



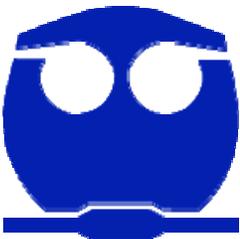
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UN
PLAN INTEGRAL DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS
URBANOS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A
GARCÍA LIZARDE IVÁN EMMANUEL



MÉXICO, D. F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: José Antonio Ortiz Ramírez
VOCAL: Alfonso Durán Moreno
SECRETARIO: Alejandro Zanelli Trejo
1er. SUPLENTE: Andoni Garritz Ruíz
2do. SUPLENTE: José Agustín García Reynoso

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

3º Piso, Ala Sur de la Torre de Ingeniería, Ciudad Universitaria.

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Alfonso Durán Moreno

SUPERVISOR TÉCNICO:

Ing. Juan Carlos Marín
Enríquez

SUSTENTANTE:

Iván Emmanuel García
Lizarde



AGRADECIMIENTOS:

“He conocido etapas felices y otras profundamente dolorosas. He tomado decisiones increíblemente acertadas y he cometido errores garrafales. Soy un ser humano: un proyecto en constante desarrollo.”

Robin Sharma

Hoy, al concluir una etapa más de mi proyecto de vida, dedico este trabajo con el mayor respeto y amor a mi mamá, a Ti Chayito; que no sólo me has obsequiado el don de la vida sino también me has enseñado y ayudado a vivirla plenamente.

A mi adorable Gaby, a quien agradezco cada una de sus sonrisas que muy acertadamente me levantan el ánimo, me dan energía y una razón de lucha constante en mi vida. Eres uno de los motores principales que me mantienen de pie cada día de mi existencia. Te quiero hermanita.

A mi papá Gil y mi mamá Clara, mis abuelos queridos, a quienes agradezco profundamente su tiempo, sus enseñanzas y su amor para conmigo. Siempre están presentes en mi pensamiento, son un ejemplo de vida.

Para mis tíos y tías: Gaby, Lupita, Luzma, Clara, Mary, Lucia, Inés, Leo, Petra, Víctor, Juana, Pancho; mis primos y primas: Ahíde, Fanny, Vero, Sofi, Mayra, Sandra, Andy, Ángeles, Mariela, Diana, Yaris, Adán, Adrián, Toño, Beto, Oscar, Alejandro y, aunque no estés físicamente con nosotros, a Ti Germán; a mis sobrinos Chucho, Luis, Gus, y Chuchín; a Ti Agustín que eres un gran amigo, a toda mi demás familia querida, les doy gracias por hacer de mi vida una oda a la alegría, por apoyarme en cada instante y por enseñarme que no necesito el título más ostentoso para hacer el mejor de los trabajos.

A mis inolvidables y muy queridos amigos de la prepa: Becky, Aldo, Marco, Chino, Nelsón, Beto, Fa, Enrique, Viri, y Rebe; personas humildes y sinceras, quienes además de enseñarme el valor de la amistad, me regalaron no sólo tres años de su vida sino su vida para acompañar la mía.

Para mis grandes amigos y colegas: Alfred, Isis, Heber, Andy, Aimeé, Joaquín, Jaime, Yazmín, Kika, Vivi, Tatis, Susa, Juliux, Ro, Gavo, Marilú, Miris, Sharon, Manolo, Moy, Richie, Sustaita, Alex, y toda la bandota del SADAPI cuatro por las chestas que se armaron; con quienes compartí momentos gratos dentro y fuera de la escuela, personas increíbles de quienes aprendí mucho a cambio de nada y, además le dieron un sentido a mi estadía en ésta, nuestra querida facultad.



Para una niña muy especial, a quien amo y con quien desearía compartir cada segundo de mi vida. No escribo tu nombre, porque solo se puede escribir con los lápices del cielo.

Para mis amigos, colegas y compañeros de la Torre de Ingeniería: Oscar, Javis, Pau, Adris, Petri, Belmont, Jonathan, Daph, Ake, Chucho, Pavel, Varelas, Pedro, Virix, Rubí, Chío, Evelín, Naye, Juanín, Efrén, Pakito, Rafa, Mauro, Angie, Adriana, Fer, Abril, Dulce, Ángeles, Marín y Marco; quienes además de contribuir en mi desarrollo profesional, me han contagiado parte de su talento.

A mis maestros, quienes han sido una pieza clave en mi formación, tanto profesional como personal. Amigos de tiempo completo, tanto en el aula como extraclase.

Agradezco sinceramente a una persona, ejemplo de dedicación, superación, liderazgo, humildad y éxito; quien me brindó la oportunidad de ser parte de su equipo de trabajo, me ayudó en la realización de este trabajo y me ha formado profesionalmente, a Ti Doctor, Alfonso Durán Moreno.

A mi querida Facultad de Química a quien, con todo mi afecto agradezco la oportunidad de abrirme sus puertas para formarme como profesional de la Ingeniería Química con calidad humana.

Agradezco profundamente a mi *Alma Máter*, quien mancho de azul y oro mi corazón, formó en mí un ser con garra y coraje para hacerle frente día con día a la vida pero sobre todo, por brindarme el Honor de sentirme orgulloso al ser uno más de sus hijos.

¡Viva la Universidad Nacional Autónoma de México!

Todo tiene un final, pero en la vida cada final es un nuevo comienzo. Gracias Dios por regalarme la oportunidad de comenzar una nueva etapa en mi vida, hoy que estoy por concluir mi grandiosa etapa como estudiante.



ÍNDICE DE CAPÍTULOS

1	INTRODUCCIÓN	11
1.1	DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	13
1.2	JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3	OBJETIVO GENERAL	14
1.4	OBJETIVOS PARTICULARES.....	14
2	ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	15
2.1	MANEJO DE LOS RSU EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA	15
2.2	DEFINICIÓN DE LOS RSU	15
2.3	GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RSU	16
2.4	PLANES DE MANEJO DE LOS RSU	25
3	METODOLOGÍA EMPLEADA	27
4	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
4.1	GENERALIDADES FÍSICAS.....	28
4.2	POBLACIÓN Y DEPENDENCIAS.....	29
4.3	SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RSU EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA ..	30
5	MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL.....	56
5.1	LEGISLACIÓN FEDERAL.....	56
5.2	LEGISLACIÓN ESTATAL	58
5.3	ACUERDOS INTERNACIONALES EN MATERIA AMBIENTAL.....	59
5.4	INSTITUCIONES NACIONALES E INTERNACIONALES.....	60
6	EXPERIENCIAS EXITOSAS EN EL MANEJO DE RSU	62
6.1	MONTERREY, MÉXICO	63
6.2	AGUASCALIENTES, MÉXICO.....	65
6.3	ECOPARQUE LA RIOJA, ESPAÑA.	66
7	PROPUESTA PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS RSU EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA.....	68
7.1	PLANTEAMIENTO DE PROPUESTA	69
7.2	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.....	74
7.3	ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA	82
7.4	FACTIBILIDAD SOCIAL.....	113
7.5	IMPACTO AMBIENTAL.....	117
8	CONCLUSIONES	128
9	BIBLIOGRAFÍA	131
10	ANEXOS	136



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS RELLENOS SANITARIOS DE ACUERDO A SU CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO.....	24
TABLA 2. GENERACIÓN TOTAL Y UNITARIA DE RSU EN C.U.....	33
TABLA 3 RSU ENVIADOS A LA UNIDAD DE TRANSFERENCIA (<i>ADAPTADO DE DGOC, 2008</i>)	48
TABLA 4. NMX EN MATERIA DE RS (<i>ADAPTADO DE INE, 2008</i>).....	58
TABLA 5. LÍNEAS DE SEPARACIÓN DE RSU.....	66
TABLA 6. COMPOSICIÓN DE LOS RSU GENERADOS EN C.U. CONSIDERANDO UNA GENERACIÓN MÁXIMA DE 16 TONELADAS AL DÍA (<i>ADAPTADO DE PUMA, 2006</i>).....	71
TABLA 7. BALANCE DE MATERIALES	81
TABLA 8. ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE COMPRA DE SUBPRODUCTOS APROVECHABLES	83
TABLA 9. CÓDIGOS DE IDENTIFICACIÓN DE RESINAS.....	85
TABLA 10. EMPRESAS INTERMEDIARIAS Y RECIKLADORES.....	88
TABLA 11. PRECIOS DE COMPRA PROMEDIO DEL MATERIAL RECICLABLE.....	89
TABLA 12. INGRESO ANUAL POR COMERCIALIZACIÓN DEL MATERIAL RECICLABLE.....	90
TABLA 13. DATOS REPRESENTATIVOS DE LA PRM COTIZADA	93
TABLA 14. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA PRM DE C.U. MEDIANTE EL MÉTODO DE ESCALAMIENTO DE LOS SEIS DÉCIMOS (<i>ESTIMADO DE ORDEN DE MAGNITUD</i>).....	93
TABLA 15. ESTIMADO DE COSTOS DE INVERSIÓN FIJA (<i>AÑO 2008</i>).....	96
TABLA 16. ESTIMADO DE LOS COSTOS VARIABLES DE OPERACIÓN (<i>AÑO 2008</i>).....	97
TABLA 17. BENEFICIOS CUANTIFICABLES GENERADOS POR IMPLEMENTACIÓN DE LA PRM	98
TABLA 18. INDICADORES Y RECURSOS FINANCIEROS EVALUADOS	103
TABLA 19. CAMBIO DE LAS VARIABLES ECONÓMICAS CON RESPECTO AL CASO BASE.....	106
TABLA 20. CAMBIO DE LA VARIABLE ECONÓMICA PARA HACER EL VPN IGUAL A CERO...	108
TABLA 21. POSIBLES ESTRATEGIAS A IMPLEMENTAR PARA MINIMIZAR LOS RIESGOS DE INVERSIÓN.....	109



