es actualmente el cuarto país con mayor generación per cápita de basura en América latina, con un estimado de 1.08 kg por habitantes por día. Quedando por encima de países como Guatemala, Bolivia, Honduras, Cuba y Perú, según el informe del Banco Mundial, 2018 "LOS DESECHOS 2.0".

En cuanto al problema en la ciudad de Santo Domingo, una ciudad de 4.2 millones de habitantes, según el último censo realizado en el año 2020 por la Oficina Nacional de Estadística, la generación de basura es un proceso continuo, y su desecho es una de las inquietudes clave de la ciudad. Además de su población de residentes, la ciudad recibe 2.5 millones de turistas cada año. En promedio, cada persona produce 1.3 kg de basura por día. Debido a esta generación masiva de residuos per cápita, en promedio, la ciudad produce alrededor de 4,000 toneladas métricas de basura por día. La ciudad se enfrenta a un conjunto alarmante de problemas medioambientales causados por la disposición inadecuada de los residuos sólidos. Una gran parte de los desechos se vierte directamente en el Río Ozama por asentamientos informales provocando una continua presencia tóxica de plásticos y otros tipos de residuos peligrosos en el océano.

Este manejo de residuos inadecuado e ineficiente es una de las principales causas de la corriente de basura que termina en la playa de Santo Domingo. La basura recolectada es transportada al vertedero de La Duquesa, al norte de la ciudad. Este vertedero de 123 hectáreas es el único en funcionamiento de la región. Uno de los principales problemas del vertedero es su falta de capacidad y se espera que cierre en los próximos años. Esta es una de las razones principales por las que el manejo de residuos sólidos es una preocupación clave para la ciudad.

En la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña en el recinto Santo Domingo, existen basureros separados que cuentan con inscripciones que sugieren que clase de desechos deben ser arrojados en ellos, pero el estudiantado de la universidad presta poca o más bien nula atención a estas señales, arrojando desechos sin importar su tipo, haciendo difícil la separación de aquellos que son reciclables, de aquellos que no lo son.

Desde la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, recinto Santo Domingo, se propone un proyecto de simulación que compara el rendimiento en términos cuantitativos del sistema de clasificación de desechos sólidos actual y de un sistema propuesto clasificador de desechos sólidos basado en la clasificación de imagen.

Con el fin de abordar el problema de los desechos en general y el problema del plástico, buscando optimizar los esfuerzos logrados en la institución, utilizando como punto de partida la cantidad de desechos sólidos arrojados aleatoriamente en depósitos de basura en el recinto Santo Domingo, inicialmente la simulación utilizará estas cantidades para determinar qué tan eficiente es el método expuesto y que cantidad de desechos sólidos es clasificado de manera idónea y destinado a actividades como el reciclaje. En este sentido, los resultados pretenden exponer que tan beneficioso sería para la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña la implementación en el campus de un proyecto que contase con un sistema de estas características en términos de higiene, salubridad, aprovechamiento de áreas públicas y conservación del medio ambiente.

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo General

Simular un sistema de clasificación de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen en el campus de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU)

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Procesar la información recopilada sobre la necesidad de implementar un contenedor clasificador de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen.
2. Diseñar arquitectura de clasificación utilizando reconocimiento de patrones mediante simulaciones en Python utilizando los datos de MobileNetV2.
3. Desarrollar una simulación 3D del proceso propuesto por medio de Simio.
4. Analizar la factibilidad técnica de la implementación de un contenedor clasificador de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen.

1.4 Justificación

La implementación del machine learning en actividades básicas que se podrían considerar del día a día, es una práctica cuyo desarrollo ha estado en crecimiento durante los últimos años.

En este sentido, la propuesta de simular el funcionamiento de un contenedor clasificador de desechos sólidos basado en el reconocimiento de imagen pretende abordar una de estas problemáticas que podría parecer del día a día, sin embargo, representa una problemática real en la sociedad actual, ya que ataca directamente el problema de la basura en todo tipo de instalaciones.

Se pretende que los resultados expuestos en esta simulación sirvan como base para el desarrollo de proyectos futuros que disminuyan no solamente la participación del ser humano en el proceso de recolección y clasificación de los desechos, lo que implicaría claramente un recorte de gastos en pagos de personal adicional para la clasificación de desechos, disminuyendo así el margen de error en el proceso de recolección y clasificación de los desechos.

Así mismo, este busca exponer en términos cuantitativos, que tanto incrementan las cantidades de desechos que se destinan a actividades que ayudan a aliviar el problema de la basura, como el reciclaje, para aprovechamiento de los materiales que componen los desechos sólidos y como esto, así mismo representa una oportunidad para el recinto en que se aplique en términos de salubridad, aprovechamiento de áreas públicas y conservación del medio ambiente. Los resultados arrojados por esta simulación pretenden exhibir como el desarrollo e implementación de futuros proyectos por ejemplo de domótica, robótica e inteligencia artificial en un futuro no tan lejano que aborden el problema de los desechos sólidos en general y del plástico en lo particular con un sistema de clasificación de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen, pueden resultar beneficiosos para toda aquella organización bien sea pública o privada que decida invertir en una solución de esta índole. Con un enfoque social que implica directamente al tema de salubridad y conservación del medio ambiente.

1.4.1 Originalidad

Los siguientes puntos describen la singularidad de esta simulación con relación a proyectos presentados anteriormente:

- **Proyecto basado únicamente en software.** Al enfocarnos únicamente en la lógica y procesos de estos sistemas, no se contempla la utilización de hardware, sino más bien, en la simulación del funcionamiento de un sistema hipotético que esté basado en el reconocimiento de imagen para clasificar, indistintamente de los componentes de hardware que utilice. Sin embargo, si se contempla la utilización de simulación 3D para validar los resultados de esta simulación.
- **Presentación analítica de resultados.** A través del uso herramientas de visualización de datos y con el fin de identificar problemáticas y oportunidades específicas, como la cantidad de consumo de plástico no reciclable o el tipo de consumo de productos almacenados en residuos sólidos, pretendemos incluir en las características de este proyecto.
- **Cálculo de efectividad de clasificador de imagen a través de machine learning y Mobile Net V2.** Al utilizar las herramientas de Python y Simio se presenta la efectividad y proceso que lleva a cabo este clasificador, para así ser capaz de plantear si esta opción o alguna variante de esta es factible para proceder a un análisis de implementación en el recinto de Santo Domingo de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña. Al utilizar la estructura de MobileNetV2 estaremos tomando una referencia de datos lo suficientemente extensa en concordancia con la magnitud de esta simulación.
- **Exhibición de resultados en términos cuantitativos.** Los resultados que se expongan al final de este proyecto serán de carácter cuantitativo y no cualitativo. No se contempla exhibir funcionamiento práctico de ningún sistema en particular, por otro lado, interesa mostrar en términos numéricos el resultado del proyecto.

1.4.2 Profundidad

El proyecto consiste en el modelado y la simulación de un hipotético sistema basado en el Internet de las cosas (IoT) el cual sería capaz de clasificar los desechos sólidos basado en el reconocimiento de imagen, en pocas palabras, un basurero o contenedor inteligente, aplicable al campus de la UNPHU, recinto de Santo Domingo.

Las etapas del desarrollo del proyecto consisten en el modelado del sistema y su correspondiente simulación, para esto se contrasta el método actual de recolección y clasificación con el propuesto, utilizando como lugar de estudio la planta baja o primer piso del edificio 2 del campus de Santo Domingo. Se toman en cuenta los intervalos de arrojado y se extrapolan a los periodos de actividades diarios de la UNPHU para evaluar el rendimiento de recolección basado en estimaciones estadísticas. De esta manera se evalúa el rendimiento y la factibilidad de una futura implementación.

1.4.3 Impacto

El campus tiene basureros dedicados a diferentes tipos de desechos, con el fin de clasificar estos residuos y poder destinar estos a un mejor propósito, pero este sistema no es óptimo, ya que por diversas razones las personas optan por arrojar sus desechos en basureros que no están destinados a ese tipo de residuos; esto dificulta la clasificación de los desechos y vuelve este método inservible.

Con la presentación de este proyecto se pretende demostrar que tan beneficioso sería eliminar el factor humano a la hora del desecho y clasificación de residuos sólidos en el campus de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, por medio una simulación que utilice machine learning y clasificación automática por reconocimiento de imagen.

De igual manera, el desarrollo de esta simulación viene ligado de la continuidad del proceso; Luego de arrojar los desechos y estos ser clasificados, el modelo de simulación almacena los datos de los desechos recolectados, para así poder realizar reportes de patrones de consumo, cantidad de residuos desechados y analizar estos datos para futuras actividades relacionadas, como, por ejemplo, el reciclaje.

De la mano con la esencia de la institución Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña y su lema "*UNPHU Piensa en verde*", proponemos dedicarles un nuevo propósito a estos desechos ya clasificados, desde vender artículos reciclados, como crear esculturas y cualquier uso que se le puedan dar a los desechos en pro de reducir la contaminación.

Este proyecto pretende demostrar de forma cuantitativa la resolución de la problemática de la basura en el país, comenzando por un área más reducida como lo es la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, utilizando las tecnologías Python y Simio, con la capacidad de escalabilidad sostenible y segura.

1.5 Alcance

Este proyecto se centra en dar a conocer un modelado y simulación de un sistema de clasificación de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen. Este modelado y simulación se plantea para el campus de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, en el recinto de Santo Domingo utilizando como sujeto de estudio la planta baja del edificio 2.

Esta simulación abarca los siguientes puntos:

- Modelado y simulación del funcionamiento del clasificador de residuos sólidos propuesto.
- Modelado y simulación del funcionamiento del clasificador de residuos sólidos actual.
- Resultados comparativos de eficiencia en gráficas entre el proceso de clasificación actual y el proceso de clasificación propuesto.

1.6 Limitaciones

Este proyecto presenta las siguientes limitaciones.

- El proyecto no contempla una implementación física de ningún prototipo que use alguna tecnología en particular.
- Dentro del proceso de modelado de esta simulación solo garantiza precisión de reconocimiento de imagen al analizar un objeto a la vez.
- El modelado de simulación no contempla el análisis de desechos arrojados en conjunto y en un mismo lote. Por ejemplo, un papel, dentro de una botella de plástico que a su vez está dentro de una caja de cartón.
- El modelo de simulación no contempla el seguimiento del destino final de los desechos clasificados. Imposible determinar si efectivamente se reciclaron.
- Esta simulación no contempla la clasificación de desechos arrojados al suelo o a las áreas verdes del recinto universitario de Santo Domingo.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

En esta sección se definirán los conceptos, componentes y herramientas relacionadas al modelo y simulación de un contenedor clasificador de desechos sólidos.

2.1 Conceptos Generales

2.1.1 Desechos sólidos

Los desechos sólidos son los residuos generados bajo el ciclo de consumo diario, los cuales se caracterizan por encontrarse en estado sólido no biodegradable. Estos pueden ser considerados como basura debido a que al no ser reciclados terminan su ciclo de uso.

2.1.2 Clasificación

La clasificación es un sistema de agrupación dentro de un esquema por características comunes por razón de su contenido.

Existen diferentes tipos de clasificación con el fin de poder abarcar todos los campos, entre estas están:

2.1.2.1 Clasificaciones universales

Las clasificaciones universales son aquellas que abarcan todo el conocimiento o todas las materias, teniendo posesión de una gran amplitud, abundando en bibliotecas públicas.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

En esta sección se definirán los conceptos, componentes y herramientas relacionadas al modelo y simulación de un contenedor clasificador de desechos sólidos.

2.1 Conceptos Generales

2.1.1 Desechos sólidos

Los desechos sólidos son los residuos generados bajo el ciclo de consumo diario, los cuales se caracterizan por encontrarse en estado sólido no biodegradable. Estos pueden ser considerados como basura debido a que al no ser reciclados terminan su ciclo de uso.

