

Propuesta para la implementación de un sistema de monitoreo basado en IoT para la recuperación y reutilización del material PET.

Juan Sebastián Castellanos Benavides – jcastel69104@universidadean.edu.co

Nicolás Andrés Vanegas Doria – nvanega74769@universidadean.edu.co

Manuel Fernando Montaña Gómez – mmontano7250@universidadean.edu.co

Johan Sebastián Ulloa Ayala – julloaa65715@universidadean.edu.co

Resumen

La investigación contenida en el presente documento pretende exponer una propuesta de implementación tecnológica basada en un sistema de monitoreo que permita conocer el porcentaje de PET que recopilan diariamente los diferentes centros de acopio en la ciudad de Bogotá, sin embargo, este modelo se orienta en la construcción de un sistema de software de inteligencia artificial, en donde su programación depende de la conectividad, el *machine learning* y analítica y las plataformas informáticas en la nube con el fin de conocer y datar las cantidades de material aprovechable que requiere la compañía de Postobón mensualmente. Adicionalmente, se pretende que este modelo se implemente en las partes interesadas (la productora y la empresa recicladora) con el objetivo de alcanzar una meta de recuperación y reutilización de PET que involucre la economía circular y los diferentes estándares de sostenibilidad que puede aportar la propuesta.

Introducción

Actualmente, la sociedad enfrenta un conflicto ambiental significativo por el alto consumo de bienes y servicios, los cuales han tenido como consecuencia la degradación irreversible de los ecosistemas y afectación consecuente con el bienestar de los ciudadanos. Aunque existen diferentes factores que conllevan a la contaminación, la relacionada con la producción de basura es la más impactante, es por esta razón que las diferentes entidades gubernamentales han impuesto diferentes normativas en las que las empresas juegan un rol importante para enfrentar de manera sostenible la situación socioambiental. Un claro ejemplo de ellas es Postobón, la cual ha impartido un modelo de economía circular que contempla los diferentes objetivos de desarrollo sostenible.

Dentro de las diversas propuestas aplicadas por la empresa, se pretende alcanzar un porcentaje significativo mensual de recuperación y reutilización del material PET para los envases de sus bebidas, es por ello que, el presente proyecto de investigación se enfoca en crear una propuesta que implemente un sistema de monitoreo basado en las diferentes herramientas tecnológicas que ofrece las IoT, en donde por medio de la integración de un sistema de software con funciones de inteligencia artificial tanto en la planta física de Postobón como en los diferentes centro de acopio (alianzas), sea posible conocer y recolectar el porcentaje de material PET que se espera en la producción.

Marco de referencia

- El plástico.

El plástico es un material orgánico que más allá de ser reconocido como un término globalizado y responsable por reunir a un conjunto de materiales sintéticos y semisintéticos ampliamente utilizados en los diferentes sectores productivos, es visualizado como parte de la vida cotidiana de todas las personas pues es posible encontrarlo desde la fabricación de envases para contención de productos de primera necesidad, hasta en los dispositivos médicos y de transporte que también solventas otras necesidades que con el pasar de los años se van desarrollando. Cabe resaltar que el término plástico según la denominación griega significa moldeable o maleable, característica que le permite sobresalir entre otros materiales no solo por su bajo costo sino porque no es difícil manejarlo desde la forma, técnica y resultado que necesite, es por ello por lo que a nivel industrial encontramos al plástico en múltiples presentaciones desde láminas, fibras o tubos, hasta placas, botellas y cajas (ecoplas, 2020).

Sin embargo, es importante profundizar en materia del uso más dado para el caso Colombia y sobre todo mantener un alineamiento con la temática de investigación, en donde el plástico posee una densidad baja respecto a otros materiales, permitiéndole mantener una cualidad de ligereza y por lo tanto al producirse como materia prima para la elaboración de envases, estos no son pesados y más bien aportan múltiples beneficios como lo es la durabilidad, la resistencia ante la corrosión y algún factor físico-químico degradante por lo que pueden durar mucho tiempo en almacenamiento, teniendo en cuenta que puede modificarse su equilibrio de propiedades a fin de adaptarse a cualquier aplicabilidad, mejorando la satisfacción de la demanda (PlasticsEurope, 2019).

- Composición del material PET.

El Polietileno teraftalato más conocido como PET, es un polímero plástico obtenido industrialmente mediante un proceso químico llamado polimerización con características específicas como poseer un alto nivel de cristalinidad, transparencia, alta resistencia y termo plasticidad que al unirse con otros materiales refuerzan y mejoran la calidad por lo cual ha sido ampliamente utilizado en diferentes industrias como las alimenticias, en el caso de la fabricación de empaques más resistentes pero que a su vez sean reutilizables, un tema que no solo es de interés ambiental sino también económico ante la sostenibilidad empresarial (SadhanKumar Ghost1, 2017). El PET como materia prima, pasa por diferentes procesos químicos de donde surgen los pellets con los cuales se confecciona fibra en artículos vestuarios, cordones neumáticos y botellas PET principalmente, su origen remonta hacia 1929 en donde un químico de nacionalidad americana logró sintetizar polímeros termoplásticos a partir de dos sustancias conocidas en la industria química, por una parte, el etilenglicol y por otra parte, el ácido adípico; no obstante, no fue sino hasta 12 años después, más exactamente para el año 1941 que logró sintetizar este componente en una forma molecular de gran pesaje, mejorando las condiciones tradicionales de los plásticos y llegando a una fama mundial de tal relevancia que a partir de los años 60 fue sustituyendo al vidrio y el metal, materiales que también eran usados en la elaboración de contenedores de alimentos, obteniendo un crecimiento anual del 10% (Mandal S & Dey A, 2019).

Cabe resaltar que, en términos de esta investigación, es importante comprender cómo ha sido la elaboración de esta materia prima y su importancia ante la industria, sobre todo la alimenticia para así tener una perspectiva más profunda sobre el dimensionamiento de la problemática a solucionar.

- La producción de plástico en el mundo

De acuerdo con los diferentes estudios relacionados en materia de la contaminación del mar generada por plásticos se señala que cada año llegan 8 toneladas de basuras a los mares y océanos, en donde el 80% de ellos proviene del espacio terrestre y el 70% de estos materiales se instauran en el fondo del mar, el 15% en la columna del agua y otro 15% en su superficie, así mismo, actualmente el planeta tierra cuenta con cinco islas de basura, las cuales en su mayoría fueron formadas a partir de micro plásticos de las cuales se pueden encontrar dos en el Océano Pacífico, dos en el Océano Atlántico y una en el Océano Índico, de la misma manera, es importante resaltar que en los últimos 50 años la comercialización de plástico se ha incrementado de manera sustancial por sus grandes productores: China, Europa y Norte América (Greenpeace, 2016).