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UNA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DEL MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE PLANES MUNICIPALES DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN COSTA RICA, 2007)	17
FIGURA 2. TRANSBORDO DE RS EN ESTACIONES DE DESCARGA DIRECTA (FUENTE: ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE RS EN ÁREAS URBANAS, SEMARNAP. 1996)	21
FIGURA 3. TRANSBORDO DE RS EN ESTACIONES DE DESCARGA INDIRECTA (FUENTE: ESTACIONES DE TRANSFERENCIA DE RS EN ÁREAS URBANAS, SEMARNAP 1996)	22
FIGURA 4. ESTRUCTURA DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	26
FIGURA 5. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS RSU EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM.	27
FIGURA 6. MAPA DE CIUDAD UNIVERSITARIA (FUENTE: WWW.UNAM.MX).....	29
FIGURA 7. COMPOSICIÓN GLOBAL DE LOS RSU DE C.U. (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA, PUMA. UNAM, 2006)	34
FIGURA 8. COMPOSICIÓN DE LOS RSU DEPOSITADOS EN LOS CONTENEDORES DISPUESTOS PARA RESIDUOS ORGÁNICOS (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA, PUMA. UNAM, 2006)	35
FIGURA 9. COMPOSICIÓN DE LOS RSU DEPOSITADOS EN LOS CONTENEDORES DISPUESTOS PARA RESIDUOS INORGÁNICOS (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA, PUMA. UNAM, 2006)	35
FIGURA 10. SEPARACIÓN DE RSU EN CONTENEDORES PARA RESIDUOS ORGÁNICOS DE C.U. (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA, PUMA. UNAM, 2006).....	38
FIGURA 11. SEPARACIÓN DE RSU EN CONTENEDORES PARA RESIDUOS INORGÁNICOS DE C.U. (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA, PUMA. UNAM, 2006).....	39
FIGURA 12. TONELADAS DE MATERIALES RECICLABLES RECOLECTADAS ANUALMENTE Y RETRIBUCIÓN EN PAQUETES DE PAPEL DE 500 HOJAS (ADAPTADO DE DGOC, 2008)	44
FIGURA 13. TONELADAS POR MES Y AÑO DE RSU TRASLADADOS A LA UNIDAD DE TRANSFERENCIA (ADAPTADO DE INFORMES DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y CONSERVACIÓN, UNAM. 2008).....	49
FIGURA 14. ESQUEMA GENERAL ORGÁNICO DE LA ADMINISTRACIÓN DE LOS RS (FUENTE: A PARTIR DE INFORME INVESTIGACIÓN EN RESIDUOS Y SITIOS CONTAMINADOS. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, 2008).....	61
FIGURA 15. JERARQUÍA PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS RSU	68
FIGURA 16. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE LOS RSU QUE SE GENERAN EN C.U. (ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RS EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA, PUMA. UNAM, 2006).....	70



FIGURA 17. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL PROPUESTO PARA EL MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE LOS RSU EN LA C.U.	73
FIGURA 18. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PROPUESTO PARA LA PRM (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR INFORMACIÓN DEL PROVEEDOR SISTEMAS PARA TRITURACIÓN. JALISCO, MÉXICO. DICIEMBRE 2008) ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
FIGURA 19. LÍNEA PARA PROCESO DE RSU DE LA PLANTA TONALÁ, JALISCO (FUENTE: SISTEMAS PARA TRITURACIÓN. JALISCO, MÉXICO. DICIEMBRE, 2008)	77
FIGURA 20. ESQUEMA PROPUESTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE RECUPERACIÓN DE LA PRM.	79
FIGURA 21. ALGORITMO PARA DETERMINAR EL FACTOR MÍNIMO DE RECUPERACIÓN X EN FUNCIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICO-FINANCIERA.	79
FIGURA 22. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PROYECTO DE RECUPERACIÓN DE RSU	107
FIGURA 23. GRÁFICA PARA DETERMINAR EL VALOR DEL RIESGO, CONSIDERANDO LOS PARÁMETROS: PROBABILIDAD, IMPACTO Y TOLERANCIA (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LA GUÍA PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE)	111
FIGURA 24. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGOS DEL PROYECTO DE INVERSIÓN.....	112
FIGURA 25. POSIBLE UBICACIÓN DE LA PRM	118



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTO 1.	ÁREA DE PESAJE EN LA UNIDAD DE TRANSFERENCIA.	31
FOTO 2.	ANOTACIONES DE LAS OBSERVACIONES REALIZADAS.	31
FOTO 3.	CONTENEDORES COLOCADOS EN EL ÁREA ENCERRADA POR LAS CANCHAS DE FRONTÓN Y EL ANEXO DE INGENIERÍA.	32
FOTO 4.	MANIOBRAS REALIZADAS EN EL EDIFICIO DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA.	32
FOTO 5.	CONTENEDORES DE LA ARTESA COLOCADA EN LA FACULTAD DE QUÍMICA. ..	33
FOTO 6.	TIPO DE RSU GENERADOS DENTRO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO.	33
FOTO 7.	CONTENEDOR UBICADO EN LA ARTESA DEL EDIFICIO DE IMPRENTA, CUYO RESIDUO PRINCIPAL ES EL PAPEL.	36
FOTO 8.	RESIDUOS DE JARDINERÍA DISPUESTOS FUERA DE LOS CONTENEDORES.	36
FOTO 9.	BARRIDO EN LAS INSTALACIONES DE LA CU	40
FOTO 10.	ARTESA COLOCADA EN LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA.	40
FOTO 11.	VEHÍCULO RECOLECTOR DE RSU TIPO CARGA TRASERA.	41
FOTO 12.	CARGA Y DESCARGA MECÁNICA DE LOS RECOLECTORES.	41
FOTO 13.	RECOLECCIÓN DE RSU EN LA FACULTAD DE PSICOLOGÍA (RUTA 1).....	43
FOTO 14.	TRABAJO DE CUADRILLA EN LA ZONA DE INSTITUTOS (ZONA 3).	43
FOTO 15.	CARTÓN, DESECHO VALORIZABLE DE LOS RSU.	45
FOTO 16.	POLÍMEROS COMODITIES, FUENTE DE APROVECHAMIENTO.	45
FOTO 17.	PILAS DE COMPOSTA EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE DE C.U.	46
FOTO 18.	ACTIVIDADES DE PEPENA DENTRO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO.....	46
FOTO 19.	CAMIÓN RECOLECTOR HACIENDO SU LABOR.....	47
FOTO 20.	CONTENEDOR CON SISTEMA HIDRÁULICO-DINÁMICO PARA LA COMPACTACIÓN.	47
FOTO 21.	ARRIBO DEL CAMIÓN A LA ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA DE LA DELEGACIÓN COYOACÁN.....	50
FOTO 22.	VACIADO DE LOS RSU EN LOS CONTENEDORES DE LOS CAMIONES TIPO TRAILER.	50
FOTO 23.	ESPACIOS DESTINADOS PARA LA REALIZACIÓN DE MANIOBRAS OCUPADOS POR VEHÍCULOS PARTICULARES.....	54
FOTO 24.	CONTENEDORES UBICADOS EN EL CIRCUITO EXTERIOR (TAPATÍO)	54
FOTO 25.	MANIOBRAS DE RECOLECCIÓN REALIZADAS SOBRE VIALIDADES DEBIDO A LA INADECUADA UBICACIÓN DE LOS CONTENEDORES.....	54
FOTO 26.	CONTENEDORES UBICADOS EN ÁREAS DE DIFÍCIL ACCESO PARA EL CAMIÓN RECOLECTOR (ZONA DE CANCHAS DE FRONTÓN).	54
FOTO 27.	ARREGLO GENERAL DE LAS 4 BANDAS DE SELECCIÓN EN LA PLANTA.	64
FOTO 28.	PATIO DE RECEPCIÓN DE RSU	64
FOTO 29.	SELECCIÓN MANUAL DE LOS RSU.....	64
FOTO 30.	PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS.	64
FOTO 31.	RELLENO SANITARIO CONTROLADO POR EL SISTEMA DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS (SIMAR) DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES.....	66



FOTO 32.	ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA INTERMUNICIPAL DE PABELLÓN DE ARTEAGA. ...	66
FOTO 33.	ARREGLO GENERAL DE LAS INSTALACIONES.....	67
FOTO 34.	PATIO DE ALMACENAMIENTO DE RSU.....	67
FOTO 35.	SISTEMA DE BANDAS PARA PROCESAMIENTO DE RSU.....	67
FOTO 36.	PROCEDIMIENTO DE HOMOGENEIZACIÓN DE RSU.....	67
FOTO 37.	ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE RSU	67
FOTO 38.	FOSO DE ALMACENAMIENTO DE RSU	67
FOTO 39.	ARREGLO GENERAL DEL SISTEMA DE BANDAS PARA PROCESAMIENTO DE RSU	67
FOTO 40.	CRIBA TRÓMEL PARA LA SEPARACIÓN DE LA FRACCIÓN FINA	67