2.1.2 Clasificación

La clasificación es un sistema de agrupación dentro de un esquema por características comunes por razón de su contenido.

Existen diferentes tipos de clasificación con el fin de poder abarcar todos los campos, entre estas están:

2.1.2.1 Clasificaciones universales

Las clasificaciones universales son aquellas que abarcan todo el conocimiento o todas las materias, teniendo posesión de una gran amplitud, abundando en bibliotecas públicas.

2.1.2.2 Clasificaciones jerárquicas

Las clasificaciones jerárquicas tienen una construcción arborescente y decimal, pues cada clase puede dividirse en diez subclases y así infinitamente. Cada concepto puede estar unido al tema raíz por un camino (un tema no puede colgar de dos ramas distintas del árbol). Estas clasificaciones jerárquicas son fáciles para el usuario porque le producen la sensación de un control sobre todo el conocimiento, pero son poco flexibles y tienen algunas carencias de relaciones semánticas.

2.1.2.3 Clasificaciones facetadas

Se le llama faceta a un punto de vista desde el que se aborda una materia. En estas clasificaciones se eliminan las clases y las subclases y solo funcionan con puntos de vista. Ranganathan, el bibliotecario hindú creador de este tipo de clasificaciones, creó cinco facetas: personalidad, materia, energía, espacio y tiempo. Estas facetas tienen que aparecer en secuencia.

2.1.2.4 Clasificaciones híbridas

Las clasificaciones híbridas son clasificaciones jerárquicas a las que se le añaden facetas por medio de auxiliares. Hay dos maneras: facetas de atributos generales, a cualquier término de la jerarquía; y facetas de atributos especiales, aplicables sólo a algunas partes de la jerarquía.

2.1.2.5 Clasificaciones especializadas

Las clasificaciones especializadas se limitan a un campo concreto del conocimiento y, por lo tanto, necesitan un mayor control terminológico y una mayor especialización y dedicación de los especialistas que la forman y trabajan en ella.

2.1.3 Clasificación de desechos sólidos

Los desechos sólidos pueden clasificarse en función de diferentes factores, los cuales pueden ser los siguientes:

2.1.3.1 Por atributos, utilidad y origen

2.1.3.1.1 Desechos sólidos urbanos

Estos son generados en las áreas urbanas, residenciales y casas como resultado de la eliminación de los materiales usados en actividades domésticas.

2.1.3.1.2 Desechos peligrosos

Proviene de sustancias químicas que existen en la actualidad en la mayoría de productos que se consumen regularmente, pero se convierten en peligro para el ser humano y el medio ambiente al finalizar su vida útil.

2.1.3.1.3 Desechos de manejo especial

Surgen por procesos generadores de desechos sólidos urbanos y pueden ser tóxicos explosivos, corrosivos o reactivos.

2.1.3.2 Por composición

2.1.3.2.1 Desechos Orgánicos

Son aquellos compuestos por desechos de origen biológico, son biodegradables y se descomponen rápidamente.

2.1.3.2.2 Desechos inorgánicos

Son de origen industrial o artificial y demoran cientos de años en desintegrarse.

2.1.3.2.3 Desechos peligrosos

Sustancias químicas corrosivas, ácidos o desechos radioactivos creados por producción industrial pueden amenazar tanto la salud pública como el medio ambiente.

2.1.3.3 Clasificación de imagen

La clasificación de imagen es un proceso que intenta comprender una imagen completa como un todo y tiene como objetivo asignarla a una etiqueta específica. Por lo general, la clasificación de imágenes se refiere a imágenes en las que solo aparece y se analiza un objeto. Por el contrario, la detección de objetos implica tareas de clasificación y localización, y se utiliza para analizar casos más realistas en los que pueden existir varios objetos en una imagen.

La detección de objetos intenta reconocer los objetos en una imagen de entrada clasificando cada objeto y determinando cuadros delimitadores apropiados para los objetos identificados. (Zhendong Su, 2019).

2.1.3.4 Sistema

Un sistema es "un objeto complejo cuyas partes o componentes se relacionan con al menos alguno de los demás componentes"(Mario Bunge,1999).

Un sistema es un conjunto de componentes que se relacionan entre sí para cumplir un propósito en común.

2.1.3.5 Simulación

La simulación de un sistema es la operación de un modelo en términos de tiempo y espacio, lo cual ayuda a analizar el desempeño de un proceso existente o un sistema propuesto. Puede definirse como el proceso de utilizar un modelo para estudiar el desempeño de un sistema.

2.1.3.6 Modelado

El modelado es el proceso de materialización lógica de un modelo que incluye su construcción y funcionamiento. Este modelo pretende ser similar a un sistema real, con esto es posible predecir el efecto en este sistema en caso de ocurrir variaciones de factores.

2.1.3.7 Validación de un modelo

La validación es el proceso donde se compara la representación de un modelo conceptual con el sistema real. Si la comparación es verdadera, entonces es válida, de lo contrario no es válida. Esta comprueba la precisión del modelado efectuado.

La validación del modelo determina que las teorías y los componentes del modelo son correctos y que la representación del modelo de la entidad del problema y la estructura, la lógica y las relaciones matemáticas y causales del modelo son "razonables" para el propósito previsto del modelo. (Sargent, 2011).

2.1.3.8 Verificación de un modelo

La verificación es el proceso donde se comparan la implementación del modelo y sus datos asociados con la descripción conceptual y las especificaciones del modelador.

La verificación tiene como propósito garantizar que se haya utilizado modelo de simulación libre de errores y que el modelo se haya implementado correctamente. Las principales técnicas utilizadas para determinar que el modelo se ha programado correctamente son recorridos estructurados y seguimientos. (Sargent, 2011)

2.1.3.9 Modelos de simulación

2.1.3.9.1 Modelos de simulación estáticos vs. dinámicos

Un modelo de simulación estático es una representación de un sistema en un momento particular, o uno que puede usarse para representar un sistema en el que el tiempo simplemente no juega ningún papel. Por otro lado, un modelo de simulación dinámica representa un sistema a medida que evoluciona con el tiempo.

2.1.3.9.2 Modelos de simulación deterministas vs. estocásticos

Si un modelo de simulación no contiene ningún componente probabilístico se denomina determinista. En los modelos deterministas, el resultado se determina una vez que se ha especificado el conjunto de cantidades de entrada y las relaciones en el modelo, aunque puede tomar mucho tiempo de computadora para evaluar el resultado.

Sin embargo, muchos sistemas deben modelarse con al menos algunos componentes de entrada aleatorios, y estos dan lugar a modelos de simulación estocástica. La mayoría de los sistemas de colas e inventarios se modelan estocásticamente.

Los modelos de simulación estocástica producen resultados que en sí mismos son aleatorios y, por lo tanto, deben tratarse sólo como una estimación de las verdaderas características del modelo.

2.1.3.9.3 Modelos de simulación continuos vs. discretos

La simulación de sistemas continuos se refiere al modelado a lo largo del tiempo de un sistema mediante una representación en la que las variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo. Por lo general, los modelos de simulación continua involucran ecuaciones diferenciales que brindan relaciones para las tasas de cambio de las variables de estado con el tiempo. Si las ecuaciones diferenciales son particularmente simples, pueden resolverse analíticamente para dar los valores de las variables de estado para todos los valores de tiempo como una función de los valores de las variables de estado en el tiempo 0. Sin embargo, para la mayoría de los modelos continuos, las soluciones analíticas no son posibles y las técnicas de análisis numérico se utilizan para integrar las ecuaciones diferenciales numéricamente, dados valores específicos para las variables de estado en el tiempo.

La simulación de sistemas discretos se refiere al modelado de un sistema a medida que evoluciona con el tiempo mediante una representación en la que las variables de estado cambian instantáneamente en puntos separados en el tiempo. Estos puntos en el tiempo son aquellos en los que ocurre un evento, donde un evento se define como una ocurrencia instantánea que puede cambiar el estado del sistema.

2.1.3.10 Modelado 3D

El modelado 3D es la técnica utilizada para crear formas en tres dimensiones a través de softwares especializados, el modelado 3D trata de asemejarse al trabajo de un escultor al construir una obra, con el modelado 3D el diseñador crea desde cero la imagen que desea mostrar. (Arcux, 2017)

2.1.3.11 Predicción

Una predicción es un pronóstico a veces basado en conocimientos previos, hechos o evidencias, esto es determinado por los diferentes tipos de predicción, los cuales pueden ser:

2.1.3.11.1 Inductivo

Las predicciones se pueden generar de forma inductiva proyectando sucesos pasados en el futuro.

2.1.3.11.2 Deductivo

El tipo de predicción deductiva se genera derivando las consecuencias lógicas que se derivan de establecer una hipótesis.

2.1.3.11.3 Abductivo

Este es un tipo de predicción que, a partir de la descripción de un hecho o fenómeno, ofrece o llega a una hipótesis que explica las posibles razones o motivos del hecho mediante las premisas obtenidas, este requiere comprensión, en otras palabras, se necesita entender cómo funcionan las cosas.

2.1.3.12 Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) no es una tecnología nueva, pero su impacto recién comienza a sentirse, ya que las industrias y las personas comienzan a comprender las posibilidades que la IA puede ofrecer. La IA está configurada para transformar los negocios y desarrollar procesos más óptimos y escalables, creando nuevas oportunidades para emprendedores, líderes empresariales y trabajadores en todas las industrias.

La IA hace posible que las máquinas aprendan de los resultados y de patrones, se ajusten a nuevas entradas y realicen procesos como seres humanos. La mayoría de los ejemplos de inteligencia artificial recurren mayormente al aprendizaje profundo (Deep Learning) y al procesamiento del lenguaje natural. Usando estas tecnologías, los computadores tienen la posibilidad de ser entrenados para realizar procesos concretos procesando gran cantidad de datos y reconociendo patrones en los datos. *“El porcentaje de inteligencia que no es humano está creciendo y eventualmente los humanos representamos un porcentaje de inteligencia mínimo en el mundo”* (Musk, 2020).

2.1.3.13 Aprendizaje profundo

El aprendizaje profundo (deep learning) es una forma compleja de aprendizaje automático que permite a las computadoras resolver problemas de percepción, como el reconocimiento de imágenes y de voz, estos métodos de aprendizaje profundo, como las redes neuronales artificiales profundas, utilizan múltiples capas de procesamiento para descubrir patrones y estructuras en conjuntos de datos muy grandes. Cada capa aprende un concepto de los datos sobre los que se basan las capas posteriores. El aprendizaje profundo no depende del procesamiento previo de datos y extrae características automáticamente. (Rusk,2016).

2.1.4 Definición de las Herramientas Tecnológicas Utilizadas

2.1.4.1 Simio

Es un sistema de modelado, simulación y animación 3D de flujo de procesos por eventos discretos, basado en un enfoque mixto que enlaza objetos y procedimientos para producir modelos de comportamiento de sistemas industriales, logísticos y de servicios. (Simio, 2022).

2.1.4.2 Power BI

Microsoft Power BI es una herramienta de inteligencia comercial de visualización de datos que brinda a los usuarios herramientas de análisis de datos, principalmente incorporando Python, R y Excel. La plataforma de Power BI es intuitiva y posee integración confiable con otros productos de Microsoft, además de posibilidad de acceso a una amplia gama de API's open-source para incrementar el potencial de los reportes.

2.1.4.3 Python

Python es un lenguaje de programación de propósito general de alto nivel que se usa comúnmente en proyectos de inteligencia artificial y proyectos de aprendizaje automático con la ayuda de bibliotecas como TensorFlow y Keras. Como lenguaje de secuencias de comandos con una arquitectura modular, sintaxis simple y herramientas de procesamiento de texto enriquecido, Python se usa a menudo para el procesamiento de lenguaje natural.