Entrando en materia de la producción de plástico, para el 2019 se realizaron estudios estadísticos en donde se llegó a la conclusión de que una persona desecha entre 1,2Kg y 1,42Kg al día los cuales terminan en un relleno sanitario, sumado al hecho en términos globales donde la producción de PET anualmente supera los 80 millones de toneladas métricas y para ello existe una necesidad por replantear el enfoque de producción en donde se equilibre con la fase de reutilización, ya que si no se hace, el planeta se llenará de plástico del cual no todo es PET y causa muchos estragos bajo cualquiera de los pilares de la sostenibilidad como se entrará en detalles para el siguiente subtema (Meyers R., 2019).

- El panorama de contaminación por plástico en Colombia

El aumento de la demanda en productos alimenticios y la necesidad por prolongar su caducidad es un panorama de bastante interés para las empresas debido a que esta es una necesidad de sus consumidores, panoramas como la actual pandemia por la cual estamos atravesando y sobre todo bajo circunstancias de confinamiento como la que tuvimos que vivir, hizo que esta necesidad se volviera totalmente sobresaliente, siendo del interés para los colombianos tener una accesibilidad a productos de primera necesidad pero con la condición de no ser perecederos y poder almacenarlos en un periodo de tiempo mayor. Es allí donde el plástico ha jugado una gran rol, sin embargo, aunque se habla de una necesidad por mejorar las condiciones y características de los plásticos para lo cual hace algunos años el 100% de sus ejemplares comenzaban a degradarse en 500 años e incluso más de 1000 años, se dio la necesidad de desarrollar mejoras en el plástico y como se analizó anteriormente, este es un material muy maleable, dando como resultado el PET que es 100% reciclable, sin embargo, la problemática va mucho más allá de la existencia del plástico, pues cualquier material puede existir y desde que su existencia este mancomunada con el bienestar y calidad de vida de los organismos vivos en la tierra, no generaría ningún tipo de conflicto, no obstante, ha sido la falta de conciencia no solo de los consumidores sino la falta de reglamentaciones para el uso consciente en todo el ciclo de vida del producto por lo que la solución ante la falta de ejemplares reciclados, se solventa con un aumento de la producción haciendo que sea cada vez mayor la generación de residuos sólidos en donde menos del 20% es reciclado (Mandal S & Dey A, 2019).

En Colombia, la producción de plástico pasó de 1,2 millones de toneladas anuales para el año 2019 a 3 millones para el año 2020, un aumento de más del doble el cual fue alarmante por el uso exagerado de plástico durante la pandemia, de estos se generó 1470 toneladas contando solamente los residuos plásticos de los cuales se recicló tan solo el 17%, por lo que se evidencia una falta de sostenibilidad en la actividad productora en donde continua la producción acelerada de contenedores plásticos para solventar la demanda y ante el aumento de las ventas, sin embargo, en materia de mejora hace falta mucho al respecto (ONU, 2019).

- Regulaciones y control del manejo de residuos en Colombia

El éxito en los resultados en la actividad de cada país radica en la relación asertiva entre la optimización y claridad de las regulaciones o normativas, respecto al control de claridad que se dé por parte de las autoridades superiores, las cuales deben ser competentes y mucho más rigurosas a medida que la población aumenta, sin embargo, para el caso de Colombia en términos ambientales sobre el manejo de los plásticos como residuos sólidos tan solo se recicla menos de un 20% cuando la meta del país es llegar por lo menos a reciclar el 40% de los plásticos generados para 2030 (Semana, 2020), además de estos datos relevantes, es importante tener en cuenta que en parámetros ambientales, los rellenos sanitarios son considerados como métodos anticuados que generan muchas problemáticas no solo en materia de contaminación por la gran producción de residuos sólidos sino por la contaminación hídrica a partir de lixiviados que logran filtrarse por el suelo o incluso caer sobre cuerpos de agua cercanos como es el caso del Relleno Sanitario de Doña Juana, ubicado en la ciudad de Bogotá, también existen problemáticas a causa de la contaminación atmosférica en parte por los malos olores que afectan a la población aledaña y por otra parte, mediante la fracción liberada en forma de material particulado (PM) que llega a la atmósfera luego del proceso de incineración de cierta fracción de basuras en donde es importante comprender que muchos países han dejado de tener rellenos sanitarios desde hace muchos años debido a las problemáticas en cadena que se generan, un ejemplo de ello fue la explosión por gas metano que ocurrió en el Relleno Sanitario de Doña Juana, sumado al hecho de que este relleno sanitario ya no tendrá más capacidad en 2 años, lo cual es alarmante desde todo punto de vista y demostrando una vital necesidad por plantear soluciones óptimas que no indiquen generar otro relleno sanitario y llenarnos a la larga de basuras, sino más bien desde la misma gestión gubernamental requerir un apoyo entre empresas (productoras) y la población

(consumidores), a fin de que aumente el porcentaje de reutilización que permita alargar el ciclo de vida del producto (Personería de Bogotá, 2021).

- Acciones gubernamentales y empresariales para reducir la producción de plásticos de un solo uso.

La producción de plásticos continúa en aumento debido a la relación con el aumento de la demanda en donde muchas veces se le da prioridad al factor económico y administrativo de las empresas, por lo cual se han logrado establecer avances en la normativa que busca aumentar el porcentaje de plásticos reciclados y la disminución de la nueva producción plástica, esto con el fin de mejorar el aprovechamiento y garantizar mejores medidas a lo largo de la cadena de producción. Es por ello por lo que las entidades gubernamentales y sobre todo desde la actividad del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo, entidad responsable por velar en términos del bienestar y mejora continua de la calidad ambiental como uno de los 4 pilares de la sostenibilidad del país, para ello se crean normativas que intentan cubrir aquellos espacios en la Ley donde anteriormente no había mucha claridad informativa y por lo cual muchas empresas no tenían una seria responsabilidad social y ambiental al no existir obligaciones muy serias, por lo cual una forma de incentivar en la contribución al medio ambiente fue disminuir los impuestos cuando se acudía a realizar mejoras paisajísticas, por ejemplo mediante jornadas de plantación de árboles o recolecta de basuras; sin embargo, también hizo falta establecer normativas más específicas en cuanto a los deberes de las empresas, de las entidades gubernamentales y de los consumidores, creando con ello normativas como la Resolución 1397 de 2018, la Resolución 1558 de 2019, la Resolución 1407 de 2019, el Decreto 1713 de 2002, entre otras normativas en las cuales se establece la responsabilidad en el manejo de los residuos sólidos, la catalogación de estos y la prohibición de las prácticas inadecuadas sobre la disposición final de los productos, llegando a mezclarse con productos no reciclables y terminando dentro de los desechos sin recibir alguna clase de manejo, con lo cual se busca incentivar a mejores prácticas ambientales, sin embargo no existe un control estricto sobre esto (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