1 INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos, el hombre ha utilizado los recursos de la tierra para su supervivencia; sin embargo, sus acciones irresponsables sobre el uso racional de los mismos han excedido ya la capacidad de los ecosistemas para proveer de bienes y servicios ambientales, así como de captación de los residuos ^{[[35]}. Anteriormente la evacuación de los residuos humanos no planteaba un problema significativo, ya que la población era pequeña y la cantidad de terreno disponible para la asimilación de los mismos era grande. Los problemas de la evacuación de residuos pueden ser trazados desde los tiempos en los que los seres humanos comenzaron a organizarse en sociedades, y la acumulación de residuos llegó a ser una consecuencia de vida. En los últimos años los problemas de contaminación han adquirido tal magnitud y diversidad que la sociedad ha ido tomando cada vez mayor conciencia de los riesgos actuales, y más aún, de los potenciales. Sin embargo, la crisis ambiental representa uno de los retos más importantes que enfrenta la sociedad actual. Dentro de esta temática, el problema de los residuos sólidos urbanos (RSU), conocidos comúnmente como basura, no es un aspecto menor, no sólo porque su gestión inapropiada ha ocasionado alteraciones ecológicas como la contaminación de los suelos, del aire y de los cuerpos acuíferos; sino que al generarse desperdicios que no tienen un tratamiento adecuado se dilapidan recursos naturales no renovables afectando al ambiente y la salud de la comunidad. En este contexto la educación ambiental para el desarrollo sustentable se convierte en un eje fundamental para frenar el deterioro ambiental, lo que obliga a intensificar los esfuerzos en todas las áreas del quehacer individual y social para cambiar el modelo del desarrollo actual. Es por esto que la Universidad Nacional Autónoma de México ha abordado esta problemática seriamente empleando sus recursos materiales y humanos en el desarrollo de proyectos, programas y estrategias que promueven acciones que

^[35] SEMARNAT, 2001. *Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales. Primera Edición. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. México, D.F.*



conlleven a su solución. Trabajando en conjunto y paralelamente algunos centros de investigación, escuelas y programas con las entidades encargadas del manejo de los RSU, se ha logrado hasta ahora implementar algunas medidas y estrategias que han ayudado a mejorar la gestión de éstos en la Ciudad Universitaria. Dentro de estas acciones se pueden citar el estudio realizado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera sobre el manejo de los desechos sólidos en C.U.^[6], en el cual se calculó la producción de basura por estudiante y se hizo una proyección hacia 1990; la construcción de una planta incineradora de basura a partir de 1982 para la disposición final de los residuos, y la creación en 1991 del Programa Universitario del Medio Ambiente, organismo cuya finalidad es apoyar e impulsar actividades orientadas a investigar y difundir una cultura de protección al medio ambiente en todas las dependencias de la Universidad. Sin embargo, aún cuando se tuviera la infraestructura más sofisticada del mundo no se lograría un manejo adecuado de la basura sino se adquiere una cultura ecológica por parte de la fuente generadora principal, es decir, hacer del estudiante, académico, administrativo o cualquier persona ajena a la Universidad un hábito el colocar adecuadamente sus desechos en los contenedores dispuestos para este fin, y esto es precisamente un vértice crítico para la implementación de un plan universitario de manejo de los RSU. En este estudio se propone realizar un diagnóstico integral del manejo de los RSU en la Ciudad Universitaria con el objeto de establecer la máxima cantidad de generación y el potencial de aprovechamiento de los mismos. Analizar los fundamentos para determinar la viabilidad tecnológica aplicable al tratamiento de los RSU específicos generados en C.U. Se sugiere hacer una revisión crítica de experiencias similares a nivel nacional e internacional, para complementar el estudio y conocer aquellas propuestas que puedan ser aplicables al caso de estudio. Así como revisar los marcos jurídicos tanto del Distrito Federal como a nivel federal en materia

^[6] BRAVO, H. 1982. *Manejo de desechos sólidos en Ciudad Universitaria*. Reporte de investigación. Departamento de Contaminación Ambiental. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México, D.F.



ambiental para establecer la viabilidad de implementación de un Plan Integral Universitario de Manejo y Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Urbanos. Por otra parte, se revisará la legislación internacional al respecto con el fin de tener mayores referencias en cuanto al desempeño ambiental de sistemas como los que se pueden proponer como alternativas de solución en el presente proyecto; asimismo, se analizarán acuerdos internacionales que permitan sustentar la viabilidad del proyecto en cuanto a beneficios ambientales que puedan obtenerse del mismo, al dar un procesamiento a los RSU. En síntesis, este proyecto de tesis consiste en una propuesta conceptual donde se incluyan propuestas de logística e infraestructura necesaria para el mejor manejo y aprovechamiento de los RSU en la Ciudad Universitaria.

1.1 DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

La Ciudad Universitaria, considerada como una ciudad media por su densidad de población, por las actividades que allí se desarrollan y por los servicios que demanda; además de estar inmersa en una de las ciudades más grandes del mundo, ha hecho suya la necesidad de implementar estrategias para manejar adecuadamente los RSU que allí se generan. En este contexto radica la esencia del presente trabajo donde se aborda la problemática concerniente al manejo actual de los RSU en la Ciudad Universitaria que va desde su fuente de generación hasta su disposición final, revisando la logística operativa e infraestructura del sistema de recolección, la recuperación selectiva de algunos materiales que conlleven a una reducción de los mismos, las actividades de compostaje realizadas, qué dependencias se encargan de la supervisión y manejo de los RSU; todo ello con el objeto de conocer más a fondo lo que sucede a este respecto y proponer mejoras sustentables técnica, económica, ambiental y socialmente para un mayor aprovechamiento de los RSU



1.2 JUSTIFICACIÓN

La cuestión de los residuos afecta en general y paralelamente a todas las actividades, personas y espacios; convirtiéndose en problema, no sólo por lo que representa en términos de recursos abandonados, sino por la creciente incapacidad para encontrar lugares que permitan su acomodo correcto desde un punto de vista ecológico. Partiendo de esta premisa, este estudio busca conocer y establecer puntos de mejora en el sistema de manejo de los RSU en Ciudad Universitaria, con la finalidad de minimizar la cantidad de ellos generados y maximizar su aprovechamiento antes de ser enviados al sitio de disposición final, contribuyendo así, a la conservación del medio ambiente y al abatimiento de costos sociales y económicos asociados a su recolección, manejo y disposición final.

1.3 OBJETIVO GENERAL

En el marco de los conceptos de Desarrollo Sustentable, realizar estudios que fundamenten desde los puntos de vista técnico, económico, ambiental y social, la viabilidad de implementar en la ciudad universitaria un Plan Integral de Manejo y Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad Universitaria.

1.4 OBJETIVOS PARTICULARES

- Proporcionar un panorama general de la problemática que actualmente enfrenta la Ciudad Universitaria, con respecto a la generación, tratamiento y disposición final de los RSU.
- Establecer la línea base de la máxima cantidad de generación de RSU y el potencial de aprovechamiento de los mismos.
- Elaborar una propuesta conceptual para mejorar el actual sistema de recolección de RSU y de destino final evaluada técnica y económicamente.
- Elaborar un análisis financiero que justifique la solicitud de recursos para llevar a cabo el proyecto de inversión.



2 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1 MANEJO DE LOS RSU EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA

Dentro de los campos académicos y de investigación de Ciudad Universitaria se cuentan diversos estudios desarrollados para proponer soluciones a la contaminación ambiental ocasionada por los RSU manejados inadecuadamente^[27]. De éstos, el estudio más reciente es el realizado por el Programa Universitario del Medio Ambiente en colaboración con el Programa de Maestría y Doctorado de la Facultad de Ingeniería, durante la primera mitad del año 2006 como una actividad clave dentro de su Plan Estratégico de Manejo de Residuos Sólidos en Ciudad Universitaria denominado: “Estudio de Generación de RSU en la Ciudad Universitaria”, en el cual se establece la cantidad y caracterización de la basura generada dentro del campus para conocer el potencial de reducción y reciclaje de materiales aprovechables, además se proponen estrategias para sensibilizar y capacitar a los universitarios respecto a la importancia de separar selectivamente la basura.

2.2 DEFINICIÓN DE LOS RSU

Se entiende por residuo sólido cualquier material desechado que pueda o no tener utilidad alguna^[17]. La ley Ambiental del Distrito Federal establece que los **residuos sólidos (RS)** son todos aquellos residuos en estado sólido que provengan de actividades domésticas o de establecimientos industriales, mercantiles y de servicios, que no posean las características que los hagan peligrosos. La ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en su artículo 3° (frac. XXXI) define **residuo** como “cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo

^[27] Programa Universitario del Medio Ambiente, 2006. *Estudio de Generación de Residuos Sólidos en la Ciudad Universitaria*. UNAM, México, D.F.

^[17] JIMÉNEZ-Cisneros, B.E. 2001. *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Ed. Limusa, México, D.F.



nuevamente en el proceso que lo generó. Empero, los **residuos sólidos urbanos (RSU)** se pueden definir, según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPyGIR), artículo 5° (frac. XXXIII) como “aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta ley como residuos de otra índole.

2.3 GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RSU

La LGPyGIR define a la Gestión Integral de los RS como un conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

El concepto de gestión no sólo toma en cuenta aspectos de sostenibilidad técnica o financiero-económica, sino que también incluye los aspectos socioculturales, ambientales, institucionales y políticos que influyen en la sostenibilidad de la gestión de los residuos. Es un enfoque estratégico y de largo plazo, que pone el acento en el papel fundamental de una variedad de actores sociales que participan de manera cotidiana en las diferentes fases de la gestión.

Como se muestra en la Figura 1 la gestión integral de los residuos tiene tres dimensiones principales que están interrelacionadas:

1. Los actores sociales involucrados en la gestión de residuos (persona, organización, empresa, institución).
2. Los elementos (operativos y técnicos) del sistema de residuos.