2.1.4.4 Anaconda Navigator

Anaconda Navigator es una interfaz gráfica de usuario implementada para Python y R, que le permite al usuario iniciar aplicaciones y administrar paquetes, entornos y canales sin usar comandos de línea de comandos. (Anaconda,2021).

2.1.4.5 Jupyter Notebook

El Jupyter Notebook es una plataforma informática interactiva basada en la web que permite a los usuarios crear narraciones basadas en datos y código que combinan código en vivo, ecuaciones, texto narrativo, visualizaciones, tableros interactivos y otros medios. (Jupyter, 2015).

2.1.4.6 Numpy

NumPy es una biblioteca de Python utilizada para trabajar con matrices. Forma la base de poderosas bibliotecas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo como TensorFlow, y tienen amplias aplicaciones, entre ellas reconocimiento de voz e imágenes, aplicaciones basadas en texto, análisis de series temporales y detección de video. (Numpy, 2017).

2.1.4.7 TensorFlow

TensorFlow es una plataforma de código abierto base para el aprendizaje automático. Tiene un ecosistema completo y flexible de herramientas, bibliotecas y recursos de la comunidad que permite a los investigadores impulsar lo último en aprendizaje de máquina y a los desarrolladores crear e implementar fácilmente aplicaciones basadas en aprendizaje de máquina. (TensorFlow, 2015).

2.1.4.8 Sympy

SymPy es una biblioteca de Python para matemáticas simbólicas que tiene como objetivo representar un sistema de álgebra computacional, es decir, con la habilidad de trabajar con ecuaciones y fórmulas simbólicamente, en lugar de numéricamente, con funciones, manteniendo el código lo más simple posible para que sea comprensible y fácilmente extensible. (Sympy, 2020).

2.1.4.9 Keras

Keras es una biblioteca de redes neuronales artificiales de código abierto que está desarrollada en Python y puede ejecutarse sobre diferentes plataformas como TensorFlow o Theano. Fue desarrollado con el objeto de facilitar un proceso de experimentación rápida.

2.1.4.10 MobileNetV2

MobileNet es una estructura de red neuronal convolucional que se basa en una red residual invertida donde las redes residuales se encuentran entre las capas de cuello de botella, para evitar errores en la estructura. La arquitectura de MobileNetV2 está compuesta por la primera capa de convolución completa con 32 filtros y la segunda capa de 19 capas de cuello de botella residuales.

2.1.5 Conceptos de tecnologías para posible implementación del sistema

2.1.5.1 Arduino MKR WIFI 1010

Es utilizado para ejecutar el modelo de inteligencia artificial para clasificar los desechos sólidos y almacenar los datos en la base de datos por medio de WiFi.

2.1.5.2 Módulo de cámara OV7670

Este módulo de cámara cuenta con una lente de 300K píxeles, especialmente diseñada para aplicaciones de procesamiento de imágenes. Se basa en la interfaz de comunicación lógica del transistor, por lo que es ideal en compatibilidad con el controlador Arduino.

2.1.5.3 Servo Motor High Torque IP66

Este dispositivo pequeño con una fuerza de giro de 77 libras que funciona por ejes posicionales, que se utiliza para direccionar los desechos sólidos al contenedor correspondiente. El motor es controlado por una señal eléctrica que determina la cantidad de movimiento del eje.

2.1.5.4 Módulo HX711 transmisor de Celda de Carga

Este transmisor para celdas de carga, permite obtener una lectura confiable y con buena precisión del nivel del peso actual del contenedor.

2.1.5.5 Celda de Carga 200 Kg

Esta celda es un transductor que permite convertir la fuerza aplicada en una señal eléctrica, el cual se utiliza para determinar el nivel de peso de un contenedor o un objeto.

2.1.5.6 Modulo Sensor de Proximidad HC-SR04

Este dispositivo es un sensor de distancia de bajo costo, se utiliza frecuentemente en la robótica y electrónica, utiliza transductores de ultrasonido para detectar objetos, lo cual permite conocer el nivel de capacidad del contenedor.

2.1.5.7 Madera Sintética

La madera sintética es un material que representa una alternativa sostenible e inteligente en el uso de maderas especialmente para exteriores. que se utiliza actualmente en la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña para el ensamblaje de sus contenedores de desechos sólidos.

CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO

Este proyecto plantea la idea de que puede ser beneficioso desde un punto de vista totalmente cuantitativo, la utilización de un hipotético sistema que sea capaz de clasificar los desechos sólidos basado en el reconocimiento de imagen. Para ello, se desarrollará el modelado y simulación del funcionamiento de dicho sistema, con el fin de exponer las ventajas, desventajas y viabilidad de una futura posible implementación.

3.1 Diseño de investigación

Para desarrollar este trabajo y exhibir los resultados planteados al inicio del modelado, se necesitan distintas instancias de investigación. Siendo la primera, la utilización de datasets que nos proporcionen ejemplos de aquello que se pretende clasificar, de manera tal que el software de simulación pueda recibirlos como data, para esto se recurrió a un proceso de investigación online de datasets utilizables.

En segunda instancia, se requieren estudios de campo, con vistas a recopilar información relacionada al proceso actual de recolección y clasificación de desechos sólidos en la UNPHU campus Santo Domingo, y la cantidad en que estos se recolectan y se clasifican con el método actual, teniendo en cuenta que, para esta simulación, las cantidades que el modelo utilice como datos serán las mismas.

Los resultados expuestos luego de realizadas ambas instancias dependen de las herramientas de investigación y desarrollo que, en este caso son informáticas y estadísticas. Cabe destacar que, los resultados que se pretenden exhibir son del tipo cuantitativo, de manera tal que, se logre el propósito de demostrar si existiría o no algún beneficio del uso de un sistema que clasifique desechos sólidos basado en el reconocimiento de imagen.

3.2 Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos que servirán de fundamento de esta investigación, se utilizaron las siguientes técnicas.

- **Utilización de Dataset ImageNET.** En este caso en particular, el dataset ImageNet se utilizó para la recolección de los sets de imágenes que utilizará el software para su proceso de aprendizaje durante el reconocimiento de imagen.

ImageNet es un conjunto de referencia de más de 14 millones de imágenes etiquetadas a mano con información sobre los objetos que representan. Los algoritmos aprenden a clasificar los objetos de las fotos en diferentes categorías. Casi todos los sistemas de visión por computadora se entrenan de esta manera antes de ajustarlos en un conjunto de imágenes más específico para diferentes tareas. (*New Scientist Magazine, Matt Reynolds*).

- **Encuesta.** Esta técnica se empleó para recopilar información con respecto a la percepción de la población universitaria (incluyendo a estudiantes, profesores, personal de servicio y personal de seguridad), sobre cómo manipulan sus desechos una vez consumido el producto adquirido, si creen que se clasifican correctamente y sobre cuales creen que son los mecanismos empleados para esta clasificación. De esta manera, se obtiene información que sirve para tomarla en cuenta a la hora del modelado, y se pretende que el resultado de la simulación mejore en términos cuantitativos lo que se percibe a partir de estas encuestas.

- **Trabajo de campo.** Esta investigación se empleó para recoger muestras, informaciones o evidencias sobre hechos que podrían aportar a la investigación. Para este proyecto se realizó un estudio en el recinto de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña en el edificio número 2, en el cual se registró la frecuencia de desechos sólidos arrojados en los contenedores y el tipo de desechos sólidos arrojados. Con esta información se procedió a realizar proyecciones de estos factores para optimizar el modelo de simulación.
- **Tour Piensa en Verde.** Con la ayuda del departamento “Piensa en Verde” de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, se realizó un recorrido guiado por los encargados del departamento y se esquematiza el proceso de recolección y clasificación actual implementado se identificaron los puntos de calor del proceso mencionado anteriormente. El departamento proveyó información específica de cada etapa del proceso para tener un mejor entendimiento de los esfuerzos realizados por la institución UNPHU.

3.3 Técnicas de análisis de datos

Posteriormente a la recolección de los datos, es necesario mencionar las técnicas empleadas en el análisis inicial de los datos recolectados. Entre ellas estarían, definir el tipo del modelado de simulación en sí mismo, el tipo de software que realizará el análisis de los datos.

- **Modelo Determinista Discreto.** Las condiciones de salida no se modifican en este tipo de modelo, así mismo, estas salidas están afectadas por la aleatoriedad que supone un proyecto de esta índole.
- **Redes neuronales convolucionales.** Software utilizado para que el sistema aprenda la clasificación del tipo de desecho según la imagen que tome como referencia.

Una red neuronal convolucional es un algoritmo de aprendizaje profundo que puede tomar una imagen de entrada, asignar importancia (pesos y sesgos aprendibles) a varios aspectos/objetos en la imagen y ser capaz de diferenciar uno de otro. El preprocesamiento requerido en ImageNet es mucho menor en comparación con otros algoritmos de clasificación. Mientras que en los métodos primitivos los filtros están diseñados a mano, con suficiente capacitación, ImageNet tiene la capacidad de aprender estos filtros/características. (Towards Data Science, Sumit Saha, 2018).

- **Algoritmo de regresión.** Esta técnica va correlacionada con el uso de las redes neuronales y en este caso la utilización de algoritmos de regresión permite que el software haga las comparaciones con los datos históricos almacenados, en el dataset ImageNet con respecto al dato que se le introduce, para luego ser clasificado, de esta manera se espera la correspondencia entre el valor introducido y el dato almacenado.

Básicamente, la regresión toma una gran cantidad de datos diferentes con diferentes pesos de importancia y los analiza con datos históricos para proporcionar objetivamente un resultado final.

3.4 Herramientas de análisis de datos

Los recursos de software que se utilizaron para llevar a cabo las simulaciones se describen a continuación.

3.4.1 Power BI

Microsoft Power BI es una herramienta de inteligencia comercial de visualización de datos que brinda a los usuarios herramientas de análisis de datos, principalmente incorporando Python, R y Excel. La plataforma de Power BI es intuitiva y posee integración confiable con otros productos de Microsoft, además de posibilidad de acceso a una amplia gama de API's open-source para incrementar el potencial de los reportes.

3.4.2 Python

Python es un lenguaje de programación de propósito general de alto nivel que se usa comúnmente en proyectos de inteligencia artificial y proyectos de aprendizaje automático con la ayuda de bibliotecas como TensorFlow y Keras. Como lenguaje de secuencias de comandos con una arquitectura modular, sintaxis simple y herramientas de procesamiento de texto enriquecido, Python se usa a menudo para el procesamiento de lenguaje natural.

3.4.3 Anaconda Navigator

Anaconda Navigator es una interfaz gráfica de usuario implementada para Python y R, que le permite al usuario iniciar aplicaciones y administrar paquetes, entornos y canales sin usar comandos de línea de comandos. (Anaconda,2021)

3.4.4 Jupyter Notebook

El Jupyter Notebook es una plataforma informática interactiva basada en la web que permite a los usuarios crear narraciones basadas en datos y código que combinan código en vivo, ecuaciones, texto narrativo, visualizaciones, tableros interactivos y otros medios. (Jupyter, 2015)

3.4.5 Numpy

NumPy es una biblioteca de Python utilizada para trabajar con matrices. Forma la base de poderosas bibliotecas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo como TensorFlow, y tienen amplias aplicaciones, entre ellas reconocimiento de voz e imágenes, aplicaciones basadas en texto, análisis de series temporales y detección de video. (Numpy, 2017)

3.4.6 TensorFlow

TensorFlow es una plataforma de código abierto base para el aprendizaje automático. Tiene un ecosistema completo y flexible de herramientas, bibliotecas y recursos de la comunidad que permite a los investigadores impulsar lo último en aprendizaje de máquina y a los desarrolladores crear e implementar fácilmente aplicaciones basadas en aprendizaje de máquina. (TensorFlow, 2015)

3.4.7 Sympy

SymPy es una biblioteca de Python para matemáticas simbólicas que tiene como objetivo representar un sistema de álgebra computacional, es decir, con la habilidad de trabajar con ecuaciones y fórmulas simbólicamente, en lugar de numéricamente, con funciones, manteniendo el código lo más simple posible para que sea comprensible y fácilmente extensible. (Sympy, 2020)

3.4.8 Keras

Keras es una biblioteca de redes neuronales artificiales de código abierto que está desarrollada en Python y puede ejecutarse sobre diferentes plataformas como TensorFlow o Theano. Fue desarrollado con el objeto de facilitar un proceso de experimentación rápida.