Por su parte y ante la falta de limitación en la producción de plásticos con un muy bajo porcentaje de reciclaje, se creó la Resolución 1407 de 2018 la cual una vez entrada en vigencia estableció que las empresas deben recoger un porcentaje mínimo del 10% de los contenedores plásticos que disponen en el mercado nacional en donde aquellas que ya tienen antigüedad en el mercado como es el caso de Postobón, tuvieron plazo hasta el 31 de diciembre del 2020 para implementar esta medida, así mismo las nuevas empresas tendrán plazo de implementar esta medida hasta el 31 de diciembre del presente año (Tecnología del Plástico, 2020), siendo una medida con la cual se busca extender la capacidad del relleno sanitario e incrementarlo sobre una capacidad máxima a 37 años, de manera que se puedan desarrollar diversas soluciones. Adicionalmente, se han llevado a cabo pruebas piloto a través del desarrollo de una pequeña planta dentro del Relleno Sanitario de Doña Juana la cual incinera parte de las basuras que ingresan diariamente a las instalaciones y que ya están previamente seleccionadas por el personal, no obstante, hace parte mejorar el rediseño de esta a fin de aumentar su capacidad, automatizar la clasificación de las basuras y aquel porcentaje de basura incinerado transformarlo en energía eléctrica que pueda solventar las necesidades en la falta de luz eléctrica para poblaciones vulnerables aledañas.

5. La economía circular.

La economía circular se ha pronunciado de manera circunstancial y de alto impacto en los diferentes pilares que consagran la sostenibilidad, en donde los escenarios sociales, ambientales y económicos priman en la puesta en marcha de producción de bienes de consumo, de la misma manera, este modelo de sostenimiento propone una alternativa que permite disminuir de manera significativa el deterioro del capital natural y el exponencial de las emisiones de gases de efecto invernadero a través de un sistema regenerativo de insumos y residuos que permiten su “reparación, reutilización,

remanufactura, restauración y reciclaje” para un nuevo uso, no obstante, cada uno de estos materiales deben cumplir con estándares de higiene, calidad y conservación que permitan su reutilización (DANE, 2020). Aunque este modelo de aprovechamiento de recursos se visualiza desde un argumento primario que se enfoca en la reducción del impacto negativo al medio ambiente, ha acogido muchos más escenarios en los cuales la economía, la educación y la cultura, el espacio social y el político son protagonistas y encaminadores de esta propuesta que pasó de ser lineal a circular, de la misma manera, este sistema que pretende la extracción de activos ambientales, después la producción de bienes y servicios, seguido del consumo y uso y por último el cierre de optimización en los ciclos de vida de los materiales y productos es cada vez más importante para las industrias y entidades estatales como medida de implementación sostenible y de alto impacto en el desarrollo económico social y económico de los territorios (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

- La medición circular como oportunidad empresarial.

Para llevar a cabo la implementación de este tipo de modelos económicos y de alto impacto ambiental, como ya se mencionó, es importante la medición de cada una de las etapas que en este se consagra y a su vez reconocer si se está realizando de la manera correcta en los diferentes escenarios (tabla 1), de la misma manera, a través de los diferentes indicadores de medición las industrias pueden observar los resultados favorables y a mejorar con el fin de crear estrategias que generen un mejor rendimiento y a la vez proporcione beneficios sostenibles en cada uno de sus espacios (Forética, 2020).

Tabla 1. Qué, cómo y para qué se mide la economía circular.

¿Qué se mide?: Indicadores	¿Cómo medir?: Identificar el marco que se adapta a la organización.	¿Para qué medir?: Estrategias.
<p>1* Eficiencia en el uso de materias primas, reciclaje y valorización.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de las emisiones de carbono. - Tasa de recuperación de residuos provenientes de las industrias (incluye agua). - Tasa de valorización de residuos. - Estadísticas y porcentajes de los materiales reciclados utilizados en el proceso productivo como materia prima (incluye agua). - Reducción en el consumo de energía y agua total o por unidad de producto. <p>2* Ecodiseños de productos y servicios.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tasa de reciclabilidad de los productos (% , eficiencia, número y diversidad de componentes, facilidad de separar materiales...) - Tasa de reparabilidad de los productos. - Tasa de remanufactura de los productos. - Durabilidad y reutilización de los productos (por ejemplo, producto vendido como servicio). - Número de productos o servicios asociados a una nueva área de negocio sostenible. 	<p>Actualmente no existen parámetros en el marco global que relacionen un seguimiento y medida para el sistema circular, no obstante, es posible encontrar herramientas, certificaciones y estándares que permiten a las diferentes organizaciones medir la eficiencia de su economía circular en cuanto a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Materiales. - Madurez de la organización. - Sectores económicos. - Cadena de valor. - Impactos sociales, ambientales y económicos. <p>En el mismo orden de ideas, cada uno de los marcos de medición se ven reflejados en la circularidad económica y organizativa de procesos y productos en aproximación macro y aproximación micro, así mismo, se deben tener en cuenta los objetivos representativos y señalados por los territorios y las empresas (marco público y privado)</p>	<p>La implementación del modelo circular en las organizaciones cumple dos objetivos fundamentales para su seguimiento, ya que le es posible de manera interna observar el desempeño de producción y económico, y de manera externa informar a las entidades cómo es su gestión bajo los Objetivos de Sostenibilidad.</p> <p>Aproximación circular:</p> <p>1* Basada en maximizar el valor económico por unidad de producto.</p> <p>2* Eliminar el concepto de residuo, todo tiene un valor.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Minimizar la extracción de fuentes no renovables. - Proveedores circulares. - Ecodiseño. - Servitización. - Extender la vida útil. - Minimizar la deposición en el vertedero. - Valorización. - Reciclaje de materias primas secundarias y el agua.

Fuente: Adaptado de Forética (2021).