3. Los aspectos del contexto local que deben ser considerados cuando se evalúa y planifica un sistema de gestión de residuos.

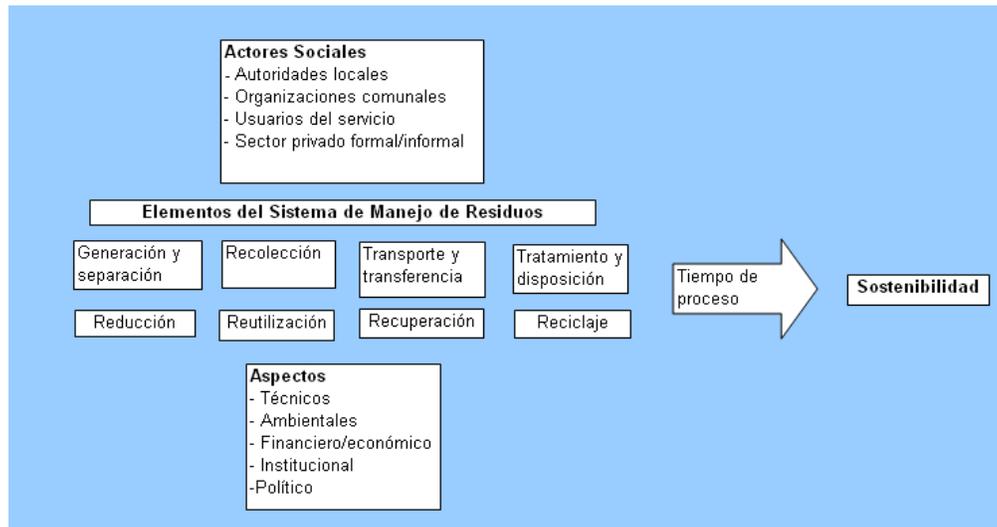


Figura 1. Características principales de una gestión integral de residuos (elaboración propia a partir del manual para la Elaboración de Planes Municipales de Gestión de Residuos Sólidos en Costa Rica, 2007)

Elementos del sistema de Manejo de Residuos

Para poder establecer propuestas de mejora dentro de un sistema de manejo de residuos sólidos ya planificado o por planificar, es necesario conocer las etapas o elementos que conforman a dicho sistema. Tradicionalmente considera desde el control de la generación, almacenamiento, barrido, recolección, transferencia, transporte, tratamiento, hasta la disposición final. Cada una de las etapas mencionadas, debe ser efectuada bajo criterios que tomen en cuenta cuestiones de salud pública, el factor económico, tecnología, estética, pero principalmente que tengan siempre presente la conservación y protección del ambiente, así como el uso eficiente de los recursos^[17].



Generación

Toda actividad humana es susceptible potencialmente de producir residuos. La generación se inicia cuando un consumidor decide que un producto se torna no deseable y/o sin utilidad, siendo una variable que se encuentra íntimamente relacionada con el grado de desarrollo de una localidad y sus características económicas. Las cantidades de residuos sólidos generadas son de una importancia crítica para determinar la infraestructura técnica y humana necesaria para un manejo adecuado de los mismos. Dentro de las fuentes generadoras de residuos sólidos se encuentran: domiciliarias, comercio, servicios, especiales, industriales, agrícolas, peligrosos y de la construcción.

Almacenamiento

Es esta etapa los residuos sólidos son retenidos temporalmente para su posterior recolección. Los factores que deben considerarse para asegurar un almacenamiento apropiado y establecer su tiempo óptimo incluyen los efectos del mismo almacenamiento sobre las características de los residuos a contener, el tipo y localización del contenedor que se va a utilizar, la higiene para preservar la salud pública y la estética^[38]. Existen dos tipos de almacenamiento *in situ* y *ex situ*. El primero se refiere al que se realiza dentro de las casas-habitación y se encuentra limitado por la disponibilidad de espacio y descomposición de los residuos orgánicos. En la bibliografía se menciona que la duración del almacenamiento no debe exceder de 8 días para RSU^[17]. Por otra parte, el almacenamiento *ex situ* se realiza fuera de éstas, básicamente en contenedores peatonales.

Barrido

El barrido es una actividad intrínseca de un sistema de gestión de RSU. Consiste en la recolección manual o mecánica de los RS dispuestos deliberadamente o accidentalmente en la vía pública. Un sistema convencional de barrido público está conformado por un grupo de personas conocidos como barrenderos que

^[38] TCHOBANOGLOUS, G. et.al. 1994. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Ed. McGraw-Hill. España.



retiran los RS del área. Generalmente en los centros de mayor concentración de población, donde son llevadas a cabo en gran número actividades económicas, sociales y culturales, a dichas personas se les asigna una zona de atención prioritaria para realizar el barrido como calles principales, plazas públicas, parques y jardines, sitios comerciales etc.

El barrido manual es ejecutado por un operario (barrendero) dispuesto de equipo como un carrito con tambos de 200 L, escobas, cepillos, recogedores, bolsas de plástico, asignado a la limpieza de un área determinada, bajo un horario de trabajo establecido. El barrido mecánico es aquel que se realiza mediante la utilización de barredoras mecánicas que van limpiando las zonas determinadas a través de sus mecanismos implementados. El uso de este sistema de barrido es muy común en grandes áreas y opera paralelamente bajo cierto esquema de logística.

Recolección

La recolección de los RSU, sin un manejo adecuado previo (selección y separación de origen), en una zona urbana es complejo, debido a que la generación de residuos sólidos comerciales-industriales y domésticos se produce en cada casa, cada unidad comercial e industrial, así como en las calles, aceras, plazas públicas, instituciones e incluso lugares vacíos^[38]. El siempre creciente desarrollo y expansión de las ciudades complica todavía más la tarea de recolección.

La etapa de recolección o toma de residuos sólidos de diversos orígenes, es la parte medular de un sistema de aseo urbano y ocupa hasta un 80% la porción más grande de los gastos totales de la gestión de los residuos^[32]). Comúnmente son las autoridades las encargadas de efectuarla en los puntos donde se genera. La recolección consiste en la entrega por parte de la fuente generadora al

^[32] SEGEM, 2003. *Estudio Básico sobre la Implementación de Tarifas para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos sólidos Urbanos.*



recolector de sus residuos almacenados, para su transporte al sitio de tratamiento o disposición final en forma eficiente y al menor costo[†].

Recuperación y tratamiento

En esta etapa se incluyen todas las técnicas y el equipo empleado para recuperar y valorizar materiales, mejorar la eficiencia de la disposición y maximizar la conversión de la basura en productos útiles. La naturaleza de esta fase radica en los conceptos del **reciclaje y reúso**, actividades que permiten obtener un mejor aprovechamiento de los mismos. El reciclaje se refiere a la separación y recolección selectiva de materiales usados y desechados con el fin de aprovecharlos como sustituto total o parcial de materias primas en la manufactura de nuevos productos. Dentro de los materiales que pueden ser susceptibles para su reciclaje están el cartón, papel, plásticos, metales, vidrio, entre otros. La actividad de reúso está encaminada al aprovechamiento de algún material descartado sin que medie un proceso de transformación.

Transporte y transferencia

Este elemento funcional se refiere a los medios, instalaciones y accesorios utilizados para efectuar la transferencia de residuos desde un lugar a otro, normalmente más distante^[38]. Esta actividad consiste en traspasar los residuos de un vehículo recolector a otro de mayor capacidad, para su transporte posterior al sitio de tratamiento o de disposición final. Sabiendo que la recolección de los RS es una de las etapas de mayor inversión económica y que el transporte directo entre la zona de recolección y el sitio de disposición final (ubicado generalmente fuera de la ciudad) ya no es económicamente factible debido a la distancia considerable existente entre ellos, o cuando los centros de procesamiento y/o tratamiento están situados en lugares de difícil acceso, es entonces imprescindible el empleo de sitios de transferencia. Una estación de transferencia se define como el conjunto de equipos e instalaciones donde es realizado el transbordo de los

[†] En esta etapa se emplea un número considerable de recursos económicos, una pequeña mejora en la operación de recolección puede provocar un ahorro significativo en el coste global.



residuos de un vehículo recolector a otro de mayor capacidad de carga, para ser transportados al sitio de disposición final. Según la operación de carga utilizada en los vehículos de transporte, las estaciones de transferencia se pueden clasificar fundamentalmente en tres tipos: carga directa, carga indirecta y estaciones combinadas.

En las estaciones de **descarga directa** el contenido de los camiones recolectores se descarga, por gravedad, directamente en el vehículo de transferencia[‡].