3.4.9 MobileNetV2

MobileNet es una estructura de red neuronal convolucional que se basa en una red residual invertida donde las redes residuales se encuentran entre las capas de cuello de botella, para evitar errores en la estructura. La arquitectura de MobileNetV2 está compuesta por la primera capa de convolución completa con 32 filtros y la segunda capa de 19 capas de cuello de botella residuales.

3.5 Fórmulas de análisis de datos

Para realizar el análisis de los datos y la simulación en conjunto con las herramientas expuestas anteriormente. Las fórmulas a utilizar son:

- **Indicador de eficacia:** Este indicador determina la relación entre los resultados obtenidos y los deseados. Es decir, este mide el desempeño del proceso implementado frente a lo previsto. El valor de este indicador es porcentual y cuanto más cercano al 100%, más eficaz será el proceso.

$$Eficacia = (Resultados Obtenidos / Resultados Deseados) \times 100$$

- **Tiempo:** Es en sentido general una magnitud física utilizada para medir la duración y separación de los hechos y acontecimientos. Esto permite ordenar acontecimientos en una secuencia, de la cual derivan las nociones de pasado, futuro y presente, lo cual determina la simultaneidad de los eventos.

$$T = d/V$$

- **Media aritmética:** También conocida como promedio de un conjunto, la media aritmética es una medida de tendencia central que se utiliza en muestras de una población muy grande para obtener la suma de todos los valores de muestra divididos por el conteo total de muestras, de manera tal que se obtiene el promedio de todos los valores juntos. Se utiliza para realizar operaciones estadísticas con poblaciones muy difíciles de medir debido a su cantidad.

$$\text{Media aritmética} = \frac{\sum_1^N x_i}{N} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{N}$$

- **Desviación estándar:** También conocida como desviación típica, es una medida de dispersión que expresa la dispersión media o esperable de una variable, típicamente la media aritmética del conjunto de muestra. La desviación estándar señala la cantidad de espacios en la que es más probable que se encuentren la mayor cantidad de valores dentro del muestreo.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (x_i - \bar{X})^2}{N}}$$

- **Puntuación Z para intervalos de confianza estadística:** Dependiendo del nivel de confianza que se espera obtener del cálculo estadístico de margen de error, se utiliza la siguiente tabla de coeficientes o puntuación de un valor "Z".

Nivel de confianza	Puntuación Z
80%	1.282
85%	1,44
90%	1.645
95%	1,96
99%	2.576

- **Margen de error estadístico:** El margen de error se puede definir como el nivel de incertidumbre con respecto al error que puede existir en un muestreo aleatorio y este a su vez puede definir el nivel de confianza de los resultados de la investigación.

$$\text{Margen de error: } Z * \sigma / \sqrt{n}$$

donde:

Z= Puntuación de confianza seleccionado σ = Desviación estándar

n = Tamaño de la muestra

- **Intervalo de confianza:** Como su nombre lo indica, un intervalo de confianza es un rango de valores dentro del cual se puede intuir que estén los parámetros reales de población investigados. Para el cálculo de este intervalo se utiliza.

Intervalo de confianza = [Media aritmética - margen de error, media aritmética + margen de error]

CAPÍTULO 4 RESULTADOS

4.1 Resultados de funcionamiento de la simulación.

Con el fin de determinar la factibilidad del trabajo de grado propuesto se desarrolló un modelo de simulación representando el sistema a implementar, estructurado de la siguiente manera:

El siguiente bloque presenta los paquetes y librerías necesarias descritas anteriormente.

Predicción de Imagenes

```
def importImages(filename):
    trashCanState = System( plastic = 0, paper = 0, trash = 0)
    ## Modelo de deep learning -- Preentrenado
    mobile = tf.keras.applications.mobilenet_v2.MobileNetV2()

    #Abrir imagen y adaptar tamaño
    img = image.load_img(filename,target_size=(224,224))

    # Convertir imagen a vector y comenzar preprocesamiento
    resized_img = image.img_to_array(img)
    final_image = np.expand_dims(resized_img,axis=0)
    final_image = tf.keras.applications.mobilenet.preprocess_input(final_image)

    # Predicción
    predictions = mobile.predict(final_image)
    results = imagenet_utils.decode_predictions(predictions)
    return(results)
```

La siguiente función utiliza las clasificaciones de ImageNet, tomando como parámetros los resultados obtenidos luego del procesamiento de las imágenes a recolectar.

División de predicción de imágenes

```
def Classifier(results,state):  
    #Classes  
    Plastic = {'plastic_bag','bottlecap','water_bottle','water_jug'}  
    Paper = {'carton','toilet_tissue','toilet_paper','bathroom_tissue','paper_towel',  
            'notebook','dust_wrapper','book_jacket','dust_cover','dust_jacket'}  
    init = state  
    if(results[0][0][1] in Plastic):  
        init.plastic = state.plastic + 1  
        return("Plastic")  
    else:  
        if(results[0][0][1] in Paper):  
            init.paper = state.paper + 1  
            return("Paper",init)  
        else:  
            if(results[0][1][1] in Plastic):  
                init.plastic = state.plastic + 1  
                return("Plastic",init)  
            else:  
                init.trash = state.trash + 1  
                return("Trash",init)
```

La función presentada, genera fechas aleatorias entre el mes a comparar (julio) para luego utilizarlas como campos en la reportería de resultados.

Generador de Fechas Aleatorias

```
def random_date(start, end):  
    delta = end - start  
    int_delta = (delta.days * 24 * 60 * 60) + delta.seconds  
    random_second = randrange(int_delta)  
    return start + timedelta(seconds=random_second)
```

El siguiente bloque representa la simulación unificada; luego de crear una matriz donde se almacenan los datos recopilados, se determina la fecha inicial (22 de junio del 2022 6:00:00 AM) y la fecha final (14 julio del 2022 10:00:00 PM). Esta simulación genera predicciones de los desechos sólidos ingresados dentro de los intervalos de arrojamiento, calculados a través del trabajo de campo, tomando en cuenta la desviación estándar, con un intervalo de confianza de 80%.

Una vez determinados los intervalos de arrojamiento de desechos sólidos, la simulación clasifica la imagen insertada y la almacena en la matriz creada.

Clasificación de Imágenes Recolectadas

```
In [13]: # Dataset of photos
File = namedtuple("File", "name path date definition")

files = []

# fecha de inicio a simular y fecha final
d1 = datetime.strptime('07/1/2022 06:30 AM', '%m/%d/%Y %I:%M %p')
d2 = datetime.strptime('07/31/2022 10:00 PM', '%m/%d/%Y %I:%M %p')

trashCanState = System(plastic = 0, paper = 0, trash = 0)

p = Path("./test")

# Promedio de basura desechada dentro de desviación estándar
promedioTiempoDesechado = randrange(4,5)

while (d1 < d2):
    for item in p.glob("**/*"):
        if item.suffix in [".png", ".jpeg", ".jpg"]:
            name = item.name
            path = Path.resolve(item).parent
            fecha = d1
            result = importImages("./test/"+item.name)

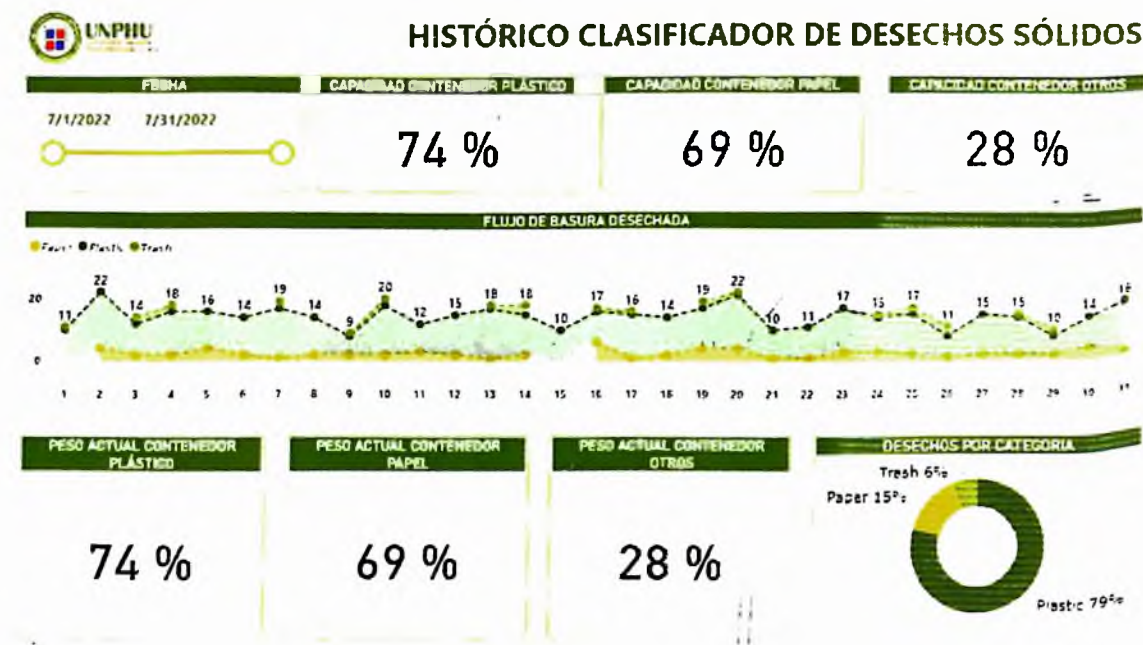
            definition = Classifier(result, trashCanState)
            files.append(File(name, path, fecha, definition[0]))
            d1 += timedelta(minutes=promedioTiempoDesechado)
```

Una vez recopilados los datos de los desechos sólidos arrojados, se exporta la matriz a un archivo con formato CSV para realizar reporte de resultados.

Exportar Resultados a Excel

```
df = pd.DataFrame(files, columns=['Name', 'Path', 'Date', 'Definition'])
df.to_csv('DatabaseTrashClassification.csv', mode='a', index=False, header=False)
print("Data appended successfully.")
Data appended successfully.
```


El siguiente reporte presenta un histórico de los datos procesados en la simulación, para así poseer información tangible que puede ser crucial para la toma de decisiones en diferentes ámbitos de la recolección de desechos sólidos.



4.2 Resultados de proyección de la simulación.

En esta sección se exhiben los resultados de la investigación de campo realizada en el campus de la UNPHU, el levantamiento de datos tuvo lugar en la planta baja del edificio 2 del campus universitario, recinto de Santo Domingo, debido a la presencia de la cafetería, que se presume como uno de los lugares en todo el campus que más desechos sólidos genera al día.

4.2.1 Resultados del levantamiento de datos en el campus.

Durante un periodo de 4 semanas, se realizaron mediciones de intervalos de tiempo entre arrojadas de desechos sólidos en distintos basureros del área del primer piso del edificio 2. Se seleccionaron 3 días por semana de manera aleatoria en horarios distintos para poder contrastar los intervalos de arrojado en distintos horarios y distintos días, considerando las diferencias de concurrencia por día.