Cada uno de los factores de medición permiten el desarrollo eficiente del sistema de economía circular, de la misma manera, les otorga a las diferentes organizaciones la visión estratégica de estructuración financiera, comercial y operacional en la que puede reducir costos, y a su vez, proporcionar una cadena de valor que involucra de manera significativa la sostenibilidad a través de la reutilización de residuos. Por otra parte, existen sectores económicos en donde los Objetivos de Sostenibilidad que se relacionan con la economía circular requieren de una medida específica para evaluar el comportamiento de este sistema según los componentes y necesidades de las industrias.

- Internet de las cosas.

El Internet de las cosas o como sus siglas lo describen Internet of Things (IoT) es un término que describe a una red de objetos los cuales tienen incorporados diversas tecnologías a manera de software y hardware con el propósito de conectarse con otros dispositivos e intercambiar información mediante Internet, siendo tanta su acogida y más con la llegada de la era tecnológica que nos ha impuesto la gran necesidad de mantener la conectividad, por lo cual encontramos tecnologías domésticas hasta industriales, para el año 2019 se contaban con una conectividad de 7.000 millones de dispositivos IoT los cuales fueron incrementando a los 10.000 millones para el año 2020 y se espera que llegue a los 22.000 millones en el 2024. Este tipo de tecnologías es muy importante y de hecho su importancia ha sido trascendental desde comienzos del siglo XXI sobre todo desde parámetros como la interconectividad y la facilidad para compartir y recopilar datos con una mínima intervención humana, bajos costos y capacidad de actualización en donde además la información es almacenada en la nube y a través del Big Data de manera que se encuentran protegidos y son recuperables a diferencia de un sistema de almacenamiento de datos físico, haciendo que el mundo físico y digital cooperen entre sí (Oracle, 2019).

En este mismo orden de ideas, el planteamiento de las tecnologías IoT como necesidad han sido establecidas desde hace muchos años donde se veía la necesidad de establecer un mayor alcance informativo, sin embargo, la practicidad de esta se ha visualizado realmente en la colección de los últimos avances, los cuales se irán analizando bajo los siguientes subtemas en la presente investigación.

- La conectividad.

La conectividad es un término usado para describir los métodos implementados en todo lo relacionado con los dispositivos IoT entre los cuales se destacan los sensores, rastreadores, routers de red, entre otros, no obstante, según la necesidad se establece una serie específica de soluciones entre los cuales se requiere evaluar la necesidad a cubrir y a partir de ello se analiza la prioridad entre 3 factores: capacidad de ancho de banda o velocidad, rango de cobertura y el consumo energético, no obstante, aunque no todas las opciones priorizan estos factores, sí puede analizarse la necesidad, para así escoger el tipo de IoT más pertinente (THUPHONE, 2020).

Profundizando entre los parámetros a tener en cuenta están:

- El consumo energético ya que muchos IoT funcionan con baterías y no con cables.
- El rango de cobertura en cuanto a la distancia considerable de alcance de la IoT que permitirá tener una conectividad con otros dispositivos dentro de la zona.
- El ancho de banda que puede llegar a consumir grandes cantidades de datos.
- El coste que puede variar mucho de acuerdo con la configuración y la operatividad de la IoT.
- El análisis del sistema actual utilizado ya que debe ser compatible con conectividad IoT, los cuales al integrarse reduce costos y tiempo en la obtención de datos que de otra forma tendría más implicaciones o tendría un porcentaje más alto de error.

- El lugar de implementación es muy importante ya que permite identificar si la funcionalidad en términos de conectividad de la IoT es óptima o no, por ejemplo en lugares donde hayan muchas interferencias como por ejemplo frecuencias de radio, muros o edificios pueden llegar a disminuir su conectividad, por lo que pensado implementarse desde el punto de la recolección de basuras, más exactamente el Relleno Sanitario de Doña Juana, no tiene edificios cercanos y más bien un espacio de campo abierto por lo que podría incrementar la conectividad.
- Machine learning y analítica.

El Machine Learning es un campo previo de la Inteligencia Artificial en el cual se recopilan millones de datos con patrones complejos desde los cuales se crean sistemas con un aprendizaje automatizado, para una máquina, se implementan algoritmos en los cuales se da una revisión de los datos que permite predecir acontecimientos futuros por ejemplo comportamientos de compra, parámetros climáticos y para el caso de esta investigación, puede aplicarse desde el sentido de predecir a través de reportes muy bien estructurados cuál fue el porcentaje de plásticos PET reciclados y realizar una trazabilidad de recuperación a lo largo del tiempo, estableciendo proactivamente ciertas medidas para mejorar el cumplimiento de los objetivos de Postobón y evitar aquellos que perjudicarían su actividad empresarial como es el caso de no cumplir con la normativa del 10% de recolección anual (González, 2021).

Certeramente, permite un aprendizaje en las máquinas a fin de llevar la Inteligencia desde el punto de vista de los datos lo cual está interrelacionado con el Big Data el cual almacena datos diversos que una vez mezclados entra a implementarse la Analítica en donde su mismo nombre menciona su funcionalidad, el análisis de una mezcla de datos desde los más fáciles y perceptibles ante el punto de vista humano como aquellos que se generan a través de correlaciones y parámetros ocultos, de tal manera que se establecen y aplican cálculos matemáticos que producen algoritmos y de esta forma deducir y plantear las acciones asertivas a implementar con un menor margen de error pues no es lo mismo tomar decisiones con 5 datos a desarrollar procesos y toma de decisiones importantes una vez analizados millones de datos, nuevamente para el caso de Postobón esto se puede aplicar mediante el análisis de la recolección de plásticos diarios, semanales y anuales, así como de la forma en que son recolectados, un análisis sobre la contribución de las personas por el reciclaje desde casa y la funcionalidad de personas que trabajan en el reciclaje, pudiendo predecir los comportamientos futuros a partir de los comportamientos actuales pero sobre todo como medida importante plantear soluciones que aumenten el número de PET reciclados, reduciendo costos de producción, ayudando al medio ambiente y siendo mejor aceptado tanto socialmente como ante las entidades controladoras ambientales (Rojas, 2018).

- Inteligencia Artificial

Este concepto es denominado como la combinación de algoritmos creados con el fin de desarrollar la invención de máquinas que presenten capacidades similares a los seres humanos y perfeccionen la toma de decisiones con puntos de vista que sustenten diversos campos en los cuales ha existido una necesidad de mayor control con el pasar del tiempo. Cabe resaltar que pese a que la tecnología ha sido de gran utilidad y ha permitido maximizar la producción o incluso mejorar la conectividad bajo alcances que hace algunos años parecía imposible de llegar, es por ello que surgen espacios donde se requiere mayores controles con trabajos de calidad, es allí donde nace la Inteligencia Artificial, como una búsqueda por la perfección y el aseguramiento de la máxima posibilidad en la reducción de errores, pues los trabajos repetitivos pueden aumentar este margen en la actividad humana, un ser humano además requiere de descansos por lo que la solución se solventó con la creación y desarrollo de la Inteligencia Artificial que va de la mano con la actividad humana pero maximiza la búsqueda de soluciones óptimas. Como vimos anteriormente, el Machine Learning y la Analítica son pasos

previos a la Inteligencia Artificial pues no solo reúne millones de datos, sino que los analiza y posteriormente toma decisiones de manera que se automatizan las actividades implementando la racionalidad y el pensamiento similar a los humanos (ORACLE, 2021).