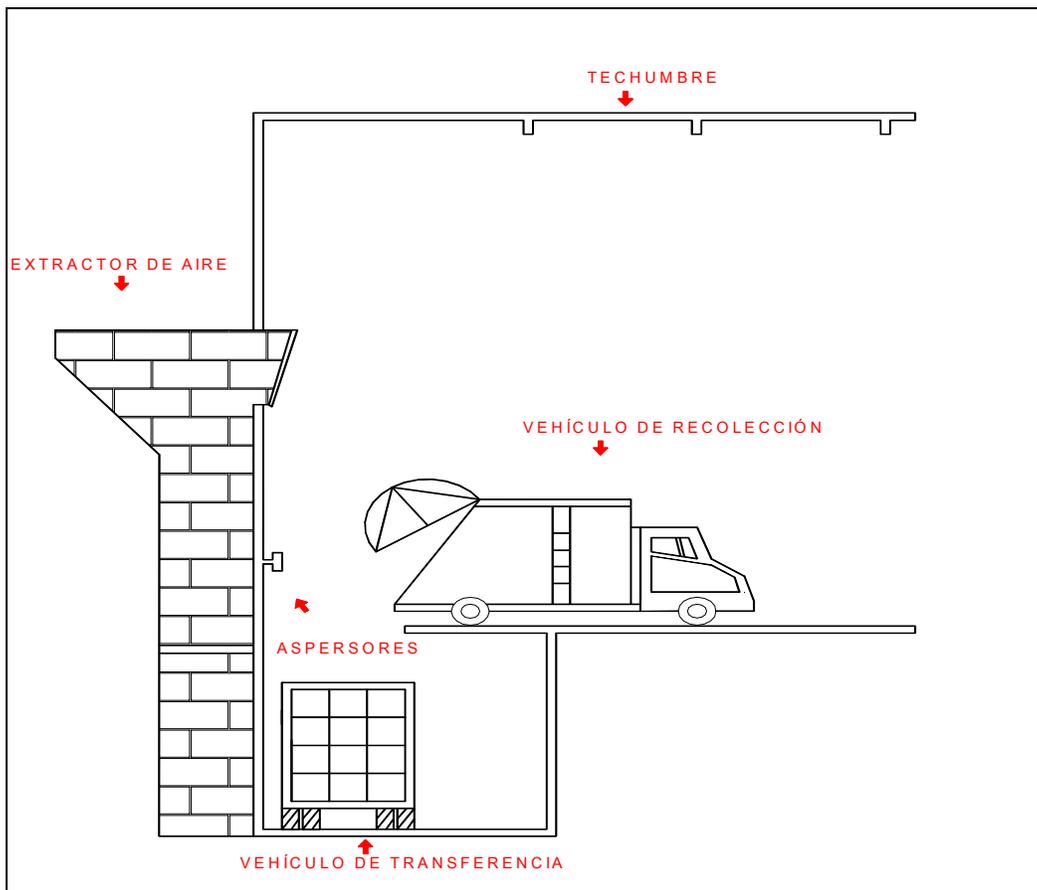


Figura 2. Transbordo de RS en estaciones de descarga directa (fuente: Estaciones de Transferencia de RS en áreas urbanas, SEMARNAP. 1996)

[‡] El vehículo de transferencia generalmente es un trailer con capacidad que varía de 20 a 25 toneladas.



En las estaciones de **descarga indirecta** el vaciado de los residuos de los vehículos recolectores se realiza directamente a una fosa de almacenamiento o sobre una plataforma donde posteriormente son cargados en los vehículos de transferencia mediante diversos equipos auxiliares. La diferencia existente entre las estaciones de descarga directa y estas estaciones consiste en que estas últimas están diseñadas con capacidad para almacenar los residuos por un tiempo determinado. El tiempo para efectuar la transferencia de los residuos en este tipo de estaciones es menor respecto a las primeras, puesto que los vehículos recolectores nunca tienen que esperar para descargar sus residuos.

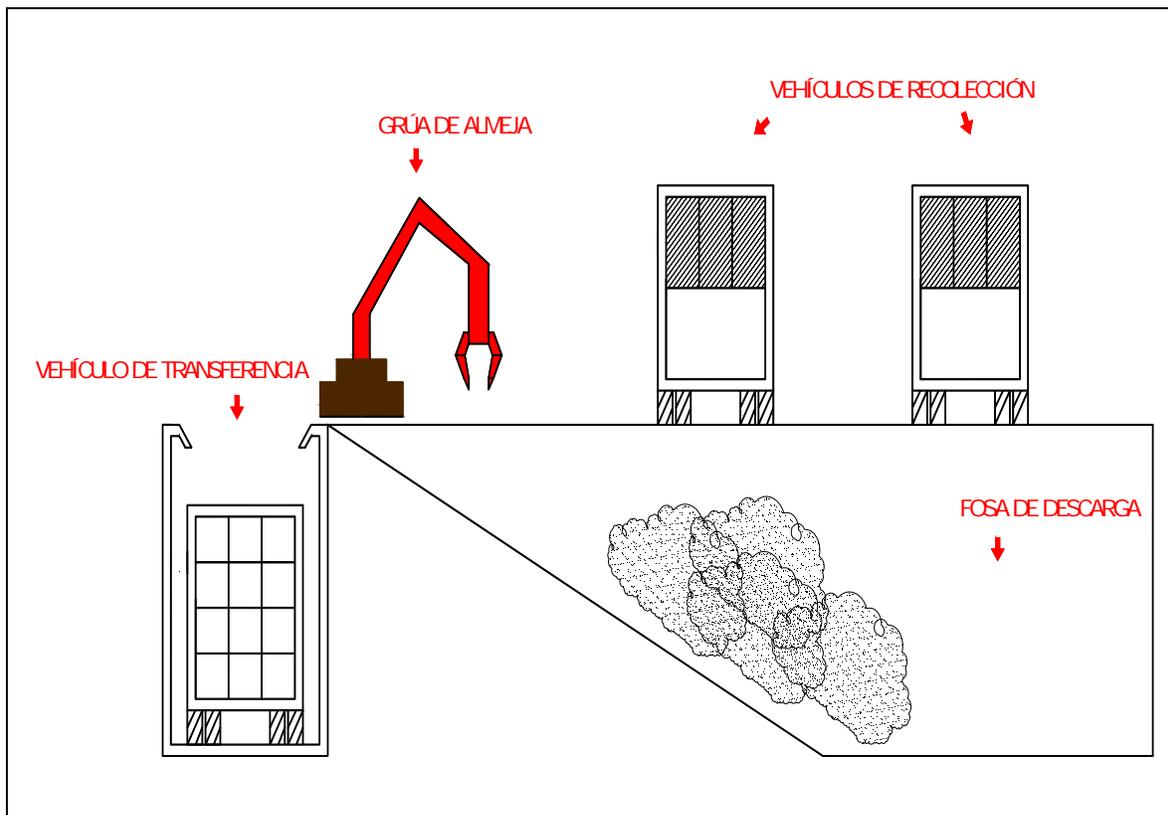


Figura 3. Transbordo de RS en estaciones de descarga indirecta (fuente: *Estaciones de Transferencia de RS en áreas urbanas, SEMARNAP 1996*)



Disposición final

Es el destino último de todo desecho sólido^[17]. La LGPyGIR define a la disposición final como la acción de depositar o confinar permanentemente los residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas. Entre los sitios más comunes para la disposición de los residuos permanentemente son los **rellenos sanitarios** y los **tiraderos a cielo abierto (basureros)**. Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el 2005, en el país existían 118 lugares para disponer los RSU (95 rellenos sanitarios y 23 rellenos de tierra controlados); sin embargo, hasta ese año no se tiene información de cuantos sitios no controlados se encuentran en el país, pero se conoce que llegan a depositarse más de 11,000 toneladas de residuos diariamente. Los rellenos sanitarios son una técnica de “eliminación” de los rechazos procedentes de los residuos sólidos, dispuestos en el suelo bajo condiciones controladas y que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible. La obra en sí, consiste en preparar el terreno, colocar los residuos extendidos en capas delgadas cubriéndolas con capas de tierra diariamente y compactándolas para reducir su volumen. La técnica además de fungir como un área de disposición final, puede actuar paralelamente como un sistema de tratamiento, que con implementación de una infraestructura adecuada se pueden aprovechar los productos obtenidos de la descomposición de los residuos, tales como el biogás proveniente de la descomposición anaerobia de la materia orgánica. De acuerdo a su **capacidad de procesamiento**, la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 clasifica a los rellenos sanitarios como se indica en la Tabla 1, en función del tipo de población a la que se le brinda el servicio.



Tabla 1. Clasificación de los rellenos sanitarios de acuerdo a su capacidad de procesamiento

TIPO	TONELAJE RSM RECIBIDO TON/DIA
A	Mayor a 100
B	50 hasta 100
C	10 y menor a 50
D	Menor a 10

(Fuente: NOM-083-SEMARNAT-2003)

Por otra parte de acuerdo a su **filosofía de operación** los rellenos sanitarios pueden ser clasificados como **relleno sanitario manual** y **relleno sanitario mecánico**. Un **relleno sanitario manual** es aquel en el que las actividades de acomodo, cobertura y compactación de los residuos dispuestos, así como algunos trabajos, tales como construcción de drenajes para lixiviados y chimeneas para gases se llevan a cabo manualmente. Sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas, así como para la excavación de zanjas, la extracción, el acarreo y distribución del material de cobertura. Este tipo de rellenos funcionan adecuadamente para la disposición final de residuos en pequeñas proporciones (menor a 50 ton/día). Un **relleno sanitario mecánico** obedece a aquél relleno que cuenta con equipo mecánico y pesado para su operación normal, es decir, para la realización de actividades como la cobertura y compactación diaria de los residuos sólidos. Requiere de mecanismos de control y vigilancia para su funcionamiento, siendo recomendable para poblaciones donde sean dispuestas cantidades mayores a las 50 ton/día.

