

GESTIÓN Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS

PROYECTO FINAL DE CARRERA -
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

TUTOR:

ADRIÁN FERRARI

REVISORES:

GUILLERMO RELA

ANTONIO MAUTTONE



FACULTAD DE INGENIERÍA - UDELAR
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

MONTEVIDEO, URUGUAY
MARZO 2019

AUTORES:

CAROLINA CANABARRO

JULIETA dos SANTOS

RENZO ORMANDO

“La basura no existe, simplemente existen cosas fuera de lugar”

Jose Carlos Ramirez, Fundador de la Cooperativa Uruguay Recicla

“Waste is waste only if you waste it”

William James Adams Jr, cantante y compositor del grupo Black Eyed Peas

AGRADECIMIENTOS

En esta sección queremos brindar un especial reconocimiento y agradecimiento a todos aquellos actores que directa o indirectamente colaboraron con la elaboración de este proyecto.

Primero agradecer al equipo docente de Facultad de Ingeniería, Udelar por la formación y el apoyo brindado, a nuestro tutor Adrián Ferrari por habernos guiado durante todo el proyecto y a Pedro Piñeyro por su especial ayuda con el modelo matemático.

En segundo lugar, agradecer a los referentes del área Federico Baraibar, director del Compromiso EMPresarial para el REciclaje (CEMPRE), Carolina Ramirez, docente en Facultad de Ingeniería, Annel Garmendia, directora de Aborgama, y Gabriela Camps, directora asesora de la Intendencia Municipal de Montevideo (IMM) por su tiempo brindado para reunirnos, tener entrevistas y obtener de esa forma información de primera fuente, así como aportes valiosos y comentarios de nuestro proyecto.

También queremos agradecer a aquellas personas que hicieron posible nuestras visitas a la planta de clasificación Burgues, al relleno sanitario Felipe Cardoso, a la planta de tratamiento de lixiviados y de biogás de dicho relleno, a la planta de Tratamiento de RESiduos ORgánicos (TRESOR), y a la planta de encapsulado de Florida. Por supuesto también agradecer a todos los que nos recibieron en cada uno de estos lugares y nos explicaron el funcionamiento, evacuaron dudas y nos mostraron las instalaciones.

Además agradecemos a los organismos estatales de Uruguay y otras partes del mundo, empresas privadas vinculadas con la gestión de los residuos, consultoras, proveedores de equipos que vía mail o vía telefónica nos brindaron información. Asimismo, agradecer a todos aquellos que formaron parte de la encuesta realizada a la población uruguaya para entender mejor la situación actual.

Por último, queremos dedicar este proyecto a nuestros seres queridos, amigos y familiares por su apoyo y compañía no solo durante el proyecto sino durante toda la carrera.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	7
OBJETIVOS	9
METODOLOGÍA	10
1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS RSD	13
2. ESTADO DEL ARTE	16
2.1 SITUACIÓN ACTUAL NACIONAL	16
2.2 SITUACIÓN ACTUAL REGIONAL	28
2.2.1 BRASIL	28
2.2.2 ARGENTINA	29
2.3 SITUACIÓN ACTUAL GLOBAL	30
2.3.1 SUECIA “REVOLUCIÓN DEL RECICLAJE”	32
2.3.2 JAPÓN	34
2.3.3 DINAMARCA	34
2.3.4 ESTADO DEL ARTE GLOBAL	35
3. ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS	37
3.1 SEPARACIÓN Y RECICLAJE	37
3.2 PROCESOS BIOLÓGICOS	43
3.2.1 DIGESTIÓN ANAEROBIA	43
3.2.2 DIGESTIÓN AEROBIA	44
3.3 PROCESOS TERMOQUÍMICOS	47
3.3.1 INCINERACIÓN	47
3.3.2 COINCINERACIÓN	50
3.3.3 GASIFICACIÓN	51
3.3.4 PIRÓLISIS	53
3.4 PROCESOS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL	54
3.4.1 RELLENO SANITARIO	54
3.4.2 ENCAPSULADO	57
3.5 DESTINOS ALTERNATIVOS	59
4. SUPERESTRUCTURA	60
4.1 ORIGEN DE LOS RSD	60
4.2 CLASIFICACIÓN EN PLANTA	60

4.3 VALORIZACIÓN	61
4.4 DISPOSICIÓN FINAL	61
5. OPERACIONES - CLASIFICACIÓN EN PLANTA	63
5.1 PAQUETE 1: PLANTA DE TRIAJE MANUAL	63
5.2 PAQUETE 4: PLANTA COMPLETAMENTE AUTOMATIZADA	66
6. TABLAS DE ATRIBUTOS	78
7. MODELO MATEMÁTICO	80
7.1 CONJUNTOS	81
7.2 PARÁMETROS	84
7.3 VARIABLES	86
7.4 FUNCIÓN OBJETIVO	88
7.5 RESTRICCIONES	92
8. VALIDACIÓN DEL MODELO	103
9. ESCENARIOS	107
9.1 SEPARACIÓN MANUAL CON INCINERACIÓN DEL RECHAZO	107
9.2 CLASIFICACIÓN EN ORIGEN Y SEMI AUTOMATIZADA EN PLANTA CON INCINERACIÓN DEL RECHAZO Y TRATAMIENTO DE ORGÁNICOS	109
9.3 CLASIFICACIÓN COMPLETAMENTE AUTOMATIZADA Y MÁXIMA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SIN DISPOSICIÓN EN RELLENO SANITARIO	111
10. RESULTADOS DEL MODELO Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	113
10.1 MODELO CON OPTIMIZACIÓN ECONÓMICA	113
10.2 MODELO CON OPTIMIZACIÓN DE ATRIBUTOS AMBIENTALES, SOCIALES Y DE CONFIABILIDAD	133
10.3 MODELO DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO	142
11. CONCLUSIONES	146
12. BIBLIOGRAFÍA	151
12. ANEXOS ELECTRÓNICOS	157