En relación con el tema de investigación, Postobón puede implementar todo un proceso que permita recolectar el plástico PET de manera automatizada y permita tomar decisiones asertivas sin necesidad de estar yendo todos los días hasta las instalaciones del Relleno Sanitario, pues el análisis y control sería llevado a cabo por la Inteligencia Artificial implementada.

- Plataformas informáticas en la nube.

Las plataformas informáticas han venido evolucionando con el pasar de los años acorde a las nuevas necesidades humanas, permitiendo no solo tener una conectividad sino asegurar un almacenamiento de la información con una copia de seguridad de protección de datos (backup), no obstante, existen empresas internacionales que proveen dicho servicio para lo cual Postobón podría requerir una vez integrado el plan de recolección de plástico PET en temas como almacenamiento de datos. En el caso de Postobón podrían visualizar las estadísticas y recolección de datos en tiempo real, adicionalmente, uno de las necesidad de cara al futuro radican en la necesidad por el aseguramiento del éxito empresarial y la maximización del retorno de la inversión en software por lo cual la Inteligencia Artificial y las diferentes medidas dadas a través de plataformas informáticas, demuestran una funcionalidad como gestor de riesgos y analizador predictivo de los posibles resultados a futuro en cuyos casos de riesgo es posible minimizar las posibilidad y transformarlo por medidas de mejora continua (Hybrid IT, 2020).

- Estructuras y referencias de acopio para el material PET: Estado del Arte.

La problemática derivada del plástico por los altos estándares de contaminación que genera y los múltiples efectos que se han propagado en los entornos sociales y ambientales, han sido motivo de alerta para encontrar diferentes alternativas de intervención y reducción a través de un marco de sostenibilidad. De acuerdo al trabajo de investigación realizado por Juan Pablo Herrera, el material PET es un producto 100 % reciclable, lo que resulta una fuente económica significativa para las empresas, y a su vez un gran impacto socioambiental positivo al reutilizarlo de manera integral en los envases, es por ello que, el autor plantea un modelo de negocio para los actuales transformadores de PET, en donde dentro de sus actividades de separación, recolección y tratamiento involucren máquinas Reverse Vending en puntos estratégicos de desperdicios para alcanzar un acopio representativo de este material (Herrera Ramírez, 2015).

Como las anteriores propuestas, en el departamento de Casanare, Yopal, también se realizó un estudio de factibilidad que se enfocaba en la creación de una empresa de recolección, compactación y comercialización del material PET dentro del municipio, por lo que también debía ubicarse en puntos estratégicos de recolección de residuos de la ciudad para separar este material, darle su debido tratamiento de higiene y posteriormente distribuirlo para la reutilización (Naranjo Tabaco, 2016). Por otra parte, Guillermo Erazo propone un diseño de una red logística inversa para la recolección de botella PET en la ciudad de Bogotá, el cual se centra en la utilización de contenedores, en donde se separe los residuos y posteriormente se realice la debida gestión de estos para el reciclaje del material (Guillermo Alberto, 2020). No obstante, aún no existe sistema o modelo de monitoreo central en las industrias de bebidas que permitan la recolección efectiva y de alto porcentaje de PET, y tampoco el uso de las avanzadas estructuras de control propuestas por las IoT para gestiones como estas, es por ello que, las investigaciones realizadas por los anterior autores darán protagonismo a observar sus resultados y posteriormente aplicarlos a este proyecto, de la misma manera, se enfatizará en la conectividad, el *machine learning* y analítica y la inteligencia artificial para lograr proponer un sistema efectivo de recolección del material para los envases a través de un modelo de monitoreo.

Metodología

El diseño metodológico aplicado en el presente proyecto fue de carácter cuantitativo, en donde por medio de una encuesta (anexo 1) realizada a 10 centros de acopios de la ciudad de Bogotá, fue posible observar las cantidades de material aprovechado por estas empresas y el porcentaje mensual que corresponde al PET, de la misma manera, se tuvieron en cuenta las relaciones comerciales con las que actualmente cuenta cada uno de estos centros de reciclaje y el presupuesto que asignan para realizar el proceso de recuperación y reutilización del material PET.

Resultados

Tabla 2. Centros de acopio encuestados en la ciudad de Bogotá.

1. APROPET.	6. MADIPLAST LTDA.
2. COL RECYCLING CO.	7. LUCAVEN S.A.S.
3. ASOCIACIÓN COOPERATIVA DE RECICLADORES DE BOGOTÁ.	8. EKO PLANET.
4. APROPLAST.	9. INEPI LTDA.
5. COORSUBA.	10. RECICLADORA EL DORADO

Fuente: Elaboración propia (2021)

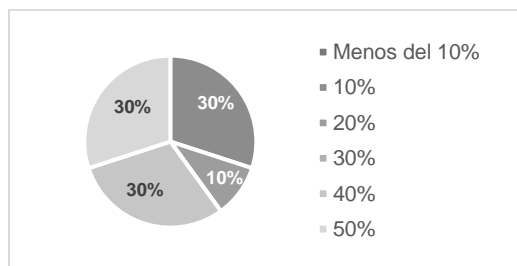
Figura 1. Cantidad en toneladas del material recuperado en los centros de acopio.



Fuente: Elaboración propia (2021).

Según los resultados arrojados por los diferentes centros de acopio, fue posible evidenciar que la cantidad de material recuperado mensual en cada uno de ellos superan las 50 toneladas. Por ejemplo, la empresa recicladora EKO – PLANET comercializa entre 200 a 300 toneladas de material recuperado, y la industria APROPET alcanza las 400 toneladas al mes.

Figura 2. Porcentaje del material PET recuperado.



Fuente: Elaboración propia (2021).