Otro sitio común para la disposición final de los residuos sólidos son los tiraderos a cielo abierto, los cuales son extensos terrenos donde la basura es depositada clandestinamente sin apego a ninguna normatividad careciendo por ende, de algún tipo de control sanitario u operativo. Esta clase de sitio de disposición final



representa una de las fuentes principales de contaminación del aire, suelo y agua. Por esta razón, hoy en día la disposición adecuada de los residuos sólidos se debe realizar en rellenos sanitarios, los cuales para que puedan considerarse como tal, debieron haber sido estudiados bajo diversos esquemas apegados a la NOM-083-SEMARNAT-2003, que refiere las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

2.4 PLANES DE MANEJO DE LOS RSU

La planificación es un proceso mediante el cual se define una estrategia de largo o mediano plazo de lo que se desea alcanzar, procurando una utilización racional de los recursos disponibles que podrían disponerse, evitando de esta forma que se usen de una manera desordenada y sin metas claras^[12].

En el quehacer cotidiano de muchos municipios del país, estos se enfrentan a una serie de condiciones que dificultan la realización de un servicio municipal de gestión de residuos sólidos eficiente desde el punto de vista operativo y financiero, que minimice su impacto en el ambiente y la salud de la población. De esta manera, nos encontramos con que en general, las actividades responden a las emergencias de cada día; el sistema de gestión de residuos se ha ido definiendo conforme la práctica y la experiencia del personal, la operación del sistema demanda un alto porcentaje del presupuesto municipal y/o institucional; no hay una cobertura total del servicio de recolección o de barrido de calles; los camiones recolectores sufren desperfectos constates, no se promueve la recuperación de los materiales reciclables y cuando esto se hace, no existe un sistema operativo que asegure la recolección y acopio de estos materiales. La disposición final es un problema serio, cada día surgen nuevos tipos de materiales o productos que no pueden ser manejados dentro de la corriente municipal de recolección o

^[12] FEMISCA (2008). Apuntes del curso: *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. México, D.F., Julio 2008.



disposición final de residuos por su complejidad o peligrosidad. Cuando la gestión de los residuos no se planifica no siempre se obtienen los resultados esperados y tampoco se garantiza un uso eficiente de los recursos, humanos, equipos, financieros, así como del tiempo. Por esta razón, surge la necesidad de implementar un plan de manejo integral de los residuos sólidos que, según la LGPyGIR es un instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de los RSU, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, diseñado conforme a los principios de responsabilidad compartida y manejo integral. Elaborar un plan no es una actividad que se realice en uno o dos días. Se trata, más bien, de un proceso que debe contar con el involucramiento de varias personas u organizaciones comprometidas y conscientes de la gravedad de una inadecuada gestión de los residuos. Las etapas primordiales a seguir para la elaboración de un plan maestro de manejo de los residuos sólidos se ilustran en el esquema de la Figura 4.

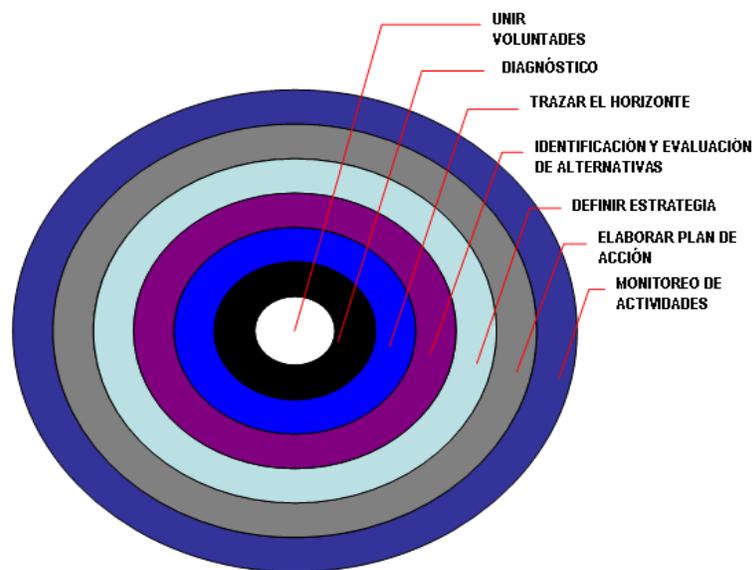


Figura 4. Estructura del plan de manejo integral de los residuos sólidos

(Fuente: Elaboración propia a partir de los apuntes del curso *Gestión Integral de los RSU*, impartido por la FEMISCA, Junio 2008)



Uno de los objetos principales de la LGPyGIR es la creación de instrumentos sobre la política de prevención, génesis de los planes de manejo, que contemplan además de la minimización de la generación y la valorización de los RS, medidas que reduzcan costos en su administración, esquemas de manejo bajo el principio de responsabilidad compartida y el fomento de la innovación de procesos, métodos y tecnologías para lograr un manejo eficiente e integral de los RS, que sea económicamente factible.



METODOLOGÍA EMPLEADA

Para la realización del presente estudio se establecieron dos etapas. La primera es la etapa de investigación de campo que permite conocer la situación actual del manejo de los RSU dentro del campus. La segunda etapa corresponde a la generación de propuestas que garanticen la disposición adecuada de los mismos. En la **Figura 5** se muestra el desarrollo del proyecto de investigación.

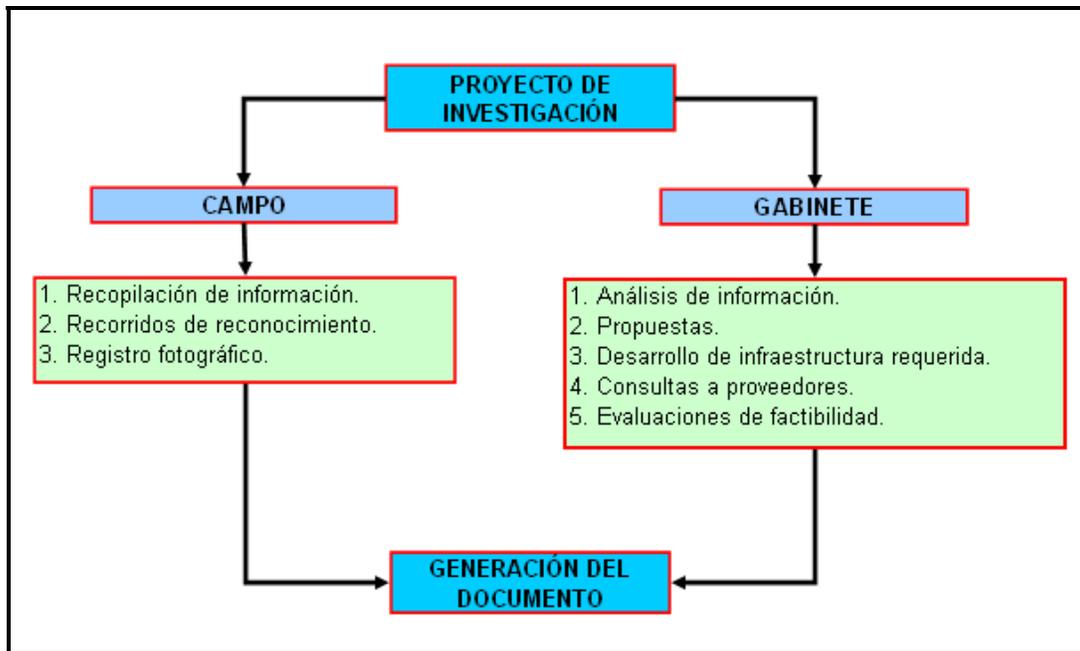


Figura 5. Metodología empleada para la elaboración del plan de manejo integral de los RSU en la ciudad universitaria, UNAM.



3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 GENERALIDADES FÍSICAS

La Ciudad Universitaria (C.U.) asentada en la zona sureste de la Ciudad de México, enmarcada dentro de la Delegación Coyoacán, es un singular complejo académico, cultural y deportivo. Con una altitud de 2200-2277 msnm y una extensión que comprende alrededor de 711 hectáreas, alberga cerca de 321 edificios, 42.4 km de vialidades y andadores, 1,066,000 m² de áreas verdes y jardinerías, así como 198,000 m² de áreas deportivas^[15]. El clima predominante es templado subhúmedo, con lluvias en verano y una precipitación promedio anual de 835 mm. Presenta una temperatura media anual de 15.5 °C. La geología de la zona está conformada por roca ígnea extrusiva, la cual constituye las planicies y accidentes geográficos característicos de C.U. En su quehacer y preocupación por la preservación de los ecosistemas, el campus posee una reserva ecológica de flora y fauna únicas en el mundo, conocida como Reserva Ecológica El Pedregal, la cual abarca hoy en día una extensión de 1.46 km² y es el refugio de muchas especies silvestres desplazadas por la destrucción de su hábitat natural gracias al crecimiento incontrolable de la ciudad.

^[15] HERNÁNDEZ-Fernández, C. 2007. *Manejo de residuos sólidos en Ciudad Universitaria, México, D.F.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México.