Lugar de observación	Primer piso Edif. 2
Días de trabajo de campo	12
Horas de observación totales	16:20
Datos de muestra	209

4.2.1.1 Semana 1.

- **Martes 22/06/2022**

Cafetería Edif. #2. Martes 11:43 AM, Periodo de medición 1:30 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	0:06:22
	0:04:47
	0:02:12
	0:01:20
	0:10:42
	0:01:54
	0:01:55
	0:01:46
	0:09:12
	0:01:18
	0:00:43
	0:00:30
	0:04:47
	0:04:05
	0:03:01
	0:02:10
	0:04:43
	0:03:50
	0:00:41
	0:00:26
	0:03:09
	0:02:00
	0:00:21
	0:01:36
	0:09:37
	0:01:33
	0:04:15

- **Miércoles 23/06/2022**

Cafetería Edif. #2. Miércoles. 5:12 PM, Periodo de medición 1:10 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	0:03:29
	0:04:13
	0:00:38
	0:00:22
	0:00:49
	0:01:46
	0:03:32
	0:08:02
	0:05:40
	0:01:22
	0:04:18
	0:10:44
	0:07:34
	0:00:51
	0:09:42
	0:03:12

- **Jueves 24/06/2022**

Cafetería Edif. #2. Jueves. 3:20 PM, Periodo de medición 1:10 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	0:07:13
	0:13:07
	0:06:23
	0:01:22
	0:01:53
	0:11:31
	0:02:55
	0:20:53

4.2.1.2 Semana 2.

- **Lunes 27/06/2022**

Cafetería Edif. #2. Lunes 12:23 PM Periodo de medición 1:30 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:03:36
	00:07:05
	00:01:42
	00:00:05
	00:07:23
	00:04:52
	00:00:08
	00:03:56
	00:04:20
	00:00:17
	00:01:06
	00:03:09
	00:01:15
	00:07:25
	00:00:47
	00:04:13
	00:00:26
	00:05:23
	00:07:27
	00:05:30
	00:06:18
	00:00:51
	00:02:19
	00:05:45
	00:02:39

- **Miércoles 29/06/2022**

Cafetería Edif. #2. Miércoles 9:52 AM Periodo de medición 1:15 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:04:09
	00:02:34
	00:00:23
	00:02:41
	00:00:55
	00:05:22
	00:01:00
	00:01:56
	00:05:48
	00:03:37
	00:05:01
	00:07:32
	00:02:19
	00:06:40
	00:03:41
	00:02:38
	00:00:42
	00:07:15
	00:00:50
	00:05:36
	00:02:12

- **Viernes 01/07/2022**

Cafetería Edif. #2. Viernes 2:18 PM Periodo de medición 1:15 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:03:46
	00:10:17
	00:00:49
	00:02:58
	00:10:37
	00:08:20
	00:10:57
	00:11:08
	00:05:28

4.2.1.3 Semana 3

- **Miércoles 06/07/2022**

Cafetería Edif. #2. Miercoles 1:37 PM Periodo de medición 1:40 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:06:20
	00:06:58
	00:02:36
	00:03:01
	00:02:01
	00:03:37
	00:04:09
	00:01:07
	00:04:08
	00:04:16
	00:05:04
	00:06:34
	00:05:17
	00:01:50
	00:03:04
	00:03:29
	00:02:53
	00:07:08
	00:00:39
	00:02:18
	00:10:39

- Jueves 07/07/2022

Cafetería Edif. #2. Jueves 10:11 AM Periodo de medición 1:00 hr	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:04:24
	00:00:37
	00:01:35
	00:06:45
	00:02:12
	00:03:38
	00:03:44
	00:07:27
	00:04:08
	00:00:35
	00:06:42
	00:03:48
	00:07:59

- Viernes 08/07/2022

Cafetería Edif. #2. Viernes 5:31 PM Periodo de medición 2:00 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:11:41
	00:00:22
	00:07:56
	00:02:20
	00:11:05
	00:05:32
	00:10:35
	00:03:52
	00:06:44
	00:04:55
	00:01:51
	00:10:55
	00:02:56
	00:03:28
	00:10:06
	00:11:43
	00:11:27

4.2.1.4 Semana 4.

- Lunes 11/07/2022

Cafetería Edif. #2. Lunes 4:10 PM Periodo de medición 1:30 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:02:36
	00:04:37
	00:05:33
	00:00:35
	00:02:30
	00:04:13
	00:01:55
	00:07:23
	00:03:57
	00:04:02
	00:07:46
	00:07:10
	00:04:52
	00:06:43
	00:02:06
	00:05:18
	00:03:49
	00:06:42
	00:02:36

- **Martes 12/07/2022**

Cafetería Edif. #2. Martes 2:35 PM Periodo de medición 1:10 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:01:38
	00:01:33
	00:02:38
	00:02:21
	00:07:38
	00:06:30
	00:01:11
	00:03:07
	00:01:31
	00:01:18
	00:06:18
	00:03:34
	00:04:47
	00:04:51
	00:01:19
	00:04:05
	00:07:52
	00:01:24

- **Martes 14/07/2022**

Cafetería Edif. #2. Jueves 6:03 PM Periodo de medición 1:10 hrs	
Basureros sin señalización	Intervalos de arrojado hrs:min:seg
	00:04:31
	00:01:21
	00:02:18
	00:03:50
	00:04:28
	00:02:34
	00:04:14
	00:03:36
	00:04:23
	00:00:05
	00:02:10
	00:05:49
	00:11:53
	00:07:46
	00:06:20

4.2.2 Cálculos de valores estadísticos.

Una vez recolectados los datos de las arrojadas de desechos sólidos en intervalos, se cuenta con una muestra de 209 mediciones para un total de 16 horas de observación repartidas en 4 semanas. Se procedió a la transformación de unidades, de formato tiempo a formato numérico, por ejemplo:

MIN	SEG	Mediciones totales
6,37	382	0:06:22
4,78	287	0:04:47
2,20	132	0:02:12
1,33	80	0:01:20
10,70	642	0:10:42
1,90	114	0:01:54
1,92	115	0:01:55
1,77	106	0:01:46
9,20	552	0:09:12
1,30	78	0:01:18
0,72	43	0:00:43
0,50	30	0:00:30
4,78	287	0:04:47
4,08	245	0:04:05
3,02	181	0:03:01
2,17	130	0:02:10

donde se observa que, 0:06:22 equivale a 382 segundos o 6.37 minutos, de manera tal que ahora es posible realizar el cálculo de los valores de tendencia central estadísticos.

- **Media aritmética o promedio:**

Media aritmética (arrojado)

0:04:23

4,39

Para todos los valores de arrojadas se determinó que, en promedio, ocurrirá una arrojada de desechos cada 0:04:23 o lo que es lo mismo 4.39 minutos.

- **Desviación estándar:**

Desviación estándar

3,24

Este valor promedio presentó una desviación estándar de +- 3.24 minutos, en los que se presume ocurrirían la mayor cantidad de arrojadas utilizando como referencia el valor promedio.

- **Margen de error e intervalo de confianza:** Para determinar cuál es la certeza de que la mayor cantidad de valores se encuentren cerca del valor promedio a razón de \pm la desviación estándar, se determinó el margen de error de esta estimación basados en la muestra poblacional, para ello fue necesario asumir un nivel de confianza del 80% con un coeficiente $Z = 1.28$, siendo "Z" una variable que representa un valor estadístico relacionado al nivel de confianza deseado para una muestra poblacional.

Nivel de confianza	Puntuación Z
80%	1.282
85%	1,44
90%	1.645
95%	1,96
99%	2.576

- **Cálculo de Intervalo de confianza:**

Z Confianza al 80%
1,28
Margen de error
0,2865
Intervalo de confianza
4,1010
4,6741
[4,1010 - 4,6741]

De estos resultados se concluye que, con un 80% de confianza, la mayor cantidad de arrojadas en los basureros de la UNPHU en el área del primer piso del edificio 2 ocurrirán en este intervalo de tiempo [4.10 min, 4.67 min].

4.2.3 Materiales y proporciones estudiadas.

Para este mismo periodo se pudo observar que, en 209 mediciones, en 163 de ellas se arrojaron piezas de plástico en cualquiera de sus presentaciones, en 42 se arrojaron piezas de papel o cartón y sólo en 4 se arrojaron piezas de otros tipos de residuos que no entren en ninguna de las anteriores 2 categorías.

Material	Proporción	%
Plástico	163/209	78%
Papel/Cartón	42/209	20%
Otros	4/209	2%

- **Fundas plásticas de los basureros:** En el primer piso del edificio 2 de la universidad todos los basureros independientemente de su tamaño utilizan las mismas fundas con la misma capacidad: 55 galones o 208.198 litros y ocupan un volumen de 624,195.13 cm³ con un volumen utilizable aproximado de 499,356.12 cm³, por lo que se asume la capacidad máxima

óptima para estas fundas de 100 piezas de plástico, ya que el único desecho sólido arrojado en esta área con el que la universidad comercializa y tiene fines de reciclaje es el plástico.

Capacidad máxima estimada de plástico por funda 100 Unidades plástico

- **Medidas promedio de las piezas de plástico:** Basado en las observaciones, las piezas de plástico más vendidas y arrojadas en el área del primer piso del edificio 2 son las siguientes:

Tipo Plástico	Peso estimado x unidad (gr)	
Botella	6,5 gr	
Contenedor de comida	4,00 gr	Peso medio de Plástico
Cubierto	2,3 gr	4,27 gr

Basado en las observaciones, se ha determinado que el tiempo de ventas en el área de la cafetería no sigue ningún patrón en particular, además del hecho de que no necesariamente los desechos que la cafetería del edificio 2 produce, terminan siendo arrojados en los basureros del área. Es por ello que, con motivos del modelado y la simulación en 3D, se asume que las ventas que producen desechos que serán arrojados en los basureros del área ocurren en un intervalo de tiempo aleatorio determinados por los valores de la distribución uniforme entre 0.5 y 4 minutos.

Tiempo estimado de atención y ventas cafetería edif. 2
0,5 - 4 min (Selección de valores aleatorios, distribución uniforme)

4.2.4 Resultados de proyección a futuro de unidades clasificadas

Utilizando los datos y las estimaciones obtenidas hasta ahora, fue posible proyectar a futuro los resultados de la utilización del basurero clasificador por reconocimiento de imagen.

Se estima que los sábados la capacidad productora de desechos de la universidad se reduce un 70%, considerando factores como, la menor concurrencia de estudiantes, los periodos de apertura de las cafeterías y la reducción de horario de apertura de la universidad en general. No se descarta que la capacidad se reduzca más allá de un 70%, sin embargo, esta tendencia es variable por cuatrimestre.

Se consideran días de jornadas de 17 horas, que son las horas operativas de la universidad, desde las 6:00 AM - 11:00 PM. Los resultados obtenidos no consideran días con eventos especiales como tours de estudiantes de nuevo ingreso por citar un ejemplo. Los siguientes datos, son el resultado de las corridas con parámetros de tiempo distintos con el simulador en 3D.

- **Medidas para días de semana de 17 horas:**

Material	Unidades aproximadas clasificadas por día (17 hrs)	Sábados, arrojadas reducen un 70%
Plástico	361	108
Papel/Cartón	92	28
Otros	13	4

- **Medidas para semanas más sábados:**

Material	Unidades aproximadas clasificadas por semana (5 días de 17 hrs)	Más sábados
Plástico	1812	1920
Papel/Cartón	442	470
Otros	47	51

- **Medidas mensuales más sábados del mes:**

Material	Unidades aproximadas clasificadas por mes (20 días de 17 hrs)	Más sábados
Plástico	7049	7481
Papel/Cartón	1861	1973
Otros	189	205

4.2.5 Proyecciones para plástico comercializable.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, sobre que el único tipo de desecho producido y arrojado en esta zona con el que la universidad comercializa es el plástico, se calcularon la cantidad de fundas por periodo que se estarían produciendo, así como el peso de estas, basado en el valor promedio de la pieza de plástico antes determinado, ya que el peso de las fundas es fundamental a la hora de negociar el precio de las mismas.