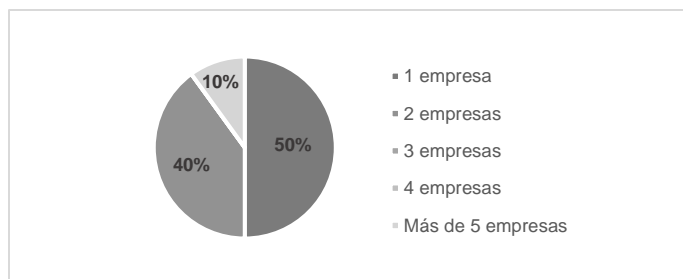
A pesar de que encontramos que estas industrias recuperan hasta 400 toneladas de materiales reciclables, el porcentaje de PET recolectado varía en estos centros de acopio. En el caso de EKO PLANET mensualmente alcanza las 70 toneladas de PET, es decir, un 20 % del total del material recopilado; APROPET, Col Recycling CO y la Asociación Cooperativa de Recicladores de Bogotá logran recuperar hasta un 50 %, Aproplast, Coorsuba y Madiplast alcanzan un 40 % y Lucaven S.A.S., Indepi LTDA y Recicladora El Dorado recopilan únicamente un 10 % del total de los materiales reciclados, sin embargo, es importante resaltar que cada uno de estas empresas contemplan un fin específico para la utilización del material PET, y a su vez la recopilación de este puede darse en el Posconsumo o la Posindustria, los cuales son puntos de negociación o sectorización que ya acogen estas industrias para posteriormente vincularlos a algún tipo de proceso: recolección, compra, selección, acondicionamiento, clasificación, transporte, empaque y comercialización (tabla 2):

Tabla 1. Centros de acopio encuestados en la ciudad de Bogotá.

Empresa	Fuente		Proceso							
	Posindustria	Posconsumo	Recolección	Compra	Selección	Acondicionamiento	Clasificación	Transporte	Empaque	Comercialización
APROPET	X	X	X		X	X				X
COL RECYCLING CO.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ASOCIACIÓN COOPERATIVA DE REICLADORES DE BOGOTÁ "A.R.B."	X		X	X	X		X	X	X	
ASOCIACIÓN DE REICLADORES CRECER SIN FRONTERAS (ARCRECIFRONT)		X		X						X
APROPLAST	X	X		X	X	X	X			
COORSUBA	X	X	X	X		X				
MADIPLAST LTDA.	X				X	X		X	X	X
LUCAVEN S.A.S.	X									X
INDEPI LTDA.	X	X	X							X
REICLADORA EL DORADO	X	X	X	X						X

Fuente: adaptado de (Acoplasticos, 2017).

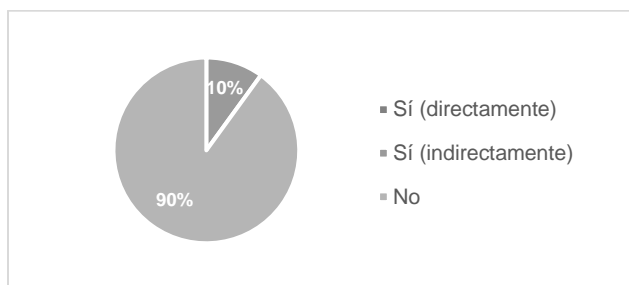
Figura 3. Comercialización del PET.



Fuente: Elaboración propia (2021).

De acuerdo a los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la figura 2, es posible observar que el destino de la gran parte del material PET es para las industrias, es decir, que se evidencia una gran estrategia de economía circular entre las partes, de la misma manera, la figura 3 evidencia que el aporte de este material solo es acogido por parte de los centros de acopio para una o dos empresas.

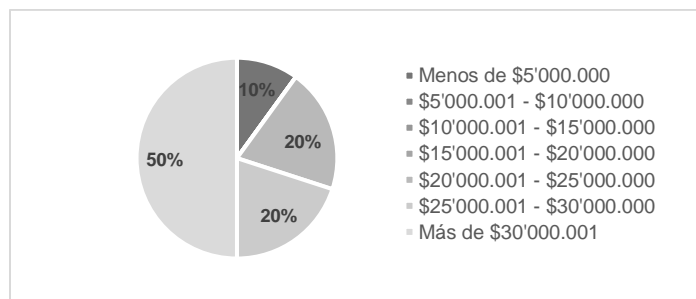
Figura 4. Distribución a Postobón.



Fuente: Elaboración propia (2021).

Con la anterior gráfica, se evidencia una significativa ventaja referente a los objetivos propuestos en el presente proyecto de investigación, ya que como es posible observar, el 90 % de estas empresas encuestadas (9 de ellas) no cuentan con un vinculo comercial directo o indirecto con la industria de bebidas y alimentos Postobón, por consiguiente, este pequeño porcentaje de centros de acopio de la ciudad puede ser parte de la red de distribución del material PET que requiere la compañía para incrementar la recolección y reutilización del mismo.

Figura 5. Presupuesto asignado para el tratamiento del PET.



Fuente: Elaboración propia (2021).

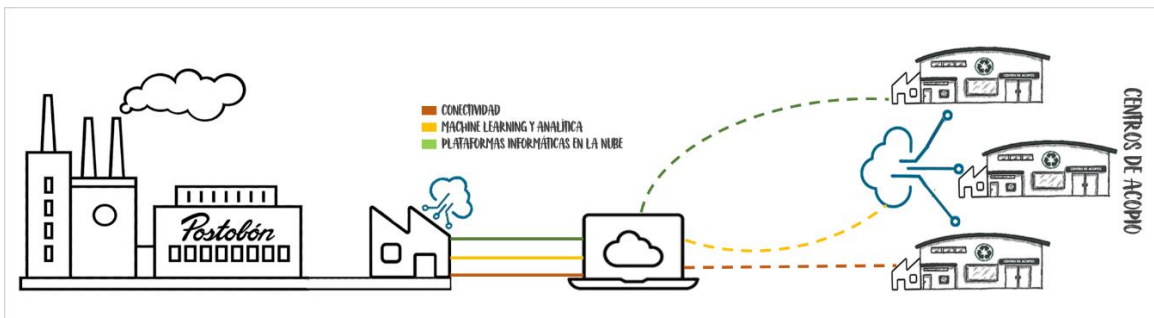
Como se evidenció en la tabla 2, los procesos y el destino del material PET varia en cada una de las industrias de acopio, y como resultado, el presupuesto asignado para su tratamiento también, no obstante, es importante detallar que el 50 % de las empresas encuestadas proporcionan un coste igual

o superior a los \$30'000.000 mensual, por lo que con las nuevas alianzas comerciales que se pretende obtener con la empresa Postobón, estos valores pueden ser inferiores o compartidos por las partes para su beneficio.