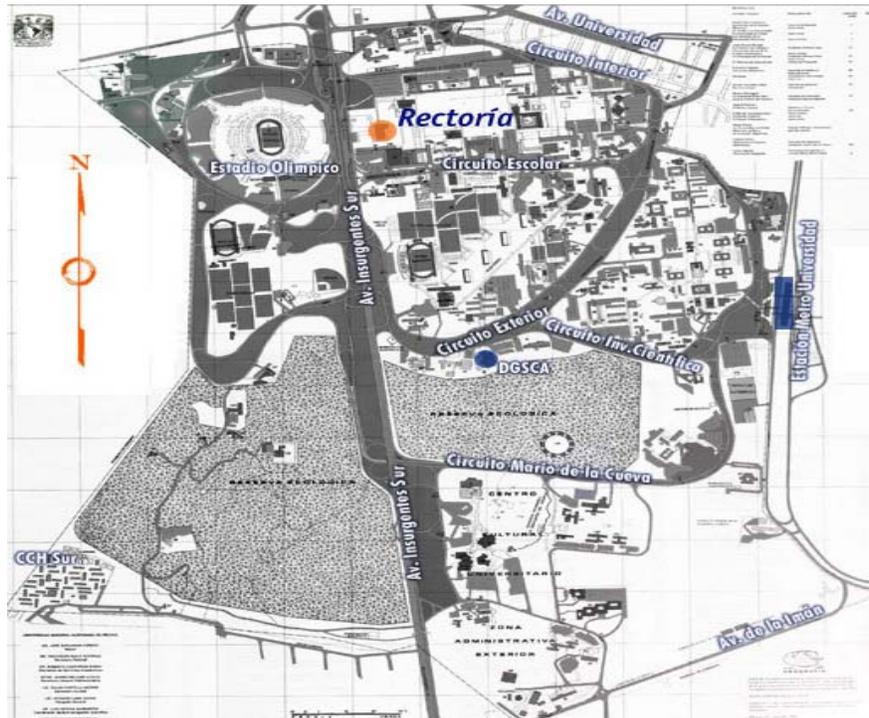


Figura 6. Mapa de Ciudad Universitaria (fuente: www.unam.mx)

3.2 POBLACIÓN Y DEPENDENCIAS

Según la Dirección General de Planeación (DGPL), a la Ciudad Universitaria asisten diariamente alrededor de 100,000 estudiantes (licenciatura y posgrado), 25,000 académicos (profesores, técnicos académicos e investigadores) y 28,000 personas entre personal administrativo[‡] y personal de servicios que laboran en este campus. La infraestructura propia de la Ciudad Universitaria es compleja, ya que se cuenta con las instalaciones y servicios para cubrir las necesidades de la comunidad oportunamente. Para cumplir con este fin, se cuenta con los edificios adecuados para la impartición de clases y aquellos destinados al quehacer científico y desarrollo tecnológico, bibliotecas, cafeterías, centros deportivos, un centro médico, museos, una zona cultural, un jardín botánico, entre otros; donde se brinda una gama de servicios como servicios médicos, de protección y

[‡] Valores determinados a partir de cálculos propios hechos sobre datos reportados por la DGPL.



seguridad, deportivos, culturales, comercios; alimenticios; así como también de transporte interno y foráneo.

3.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RSU EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA

Como consecuencia de la densidad considerable de población concentrada dentro de la Ciudad Universitaria y de las múltiples actividades del quehacer diario allí desarrollado, la generación y recolección de los RSU se ha incrementado tanto en volumen como en las características de sus componentes. A partir de la década de los noventa, la Universidad se vio en la necesidad de implementar medidas más concretas para solucionar la problemática creciente sobre el manejo inadecuado de los RSU generados incontrolablemente en la Ciudad Universitaria, génesis del Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA) cuya tarea, entre otras, es apoyar actividades de las diversas dependencias que tengan a bien tratar y resolver problemas de índole ambiental. Dentro de las últimas acciones implementadas por este programa en C.U. esta aquella cuyo objetivo es la reducción o minimización de la basura generada a través de su separación estratégica de materiales que pueden ser reutilizados y/o reciclados.

Para conocer más a fondo el manejo actual de los RSU generados en C.U. se tuvo la necesidad de involucrarse directamente con las instancias encargadas de esta materia. Para ello se hicieron recorridos de reconocimiento en cada una de las rutas de recolección, se visitó la unidad de transferencia de Coyoacán (sitio donde se disponen los RSU de la C.U.), se mantuvo siempre comunicación directa con el personal de la Dirección General de Obras y Conservación responsable de esta área para la recopilación de información relevante sobre este campo, y se asistió a la planta de composta para conocer su filosofía de operación, infraestructura y terreno disponible. Los recorridos se hicieron acompañando al personal operativo de los diversos camiones recolectores de basura durante la ejecución de su tarea, haciendo anotaciones sobre las observaciones importantes y llevando un registro fotográfico para fundamentarlas, encontrando puntos críticos susceptibles de mejora.



Foto 1. Área de pesaje en la unidad de transferencia.



Foto 2. Anotaciones de las observaciones realizadas.

Logística operativa

Como es notorio el campus de Ciudad Universitaria resalta por el grado de limpieza alcanzado en toda su extensión, echando mano únicamente de la infraestructura y de los servicios disponibles para tal fin. Sin embargo, no se ha logrado totalmente un manejo adecuado y eficiente de los RSU dentro sus instalaciones.

Para dar cumplimiento a la implementación de la ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF), en la Ciudad Universitaria fueron dispuestos estratégicamente, en un principio y como una de las primeras medidas, contenedores específicos para la recolección separada de los RSU; es decir, se colocaron contenedores de color verde para recolectar los residuos orgánicos, y contenedores de color gris para recolectar los residuos inorgánicos. Asimismo, los vehículos recolectores fueron designados específicamente para la recolección separada: con una franja verde para los residuos orgánicos y con una franja gris para los inorgánicos. Cabe mencionar que dentro de los RSU generados en C.U.



hay residuos de jardinería, los cuales son dispuestos en otro tipo de contenedores para su deposición final en la planta de composta.

El manejo de los RSU de la Ciudad Universitaria es responsabilidad de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOC) que a través de la Coordinación de Servicios Urbanos (CSU) y de la Coordinación de los Talleres de Mantenimiento de la zona cultural, se encarga del barrido, recolección y disposición final diaria de los mismos.



Foto 3. Contenedores colocados en el área encerrada por las canchas de frontón y el anexo de ingeniería.



Foto 4. Maniobras realizadas en el edificio de posgrado de la facultad de Odontología.

Generación

La generación de RSU es una función que depende de dos variables: cantidad y composición. Según datos más recientes obtenidos por el PUMA, se estima que la generación diaria de RSU en la Ciudad Universitaria oscila **entre 7 y 16 toneladas** (ver Tabla 2), con un **promedio de 13 toneladas** diarias, y que de éstas, alrededor de 3 toneladas por día son generadas por personas externas al campus universitario y depositadas dentro de sus instalaciones para su posterior recolección y disposición final. Teniendo presente que la población total estimada



en el campus universitario es de alrededor de 148,000 personas, la generación unitaria promedio de basura es de 0.0878 kg/día-hab.



Foto 5. Contenedores de la artesa colocada en la Facultad de Química.



Foto 6. Tipo de RSU generados dentro del campus universitario.

Tabla 2. Generación total y unitaria de RSU en C.U.

	Generación Poblacional de RSU		Generación Unitaria de RSU
	ton/día	kg/día	kg/día-hab
Mínima	7	7,000	0.0473
Máxima	16	16,000	0.1081
Promedio	13	13,000	0.0878

(Fuente: adaptado de Estudio de Generación de RS en la Ciudad Universitaria, PUMA. UNAM, 2006)

Por otra parte, la relación existente entre la generación de los residuos orgánicos e inorgánicos es de 31% y 69% respectivamente, considerando que el manejo de los residuos orgánicos de jardinería se realiza por separado. Ahora bien, la



composición de los RSU de la Ciudad Universitaria es muy variada, predominan principalmente residuos de plástico y hule, papel, cartón, metales como aluminio, madera, vidrio y residuos de comida. La Figura 7 condensa los valores generados de la caracterización de los materiales que constituyen la composición de los RSU generados en C.U.

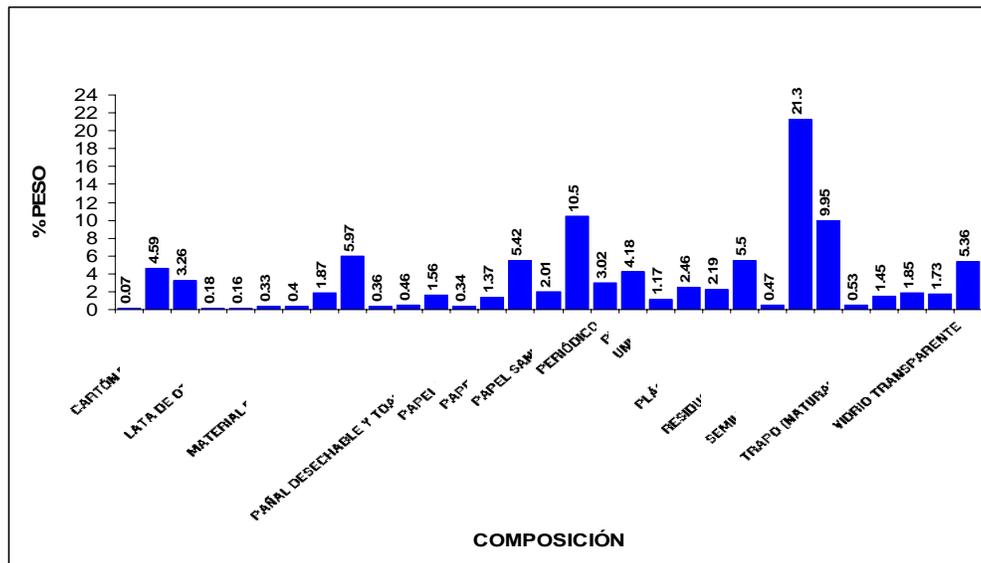


Figura 7. Composición global de los RSU de C.U. (Elaboración propia a partir de Estudio de Generación de RS en la Ciudad Universitaria, PUMA. UNAM, 2006)

Asimismo, también se presenta la caracterización específica de los RSU en los contenedores dispuestos para los residuos orgánicos e inorgánicos, obteniendo la composición que se presenta en la gráfica 8 y gráfica 9.