- **Fundas y capacidades alcanzadas:**

	Fundas de plástico clasificado generadas al día (17 hrs)	Capacidad
	3	100%
	1	61%
Total	4	

	Fundas de plástico clasificado generadas a la semana (estimadas)	Capacidad
	19	100%
	1	20%
Total	20	

	Fundas de plástico clasificado generadas al mes (estimadas)	Capacidad
	74	100%
	1	81%
Total	75	

- **Pesos proyectados por periodo:**

Peso estimado de plástico clasificado (Kg)	Periodo
1,54	Día
8,20	Semana
31,94	Mes

4.3 Requerimientos

Para poder realizar de manera óptima las funcionalidades propuestas en el modelo de un contenedor clasificador de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen en la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña se detallan los requerimientos para la implementación del modelo:

1. Comprobar que los resultados obtenidos por medio de la simulación se ajustan al planteamiento del modelado de sistemas.
2. Estimar si los datos concluidos se ajustan a la cantidad de desechos sólidos que se procesan en proporción al campus de la Universidad Pedro Henríquez Ureña, recinto Santo Domingo.
3. Identificar y documentar los errores y valores atípicos arrojados por la simulación.
4. Realizar un análisis de datos obtenidos a través de la simulación.

4.4 Estudio de Factibilidad

En base a la estructura del proyecto propuesto, se llevó a cabo el estudio de factibilidad con el fin de obtener información para poder tomar decisiones referentes a la implementación de un contenedor clasificador de residuos sólidos. A continuación, se muestra la estructura de la investigación:

4.4.1 Factibilidad técnica

Esta factibilidad da a conocer la viabilidad de desarrollar un contenedor clasificador de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen, utilizando los recursos técnicos que tiene en la actualidad la UNPHU.

En este modelo propuesto se plantea la utilización de una API, la cual permite la conexión entre el modelo de simulación propuesto y las herramientas de reportería, estas conexiones se llevan a cabo a través del lenguaje de Python, y una base de datos en la nube; debido a los bajos recursos necesarios, esta implementación puede adecuarse a los recursos técnicos de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña.

En conclusión, al contar con esta API y la conexión a la base de datos, queda bajo la estructura técnica de la institución, por lo cual el contenedor clasificador propuesto es factible técnicamente.

4.4.2 Factibilidad económica

Este análisis permite determinar si es factible económicamente llevar a cabo la implementación del contenedor clasificador basado en reconocimiento de imagen en la Universidad Pedro Henríquez Ureña. Resulta importante resaltar que este proyecto significa un avance en el área del reciclaje y posicionaría a la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña como la primera universidad del país que cuenta con un sistema de este tipo.

A continuación, se describen los costos de los recursos físicos esenciales para el desarrollo de este proyecto:

Recursos Materiales		
Hardware	Cantidad de materiales	Precio RD\$
Arduino MKR WIFI 1010	1	2,500
Módulo de cámara OV7670 de Atomic Market	6	3,500
Servo Motor High Torque IP66 de 77.2 lbs	1	2,000
Módulo HX711 Transmisor de Celda de Carga	1	1,100
Celda de Carga 5KG	1	600
Modulo Sensor de Proximidad HC-SR04	1	600
Madera Sintética 3 1/2" x 1 3/4" x 96"	50	20,000
Total	58	30,300

Considerando la factibilidad técnica, se concluye que si es viable la adquisición de los recursos para fabricar el contenedor por parte de la UNPHU, aunque por supuesto, esto implicaría una inversión considerable en materiales, sin embargo, se estiman dos grandes ventajas en la construcción de los contenedores, las cuales son: ahorro de tiempo y esfuerzo del empleado encargado de la clasificación manual de los desechos, lo que se traduce en una reducción de horas de trabajo y por lo tanto, de gasto económico para la institución, así mismo, se estima que la utilización de los clasificadores aumentará la cantidad de plástico clasificado, el cual es comercializado por la institución, lo que también representaría un beneficio económico.

Dicho esto, la inversión de construir los contenedores se vería reducida si se decidiera construir en masa para cubrir más de un edificio, por el hecho de comprar las piezas al por mayor.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

Este trabajo de grado tiene como objetivo modelar y simular el funcionamiento de un sistema de basurero clasificador de desechos sólidos basado en el reconocimiento de imagen en el campus de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, recinto Santo Domingo, y poder demostrar cómo la utilización de un sistema de estas características mejoraría el modelo actual de recolección y clasificación de desechos sólidos en caso de existir dicho método.

Para lograr los objetivos específicos planteados se realizó un trabajo de investigación que incluyó los siguientes pasos:

1. Con el fin de procesar la información recopilada sobre la necesidad de implementar un contenedor clasificador de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen, se realizaron encuestas y trabajos de campo en el recinto de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, además del recorrido por cortesía del departamento de la UNPHU "Piensa en verde", con el fin de conocer los procesos actuales de recolección de datos.
2. Para obtener resultados más certeros en el diseño de la arquitectura de clasificación utilizando reconocimiento de patrones mediante simulaciones en Python utilizando los datos de MobileNetV2 y en el desarrollo de la simulación 3D del sistema propuesto por medio de simio, se realizaron estimaciones y proyecciones estadísticas para realizar el modelado del sistema propuesto.
3. En base al análisis de factibilidad técnica de la implementación de un contenedor clasificador de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen realizado por medio de investigación sobre las herramientas utilizadas, se determinó que esta implementación resultaría viable para la institución.

Teniendo en cuenta lo obtenido, luego de estos pasos, se pudo concluir que, en términos cuantitativos no existe un proceso sistemático y periódico de clasificación de desechos sólidos por parte del personal de la universidad encargado del área de desechos sólidos, es decir que, si bien se hacen esfuerzos por clasificar los desechos, no existen actualmente registros de las cantidades y proporciones arrojadas y los periodos en los

que estas ocurren, sino más bien, solo se clasifican aquellos desechos que son comercializables y los periodos de comercialización son en su mayoría determinados por el tiempo en el que se pueda reunir el peso deseado para ofrecer al comprador.

Es por esto, que sólo es posible obtener las cantidades de plástico comercializado actualmente, sin embargo, no es posible obtener las cantidades de plástico clasificado por periodos de tiempo, y la proporción de este con respecto a otro tipo de residuos.

En este sentido, se considera que el modelo propuesto por la simulación presentada en este proyecto, mejoraría considerablemente al método actual de recolección y clasificación de desechos sólidos, considerando la eficiencia alcanzable por la inteligencia artificial a la hora de clasificar los desechos sólidos, puesto que se eliminaría el factor humano a la hora de realizar este proceso, lo que, a su vez, implica una reducción del presupuesto destinado a realizar la clasificación. Otros factores a considerar son las posibilidades de llevar registros históricos sobre lo clasificado y comercializado por periodo de medición. Teniendo en cuenta la capacidad máxima óptima de las bolsas definidas en la simulación, se puede concluir que los tiempos de recolección del plástico comercializable también se verían reducidos puesto que, se pretende que cada funda alcance esta capacidad óptima con el clasificador, por lo que se podría lograr el peso ideal comercializable en periodos más cortos y medibles, carentes de la aleatoriedad que proporciona el modelo actual.

Por último, se demuestra que una futura implementación de un sistema con estas características, contribuiría a técnicas de tratamiento de desechos sólidos que abordan el problema de la basura, no sólo en la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, sino en la ciudad de Santo Domingo.

CAPÍTULO 6 RECOMENDACIONES

En esta sección se presentan algunas recomendaciones para tener en cuenta de cara al futuro, para consideraciones de una posible implementación.

6.1 Recomendaciones para la UNPHU en caso de implementación

- Cambiar las fundas de los contenedores clasificadores periódicamente durante el transcurso del día, preferiblemente antes de que las fundas alcancen su capacidad máxima de volumen.
- Con miras a favorecer el funcionamiento del departamento “UNPHU piensa en verde”, llevar un recuento de las estadísticas del clasificador, no solo con motivo de evaluar el rendimiento del dispositivo, sino también con miras de implementar cada vez en más edificios del recinto Santo Domingo y para que estas cifras sirvan de apoyo para futuras investigaciones.
- Para el correcto funcionamiento del futuro dispositivo, se sugiere introducir los desechos por separado, de esta manera se optimiza el rendimiento, puesto que el clasificador podría presentar alguna falla si se introdujesen desechos juntos o uno dentro de otro.
- Si se implementa el dispositivo, se recomienda colocarlo en áreas de alta concurrencia de estudiantes (cafeterías o comedores), de manera tal que ayudará con el proceso de clasificación en áreas donde se producen mayor cantidad de desechos.
- Para una predicción óptima, se recomienda utilizar múltiples cámaras, en todas las perspectivas lineales.

CAPÍTULO 7 REFERENCIAS

- Grupo de Investigación de Economía Ecológica. (2016, abril 14). La basura: consecuencias ambientales y desafíos. <https://eco.mdp.edu.ar/institucional/eco-enlaces/1611-la-basura-consecuencias-ambientales-y-desafios>
- Espinal Velásquez, C. (2013). Diseño y simulación de un sistema para el reciclaje de aguas grises en el hogar. <https://repositorio.utp.edu.co/items/f4fa5fb2-02df-40e4-940e-1a7d89dfb228>
- Pérez-Maqueo, O., Delfín, C., Fregoso, A., Cotler, H., & Equihua, M. (2006). Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907805.pdf>
- Ormaza, E. (2015). Diseño de una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8979/1/UPS-CT005269.pdf>
- Hernández, J. (2012). Diseño y Construcción de un prototipo automatizado para la clasificación de Residuos Sólidos Urbanos. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/hernandez_o_jm/
- Banco Mundial. (2018). Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos. <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- Sandler, M., & Howard, A. (2018). MobileNetV2: The Next Generation of On-Device Computer Vision Networks. <https://ai.googleblog.com/2018/04/mobilenetv2-next-generation-of-on.html>
- TutorialsPoint. (2017). Modeling & Simulation. https://www.tutorialspoint.com/modelling_and_simulation/modelling_and_simulation_tutorial.pdf

Reynolds, M. (2017). New computer vision challenge wants to teach robots to see in 3D. <https://www.newscientist.com/article/2127131-new-computer-vision-challenge-wants-to-teach-robots-to-see-in-3d/>

Saha, S. (2018). A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks — the ELI5 way. <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53>

Bunge, M. (1999). Diccionario de filosofía, México, Siglo XXI, p. 196

Nestlé Dominicana. (2022). Desechos sólidos: Qué son, tipos y cómo gestionarlos. <https://www.nestleagustoconlavida.com/re/desechos-solidos-como-gestionarlos>

Wang, S., & Su, Z. (2019). Metamorphic Testing for Object Detection Systems. <https://arxiv.org/pdf/1912.12162.pdf>

Martínez, M. (2016). Propuesta de un modelo de Sistema Integrado de Gestión de la Información Documental para las organizaciones. https://zagan.unizar.es/record/62116/files/texto_completo.pdf

Comunidad Baratz. (2021). Los principales sistemas de clasificación que han existido y existen en las bibliotecas. <https://www.comunidadbaratz.com/blog/los-principales-sistemas-de-clasificacion-que-han-existido-y-existen-en-las-bibliotecas/>

Rusk, N. (2016). Highly multiplexed imaging and Deep Learning. <https://www.nature.com/articles/nmeth.3707.pdf>

CAPÍTULO 8 ANEXOS

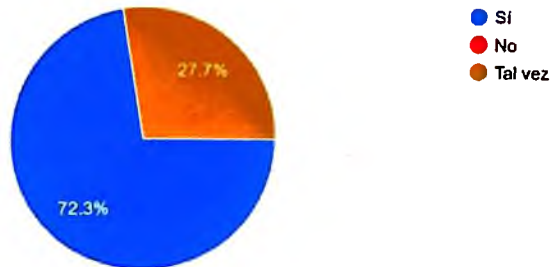
8.1 Preguntas de la Entrevista

1. ¿Sabe usted qué es el reciclaje?
2. ¿Sabe usted dónde se debe desechar correctamente la basura?
3. ¿Conoce alguna técnica de reciclaje?
4. ¿Cree usted que en las instalaciones de la UNPHU se hacen intentos por cuidar el medio ambiente?
5. ¿Conoce usted la clasificación de desechos?
6. ¿Cree usted que en la institución UNPHU se hacen esfuerzos por clasificar los desechos?
7. ¿Cree usted que los integrantes de la institución están realmente concientizados de la importancia de la clasificación de desechos y el reciclaje?
8. ¿Considera usted que la UNPHU pone a su disposición suficientes contenedores bien señalizados para el reciclaje?
9. ¿En qué edificio consideras que se generan más desechos?
10. ¿Crees que el método actual de clasificación de desechos sólidos es eficiente?
11. ¿Consideras que el factor humano podría perjudicar en diferentes aspectos la clasificación de desechos sólidos?
12. ¿Cree usted que se podrían emplear métodos más eficientes?
13. ¿Considera usted que un sistema el cual sólo posea una opción de entrada, y éste, por medio de un programa basado en reconocimiento de imagen, clasifique por sí sólo, podría optimizar el proceso de clasificación de desechos sólidos?
14. ¿Considera usted que este método tendría una mejor relación efectividad/costo para la institución (UNPHU)?
15. ¿Considera usted que esto resolvería el problema de los desechos en el recinto universitario?