Discusión

Con los diferentes resultados obtenidos en la investigación de carácter cuantitativo y la profundización teórica realizada, el modelo de la propuesta de integración de un sistema de monitoreo basado en las diferentes herramientas y alternativas que ofrecen las IoT dan luz verde para la implementación del siguiente arquetipo:

Figura 6. Prototipo del sistema de monitoreo basado en las herramientas de la Inteligencia Artificial basada en IoT para la recolección de material PET:



Fuente: Elaboración propia (2021).

La anterior representación expone el modelo de implementación que debería llevarse a cabo por las partes interesadas para el proceso de recolección del material PET. En primera instancia, se encuentra una central de acojinamiento de información dentro o aledaña a la planta de Postobón, en donde a través de los diferentes parámetros y algoritmos de configuración, permitirán conocer en tiempo real la cantidad de PET que las diferentes centrales de acopio llevan diariamente a sus puntos de reciclaje, de la misma manera, cada punto de recaudación de materiales de aprovechamiento deberá instalar un sistema integrado de información en el cual proyectarán las cantidades de PET recolectados y el tratamiento que es posible brindarle para su reutilización de valor.

Para llevar a cabo este sistema de monitoreo se deberá construir un sistema de software que integre las diferentes herramientas de IoT, especialmente las relacionadas con la Inteligencia Artificial, con el fin de alcanzar resultados óptimos; es por ello que, como se muestra en la figura 6, esta debe construirse con las siguientes tecnologías (Oracle, 2019):

- Conectividad

A través de la conectividad es posible almacenar grandes cantidades de datos los cuales se esperan recolectar de cada una de las centrales de acopio. Con la integración de este tipo de tecnología se podrá reducir significativamente los costos y tiempos para la obtención de información (Thuphone, 2020).

- Machine learning y analítica

Esta herramienta tecnológica permite recopilar millones de datos con patrones complejos, los cuales se crean a través de un sistema de aprendizaje automatizado. Al vincular la conectividad con el *machine learning* y analítica, se implementarían algoritmos en los cuales es posible organizar y unificar la información de cada una de las centrales de acopio (Sandoval, L., 2018), adicionalmente, la estructuración de este sistema permitirá predecir acontecimientos futuros frente a la recolección de

PET, es decir, que será posible crear una alarma que señale días antes del cumplimiento de la meta cuánto material de aprovechamiento aún es faltante, y si este no es el esperado, es posible dar una mejora continua para la recopilación de este, ya sea que las centrales de acopio incrementen la recolección o se establezcan más relaciones con otras empresas recicladoras (González, 2021). En suma, este podrá ser aviso para el cumplimiento normativo del 10 % de recolección anual que exigen las entidades gubernamentales.

- Plataformas informáticas en la nube

Esta última herramienta de IoT asegurará todo el almacenamiento de la información y la creación de una copia de seguridad para la protección de datos, de la misma manera, la correlación con la conectividad y el *machine learning* y analítica le permitirá al sistema crear estadísticas y datos en tiempo real para conocer el estado de la recolección del material PET que se instaura en las centrales de acopio, proporcionando un monitoreo desde su llegada al lugar de almacenamiento hasta el tratamiento que este recibe (Hybrid IT, 2020).

Al tener en cuenta cada una de las funciones que brindará la implementación del sistema de monitoreo, es importante construir un modelo de datos que compacte con cada una de las herramientas de IoT, pues debe consolidarse de manera correcta y comprensible para cada una de las partes. Dentro de la información que se pretende recolectar en este modelo se encuentra:

1. Cantidad de material PET (tratable para la reutilización como envases de bebidas) recolectado diariamente por las diferentes centrales de acopio.
2. Control de las cantidades predeterminadas al mes: sistema de alarma.
Este pretende establecer el monto por tonelada que se espera para la producción, sin embargo, dependerá de los pilotos, ya que en ellos se observarán si se requieren más alianzas con los centros de acopio para alcanzar la meta que desea la empresa.
3. Control de la distribución del material y su manejo en la planta.
4. Almacenamiento parcial y concreto de las cantidades recolectadas de PET en los días, meses y años.

Conclusiones

De la investigación metodológica y teórica aplicada, así como la discusión expuesta, se obtiene como primera conclusión que los objetivos planteados se cumplen con satisfacción para la implementación del diseño del modelo propuesto, no obstante, se deben tener en cuenta los costos de operatividad que este requiere, ya que, para la construcción del sistema operativo los costos pueden variar durante los pilotos y pueden ser altos, sin embargo, con la aplicación de las herramientas de IoT se brindaría un sistema con altos estándares de optimización y éxito que se reflejarían en la maximización del retorno de la inversión en el sistema de software (Hybrid IT, 2020) con la edificación de las tres configuraciones: conectividad, *machine learning* y analítica y la plataforma informática en la nube.

En el mismo orden de ideas, la implementación de las herramientas tecnológicas basadas en IoT tendrán que disponer no solo de la creación del sistema de software, si no que cada centro de acopio deberá adaptar un espacio para la recolección de información, y a su vez, se requiere de la capacitación del personal que labore en ellos para el manejo del sistema y control efectivo de las cantidades de PET recolectadas diariamente. Con este último requisito de aprendizaje para los colaboradores, se contempla un estándar de sostenibilidad orientado hacia el aporte social.

Por otra parte, es importante resaltar que al cumplir con la meta de recolección de PET establecida por la empresa de alimentos y bebidas mensualmente, se contribuye de manera significativa al aporte de disminución de contaminación generada por el plástico, ya que se retribuye a suprimir el concepto de residuo reemplazado como un valor y posteriormente generar una atribución sostenible en el campo ambiental, económica, social y cultural.

Finalmente, el presente proyecto de investigación concluye que la implementación de este sistema se reflejaría como otra alternativa maximización en la circularidad económica, brindando a las partes interesadas (Postobón y Centro de Acopio) una alternativa de reutilización del plástico a través de alianzas que minimicen costos, eleven los alcances de sostenibilidad y se cree un gana – gana.