RESUMEN EJECUTIVO

El aumento en la generación de residuos domiciliarios como consecuencia de la actividad humana se ha convertido en uno de los grandes problemas actuales más difíciles de tratar. La gestión inadecuada de dichos residuos, no solo genera problemas ambientales como lo son la contaminación del suelo, agua y/o aire sino también contribuye al agotamiento de recursos naturales. El planeta Tierra es uno solo y sus recursos son limitados, no existe un “planeta B”, por lo que es necesaria una acción a tomar para con los residuos en general.

En los últimos años, se ha empezado a tomar conciencia de esta problemática, principalmente por el importante impacto negativo que tiene sobre el medio ambiente. Existen soluciones y existen alternativas sustentables para gestionar los residuos que se desarrollan a nivel mundial. Incluso algunas de estas alternativas logran la valorización de los residuos, pasando de ser residuos a considerarse un recurso. ¿Por qué no en Uruguay?. Se cree fuertemente que mediante una adecuada investigación y posterior análisis es posible obtener un resultado que sea de utilidad para la toma de decisiones en cuanto a la gestión de los residuos en el país. Es esta posibilidad de aportar algo a la sociedad uruguaya y al medio ambiente lo que nos motiva a la elección del tema y desarrollo del proyecto.

El presente trabajo se centra en el estudio de la gestión integral de los residuos sólidos domiciliarios, desde la generación de los mismos hasta su disposición final. Para esto, se desarrolla una investigación sobre cada una de las alternativas existentes, estudiando sus ventajas y sus desventajas, realizando comparaciones entre las mismas y evaluándose en su debido contexto social, económico, cultural y tecnológico. Se investigan además, las formas en que otros países tratan sus residuos tanto a nivel regional como a nivel mundial, para contar como referencia, y para entender el estado del arte en la materia. También se estudia la forma de gestión actual a nivel local, al igual que las mejoras en los últimos años y los planes a futuro, entendiendo las limitaciones con las que cuenta el país y que restringen su desarrollo en este aspecto. Ellas pueden ser por motivos económicos, sociales o culturales, mientras se sigue contando con formas de gestión más tradicionales que no implican la valorización de los residuos.

Como herramienta fundamental del trabajo se desarrolla una superestructura, la cual permite un mejor entendimiento de forma gráfica de las diferentes posibilidades a llevar a cabo para la gestión de los residuos y todas las posibles combinaciones entre ellas. La misma se divide en los cuatro niveles más importantes con los que cuenta cualquier plan de gestión de residuos: generación, separación, valorización y disposición final. De esta forma, es posible ver rápidamente todas las posibilidades para el tratamiento de los residuos en cada nivel.

Se hace especial énfasis en el nivel de separación, para lo cual se realiza un estudio detallado sobre las operaciones de las plantas de clasificación, investigando a fondo sobre las tecnologías disponibles, la cantidad de operarios necesaria, las diferentes eficiencias de clasificación dependiendo del grado de automatización, etc. Para esto se toman como referencia una planta de picking manual y una planta completamente automatizada.

Por último, este proyecto consta de la realización de un modelo matemático que permita y contribuya a la toma de decisiones para la gestión de residuos. El problema de la gestión de los residuos es esencialmente un problema multiobjetivo, se quiere realizar un proceso lo más económico posible, con bajo impacto ambiental, que contribuya a la sociedad y con tecnologías confiables. Sin embargo, siempre al mejorar un objetivo se va a estar sacrificando otro, formando un frente de soluciones posibles, por lo que continuamente se va a estar analizando las ventajas y/o desventajas de cada uno de los atributos en cuestión.

El modelo es entonces programado de forma que realice la optimización desde el punto de vista económico, manteniendo ciertos estándares ambientales, sociales y de confiabilidad. Luego se plantean dos variantes a este modelo. El modelo de optimización de atributos ambientales, sociales y de confiabilidad es programado para que optimice el beneficio obtenido por el conjunto de los mismos, sujeto a una restricción económica asociada a un máximo disponible para la inversión. Por último, el modelo con optimización multiobjetivo toma en cuenta todos los atributos a la vez. Los tres modelos representan un enfoque y una solución distinta para un mismo problema. El análisis de los mismos permitirá tener claro las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, así como también conocer las diferencias económicas entre distintas soluciones, y entender el impacto ambiental y social asociado a cada solución.

Luego de obtener un entendimiento general sobre el tema, se observa que es imperativo focalizar los esfuerzos del país en fomentar la economía circular, generando hábitos de clasificación en origen y mejorando las operaciones de separación en plantas de clasificación para poder alimentar los canales formales de reciclaje. A su vez, se deben realizar métodos de termovalorización que permitan aprovechar los residuos que no pueden ser reciclados evitando la disposición en rellenos sanitarios. Siendo Uruguay un país basado en la agricultura, resulta importante incorporar la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios en los procesos de gestión de forma que se aprovechen los nutrientes de los mismos como fertilizantes.

Se entiende que para el futuro es importante una fuerte campaña de educación y énfasis en clasificación en origen, disponer de un sistema de recolección selectivo y de un control que garantice la sostenibilidad del mismo. Es también necesario tener destinos apropiados para cada tipo de residuo y toda una gestión integral.