8.2 Resultados Encuestas

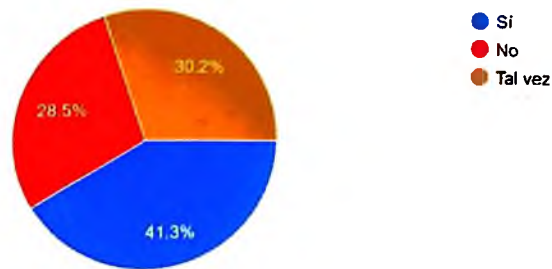
¿Sabe usted que es el reciclaje?

235 respuestas



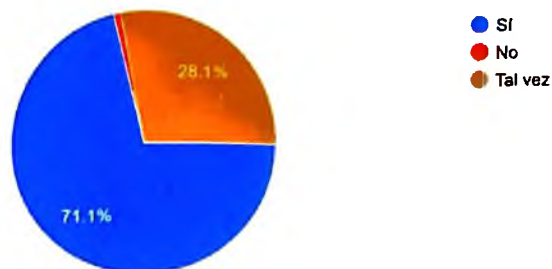
¿Sabe usted dónde se debe desechar correctamente la basura?

235 respuestas



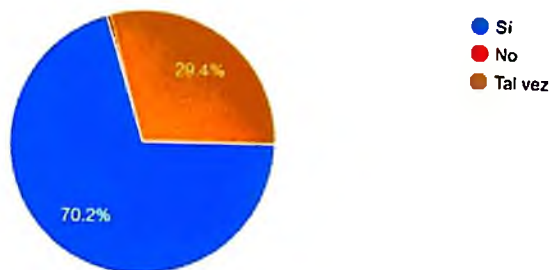
¿Conoce alguna técnica de reciclaje?

235 respuestas



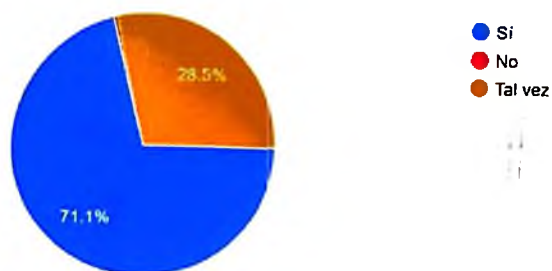
¿Cree usted que en las instalaciones de la UNPHU se hacen intentos por cuidar el medio ambiente?

235 respuestas



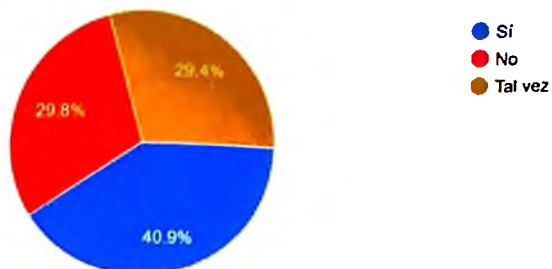
¿Conoce usted la clasificación de desechos?

235 respuestas



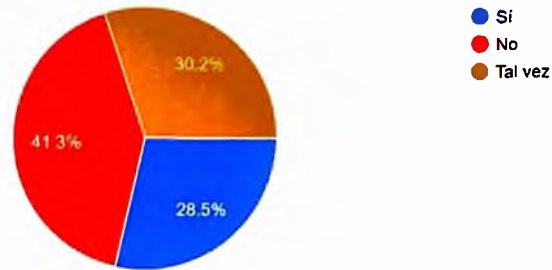
¿Cree usted que en la institución (UNPHU) se hacen esfuerzos por clasificar los desechos?

235 respuestas



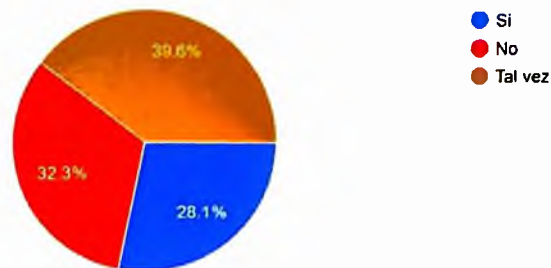
¿Cree usted que los integrantes de la institución están realmente concientizados de la importancia de la clasificación de desechos y el reciclaje?

235 respuestas



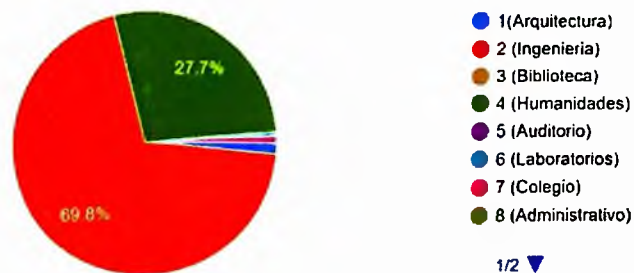
¿La UNPHU pone a su disposición suficientes contenedores bien señalizados para el reciclaje?

235 respuestas



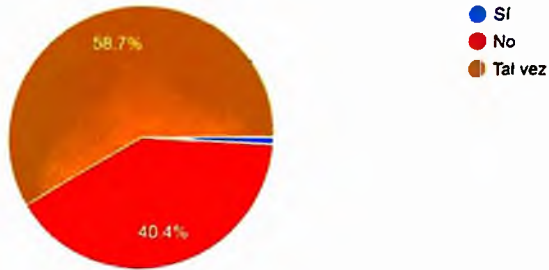
¿En qué edificio consideras que se generan más desechos?

235 respuestas



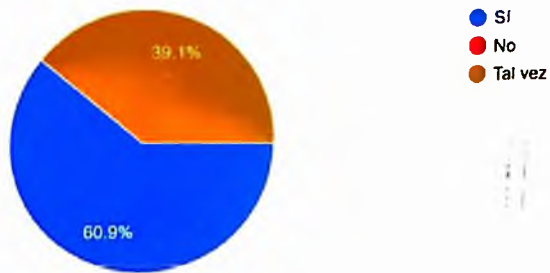
¿Crees que el método actual de clasificación de desechos sólidos es eficiente?

235 respuestas



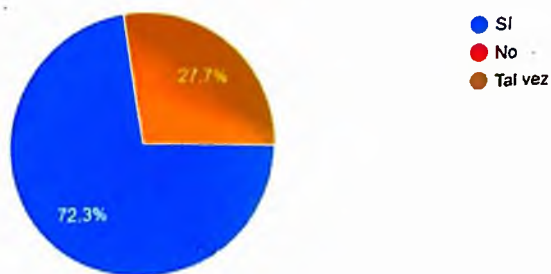
¿Consideras que el factor humano podría perjudicar la clasificación de desechos sólidos?

235 respuestas

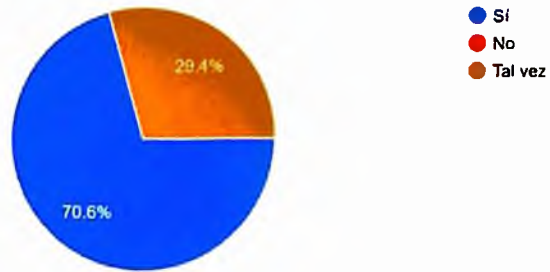


¿Cree usted que se podrían emplear métodos más eficientes?

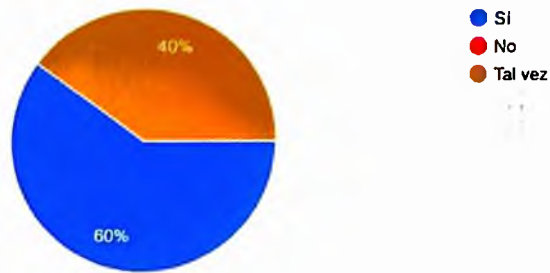
235 respuestas



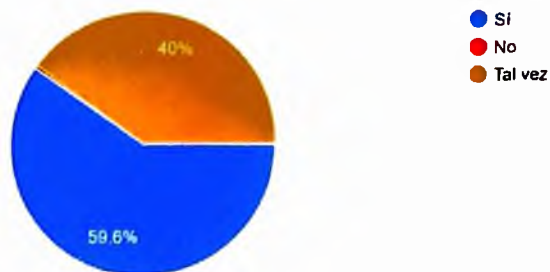
¿Considera usted que un sistema el cual sólo posea una opción de entrada, y éste, por medio de un programa basado en reconocimiento de imagen, clasificaría el proceso de clasificación de desechos sólidos?
235 respuestas



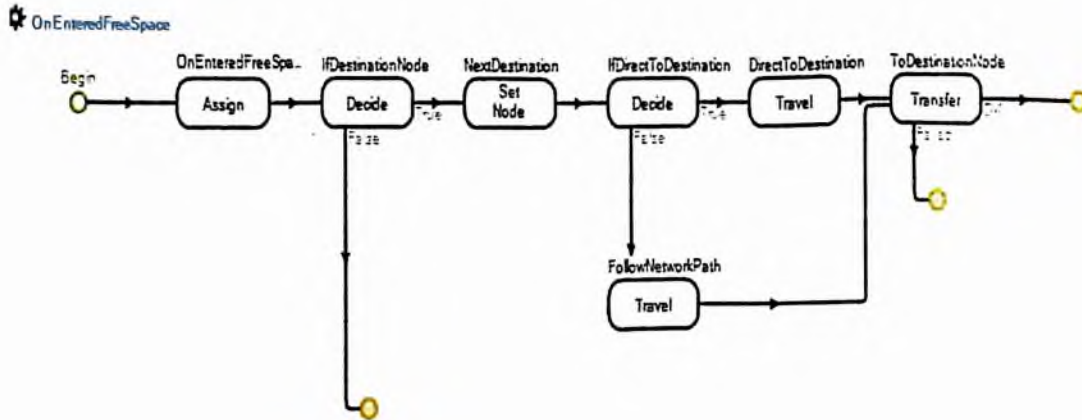
¿Considera usted que este método tendría una mejor relación efectividad/costo para la institución (UNPHU)?
235 respuestas



¿Considera usted que esto resolvería el problema de los desechos en el recinto universitario?
235 respuestas