Referencias

- Acoplasticos. (2017). *www.acoplasticos.org*. Obtenido de *www.acoplasticos.org*:
<https://www.acoplasticos.org/AFshjuraaF47lfjbOSTNKYs4831gepsfiq57DRCFws38164LXIEMF14h2nkr/dcr17/files/assets/common/downloads/publication.pdf>
- DANE. (2020). *www.dane.gov.co*. Obtenido de *www.dane.gov.co*:
<https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/economia-circular/economia-circular-1-reporte.pdf>
- ecoplas. (2020). *Qué son los plásticos*. Obtenido de <https://ecoplas.org.ar/que-son-los-plasticos/>
- Forética. (2020). *foretica.org*. Obtenido de *foretica.org*: https://foretica.org/wp-content/uploads/informe_medida_economia_circular_foretica.pdf
- González, A. (2021). *cleverdata.io*. Obtenido de *cleverdata.io*: <https://cleverdata.io/que-es-machine-learning-big-data/>
- Greenpeace. (2016). *es.greenpeace.org*. Obtenido de *es.greenpeace.org*: http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf
- Guillermo Alberto, E. P. (Noviembre de 2020). <https://repository.unimilitar.edu.co/>. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/>:
[https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37866/ErazoPati% c3% b1oGuillermoAlb erto2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37866/ErazoPati%c3%b1oGuillermoAlberto2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Herrera Ramírez, J. P. (2015). <http://repository.unipiloto.edu.co/>. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/>:
[http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/398/Modelo% 20de% 20negocios% 20 basado% 20en% 20el% 20reciclaje% 20de% 20PET% 20post% 20consumo% 20por% 20medio% 20de% 20la% 20utilizaci% 3% b3n% 20de% 20m% 3% a1quinias% 20Reverse% 20Vanding% 20para% 20el% 20 acopio](http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/398/Modelo%20de%20negocios%20basado%20en%20el%20reciclaje%20de%20PET%20post%20consumo%20por%20medio%20de%20la%20utilizaci%3%b3n%20de%20m%3%a1quinias%20Reverse%20Vanding%20para%20el%20acopio)
- Hybrid IT. (Junio de 2020). *discoverthenew.ituser.es*. Obtenido de *discoverthenew.ituser.es*:
<https://discoverthenew.ituser.es/hybrid-it/2020/06/cuales-son-las-plataformas-informaticas-mas-populares-en-la-nube-y-en-onpremise>
- Mandal S & Dey A. (2019). *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*. Aurangabad, Maharashtra, India: Elsevier Inc.
- Meyers R. (2019). *Handbook of Petrochemicals Production Processes*. En M. R., *CHAPTER 7.8: UOP SINCO SOLID-STATE POLYMERIZATION PROCESS* (pág. 2). McGraw-Hill Professional, Second Edition.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *www.andi.com.co*. Obtenido de *www.andi.com.co*:
[http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia% 20Nacional% 20de% 20EconA% CC% 83% C2% B3mia % 20Circular-2019% 20Final.pdf_637176135049017259.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf)

- Naranjo Tabaco, R. M. (2016). *https://repository.unad.edu.co/*. Obtenido de [https://repository.unad.edu.co/:
https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8592/1118541759.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unad.edu.co/:https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/8592/1118541759.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ONU. (15 de Marzo de 2019). *news.un.org*. Obtenido de [news.un.org:
https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961](https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961)
- Oracle. (2019). *¿Qué es el IoT?* Obtenido de <https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-is-iot/>
- ORACLE. (2021). *www.oracle.com*. Obtenido de [www.oracle.com: https://www.oracle.com/mx/artificial-intelligence/what-is-ai/](https://www.oracle.com/mx/artificial-intelligence/what-is-ai/)
- Personería de Bogotá. (2021). *Doña Juana sigue, relleno de irregularidades*. Obtenido de <https://www.personeriabogota.gov.co/sala-de-prensa/notas-de-prensa/item/643-dona-juana-sigue-relleno-de-irregularidades>
- PlasticsEurope. (14 de Diciembre de 2019). *es.scribd.com*. Obtenido de [es.scribd.com:
https://es.scribd.com/document/439738089/Que-Son-Los-Plasticos-PlasticsEurope](https://es.scribd.com/document/439738089/Que-Son-Los-Plasticos-PlasticsEurope)
- Rojas, E. (16 de Enero de 2018). *www.muycomputerpro.com*. Obtenido de [www.muycomputerpro.com:
https://www.muycomputerpro.com/2018/01/16/analitica-machine-learning-inteligencia-artificial](https://www.muycomputerpro.com/2018/01/16/analitica-machine-learning-inteligencia-artificial)
- SadhanKumar Ghost1, e. a. (2017). *WasteRecyclingpractices in someCountries in Asia, Europe, Africa and South*. En e. a. SadhanKumar Ghosh1. USA.
- Semana. (29 de Septiembre de 2020). *Colombia solo recicla 17% de sus residuos y la meta es 40% a 2030*. Obtenido de <https://www.semana.com/empresas/articulo/meta-de-reciclaje-de-colombia-a-2040-sera-del-40-del-total-de-desechos/301643/>
- Tecnología del Plástico. (Noviembre de 2020). *NUEVA NORMA CAMBIA LAS REGLAS DE JUEGO EN CUANTO A RECICLAJE EN COLOMBIA*. Obtenido de <https://www.plastico.com/temas/Nueva-norma-cambia-las-reglas-de-juego-en-cuanto-a-reciclaje-en-Colombia+136185>
- THUPHONE. (27 de Noviembre de 2020). *www.truphone.com*. Obtenido de [www.truphone.com:
https://www.truphone.com/es/conocenos/newsroom/que-es-la-conectividad-iot-y-como-elegir-la-mejor-opcion/](https://www.truphone.com/es/conocenos/newsroom/que-es-la-conectividad-iot-y-como-elegir-la-mejor-opcion/)

Anexos

Anexo 1. Formato de encuesta.

<p>1. ¿Cuánto material de aprovechamiento le es posible reciclar al mes?</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 10 toneladas.▪ 20 toneladas.▪ 30 toneladas.▪ 40 toneladas.▪ más de 50 toneladas. <p>2. ¿Del material recuperado, qué porcentaje aproximado es de PET?</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 10 %▪ 20 %▪ 30 %▪ 40 %▪ 50 % <p>3. ¿A cuántas personas distribuye este material?</p> <ul style="list-style-type: none">▪ 1 empresa.▪ 2 empresas.▪ 3 empresas.▪ 4 empresas.▪ Más de 5 empresas.	<p>4. ¿Distribuye a Postobón?</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Sí (directamente).▪ Sí (indirectamente).▪ No. <p>5. ¿Cuál es el presupuesto mensual que asigna para el tratamiento del material PET?</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Menos de \$5'000.000▪ \$5'000.001 - \$10'000.000▪ \$10'000.0001 - \$15'000.000▪ \$15'000.001 - \$20'000.000▪ \$20'000.001 - \$25'000.000▪ \$25'000.001 - \$30'000.000▪ Más de \$30'000.0001
---	--