8.3 Diagrama de funcionamiento de modelo 3D

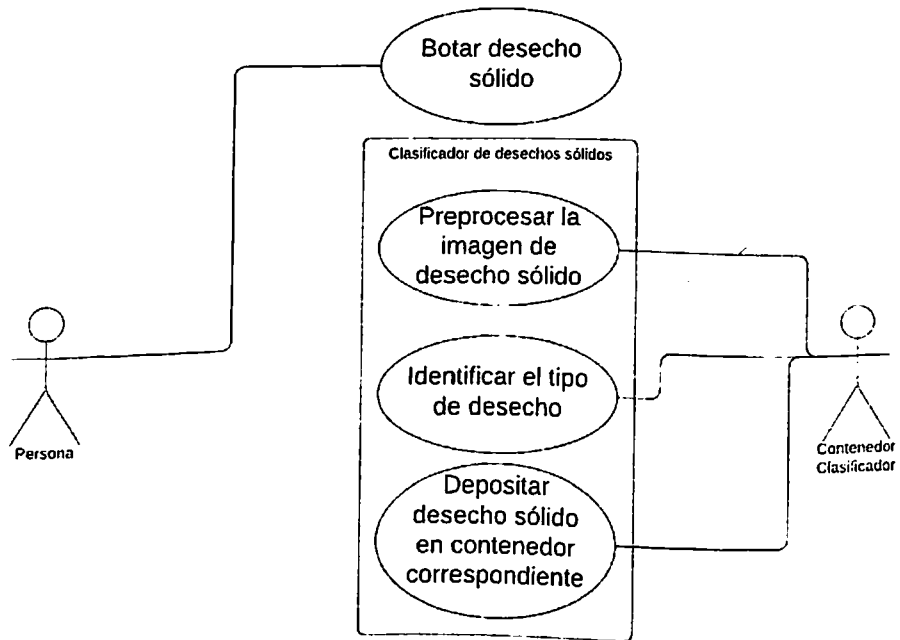


8.4 Tabla de resultados de simulación 3D

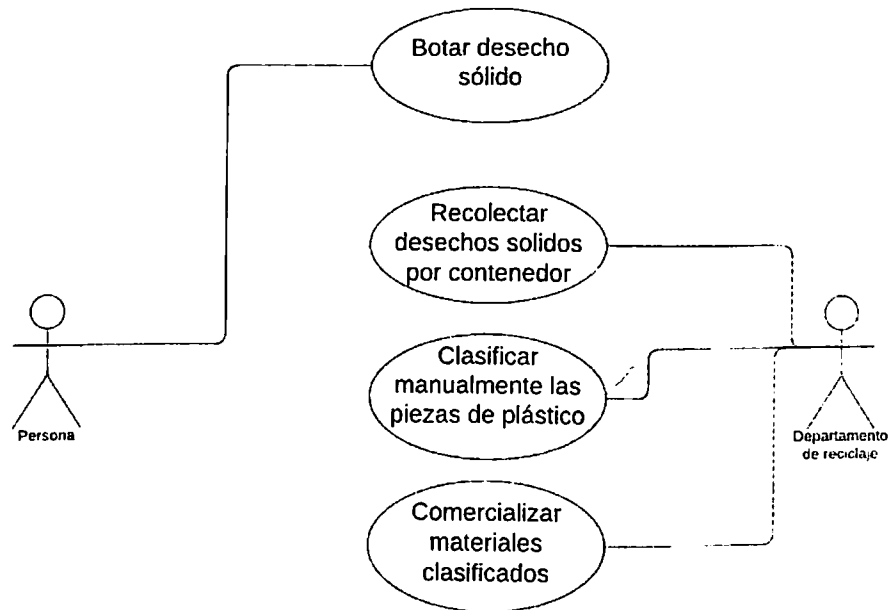
Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statstec	Average Total		
ModelEntity	Otros_Residuos	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	0.0568		
					Maximum	1.0000		
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)	0.0743		
					Maximum (Hours)	0.0776		
					Minimum (Hours)	0.0684		
					Observations	13.0000		
			Throughput	NumberCreated	Total	13.0000		
					NumberDestroyed	Total	13.0000	
			Papal_Carton	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	0.4024
							Maximum	3.0000
FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)			0.0732			
		Maximum (Hours)			0.0779			
		Minimum (Hours)			0.0689			
		Observations			92.0000			
Throughput	NumberCreated	Total			94.0000			
		NumberDestroyed	Total	92.0000				
Plasticos	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	1.5527			
				Maximum	5.0000			
		FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)	0.0731			
				Maximum (Hours)	0.0781			
				Minimum (Hours)	0.0685			

8.5 Casos de Uso

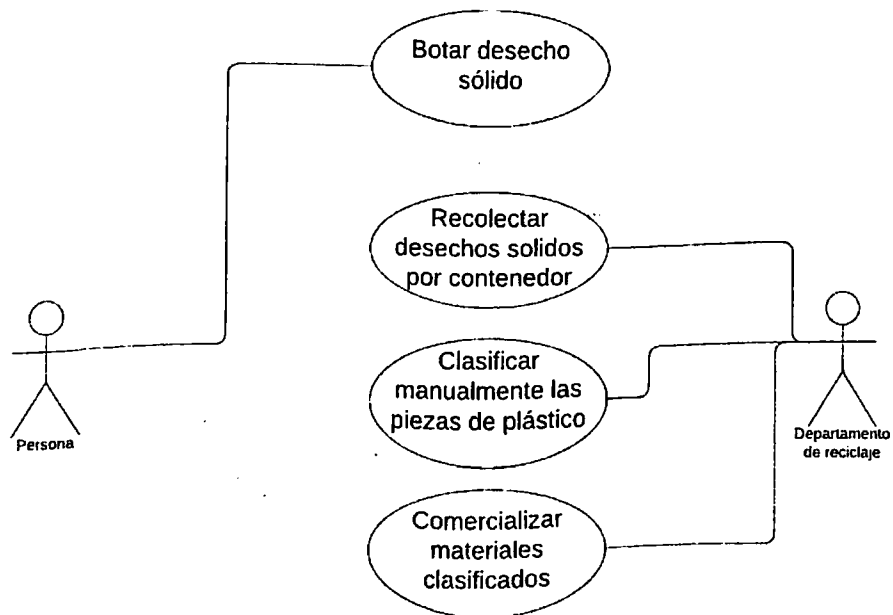
8.5.1 Caso de uso proceso propuesto



8.5.2 Caso de uso sistema proceso actual

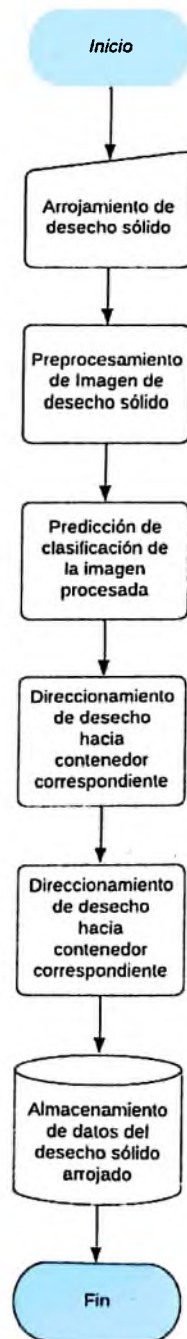


8.5.3 Caso de uso de consultar análisis histórico - Administrador

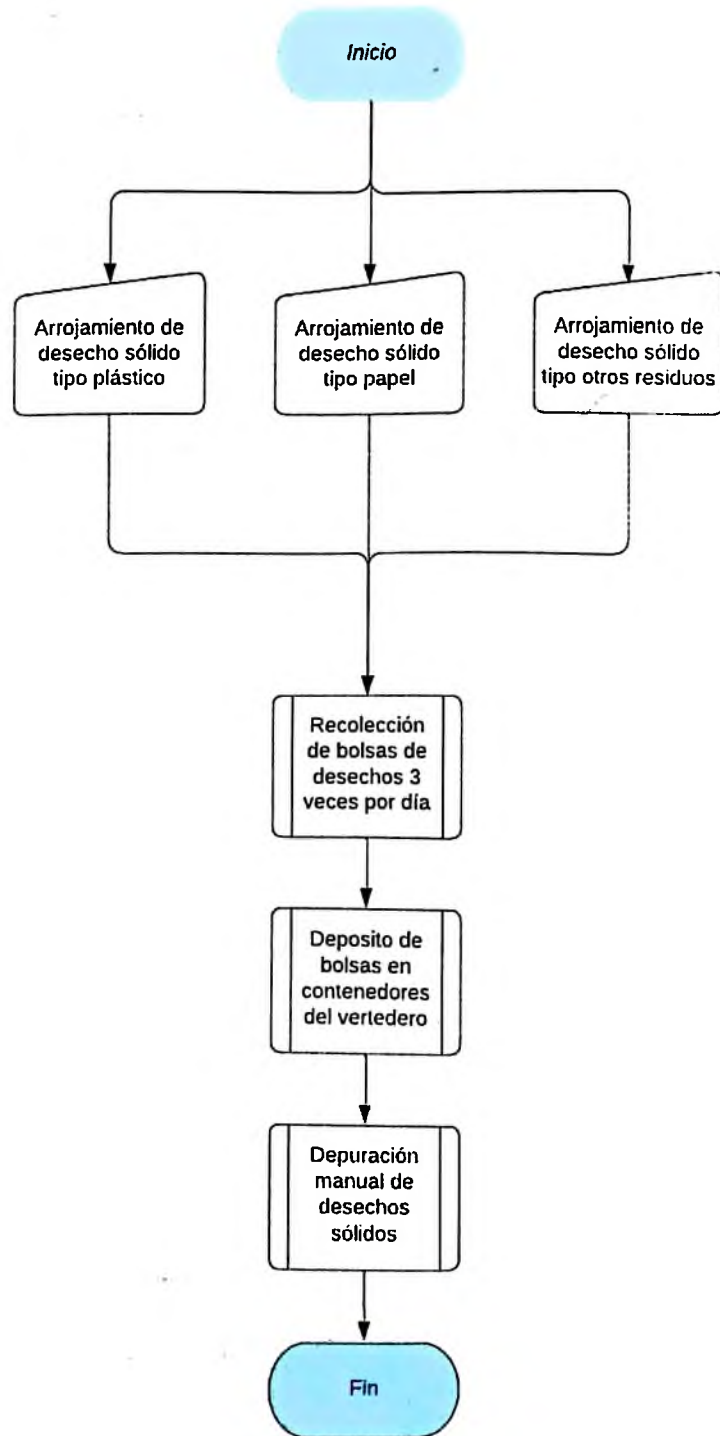


8.6 Diagramas de flujo

8.6.1 Diagrama de flujo del sistema propuesto



8.6.2 Diagrama de flujo del sistema actual



8.7 Reunión personal “Piensa en Verde”



8.8 Basureros de las Instalaciones



Contenedor de papel - Depósito vertedero



Contenedor de tapas plásticas- Depósito vertedero



Contenedor de otros residuos- Edificio 6



Contenedor de botellas plásticas y latas- Bosque de los Fundadores



Bolsas utilizadas en los contenedores



Dumpster residuos generales - Cafetería Edificio 2



Contenedor papel y cartón - Edificio 4



Contenedor otros residuos - Edificio 4



Dumpster residuos generales - Edificio 4



Contenedor latas y botellas de plástico - Cafetería Edificio 2

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRÍQUEZ UREÑA
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INFORMÁTICA

TRABAJO DE GRADO

Simulación de sistema de clasificación de desechos sólidos basado en reconocimiento de imagen en el campus de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU).



Proyecto de grado presentado por:

Ángel Marino Del Carpio Castillo
Andrés Eduardo Núñez Cordero

Ing. José Ramón Romero
Miembro del jurado

Ing. Hugo Parada Leal
Miembro del jurado

Ing. Pantaleón Mueses
Miembro del jurado

Ing. Ambiorix Liriano
Asesor

Ing. Héctor Santillán
Director



Fecha de sustentación: Agosto 30, 2022.