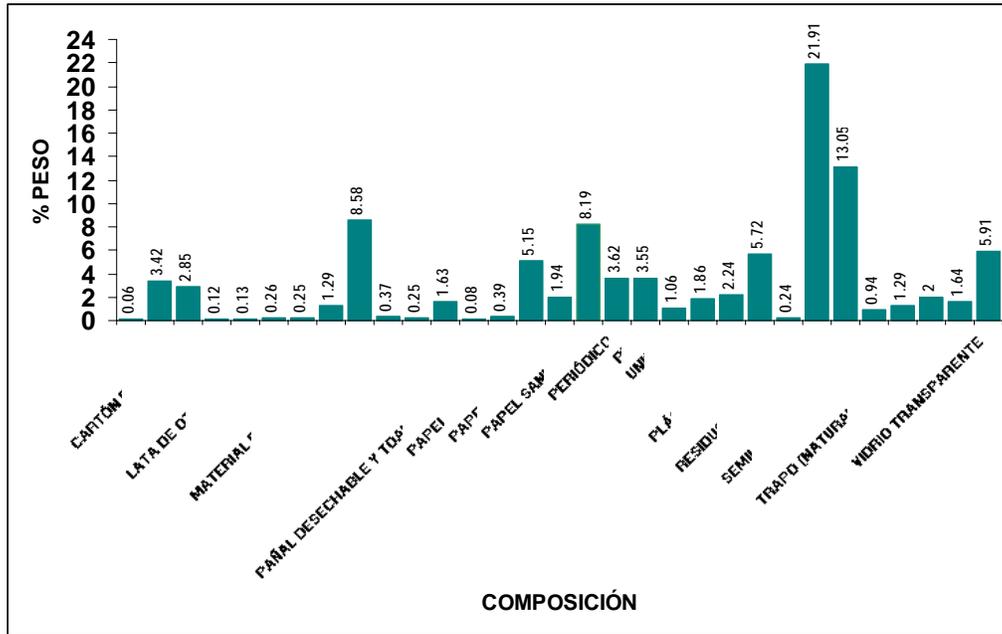


Figura 8. Composición de los RSU depositados en los contenedores dispuestos para residuos orgánicos (Elaboración propia a partir de Estudio de Generación de RS en la Ciudad Universitaria, PUMA. UNAM, 2006)

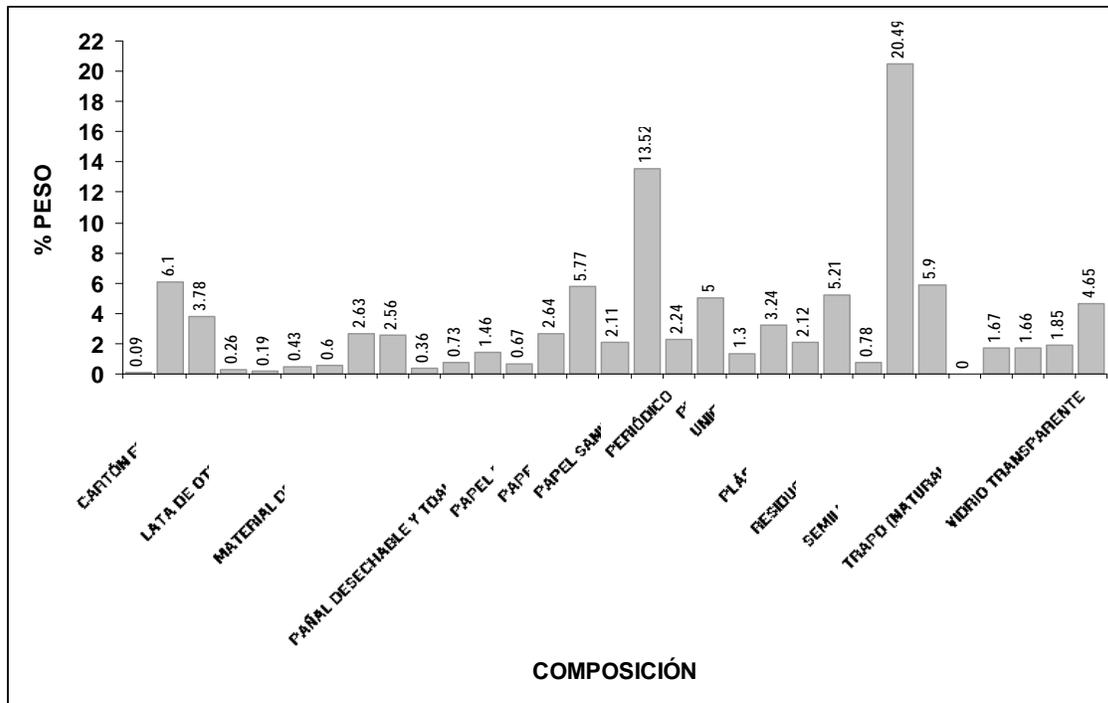


Figura 9. Composición de los RSU depositados en los contenedores dispuestos para residuos inorgánicos (Elaboración propia a partir de Estudio de Generación de RS en la Ciudad Universitaria, PUMA. UNAM, 2006)



Como se puede apreciar, la caracterización de los RSU generados en la Ciudad Universitaria establece que la composición principal de éstos son los residuos alimenticios, el papel sanitario, los residuos de jardinería y los residuos de material de construcción, independientemente de que se hayan dispuesto contenedores para su deposición clasificada; lo cual corrobora la falta de participación de las fuentes generadoras para lograr una adecuada separación de los residuos potencialmente aprovechables. El peso volumétrico medio de los RSU de C.U. calculado es de 79.39 kg/m^3 , los RSU dispuestos en contenedores orgánicos tienen un peso volumétrico de 88.36 kg/m^3 y el de aquellos colocados en los contenedores inorgánicos es de 69.99 kg/m^3 .



Foto 7. Contenedor ubicado en la artesa del edificio de Imprenta, cuyo residuo principal es el papel.



Foto 8. Residuos de jardinería dispuestos fuera de los contenedores.

Almacenamiento y barrido

La actividad de barrido dentro de edificios es realizada por el personal de intendencia de cada dependencia, el cual tiene la obligación de depositar los residuos acumulados adecuadamente en los contenedores situados en las artesas. Por otra parte, el barrido en áreas exteriores es realizado por el personal



de barrido manual, excepto el de las vialidades hecho por el personal de barrido mecánico, que de igual forma tienen la instrucción de colocar adecuadamente los residuos recolectados, ya sean orgánicos, inorgánicos o de jardinería.

El almacenamiento temporal de los RSU que son generados en la Ciudad Universitaria se realiza en contenedores de diferente geometría y capacidad. Generalmente para los RSU generados dentro de los edificios se utilizan botes de escritorio y/o cajas de cartón de diferentes tamaños dependiendo de las necesidades de la institución, sin separación adecuada de los mismos, a excepción de algunas dependencias donde separan el papel para su posterior acopio por el personal de barrido. Con la entrada en vigor de la LRSDF en el año 2004, en la Ciudad Universitaria son dispuestos contenedores especiales para una recolección y almacenamiento adecuado de los residuos orgánicos e inorgánicos fuera de los edificios. Son contenedores metálicos peatonales conocidos como “botes campana”, los cuales se encuentran dispuestos por pares para una adecuada separación de los residuos: uno de color verde para los residuos orgánicos, y otro de color gris para los residuos inorgánicos. Dentro del campus universitario se cuenta con alrededor de 1619 contenedores de este tipo cuya capacidad es de 100 L^[27]. También se cuenta con aproximadamente 456 contenedores metálicos de 1,100 L, de ellos 221 son dispuestos para la deposición de los residuos inorgánicos y 235 para residuos orgánicos, colocados estratégicamente dentro de las artesas[§] que están distribuidas en toda el área de C.U., y cuyo objetivo es almacenar temporalmente y por separado los RSU generados durante la jornada del día en los diferentes centros de trabajo académico o laboral como cafeterías, tienditas, bibliotecas, escuelas, entre otros, hasta su posterior recolección hecha por el camión recolector. Sin embargo, no toda la basura colocada en estos contenedores es propiamente generada dentro de C.U., sino que una gran cantidad es depositada en ellos por personas ajenas a la universidad, que a su paso o por vivir cerca de las instalaciones de la misma

[§] Sitios estratégicos donde son colocados principalmente contenedores de 1,100 L para el almacenamiento temporal de la basura hasta su recolección hecha por el camión recolector.



hacen uso de la infraestructura destinada para este fin. Otro tipo de contenedores que pueden ser encontrados principalmente a los alrededores de las áreas verdes, son aquellos cuya capacidad es de 4,000 L. Son contenedores metálicos de forma rectangular, pintados de color verde y cuya función es almacenar los residuos de jardinería tales como hojarasca, trozos de madera, pasto, etc. para su posterior traslado y tratamiento en la planta de composta. Asimismo existen varios tipos de contenedores cuya capacidad es menor a los 100 L, situados en varias áreas de C.U. y que son utilizados, aunque algunos de ellos presentan leyendas o colores haciendo alusión al almacenamiento clasificado de los residuos en orgánicos e inorgánicos, para la disposición directa de la basura sin separación alguna. La gráfica 10 y la gráfica 11 muestran un panorama de cómo es la participación del generador en la separación adecuada de la basura al ser almacenada en los contenedores peatonales tipo campana.



Figura 10. Separación de RSU en contenedores para residuos orgánicos de C.U. (Elaboración propia a partir de Estudio de Generación de RS en la Ciudad Universitaria, PUMA. UNAM, 2006)

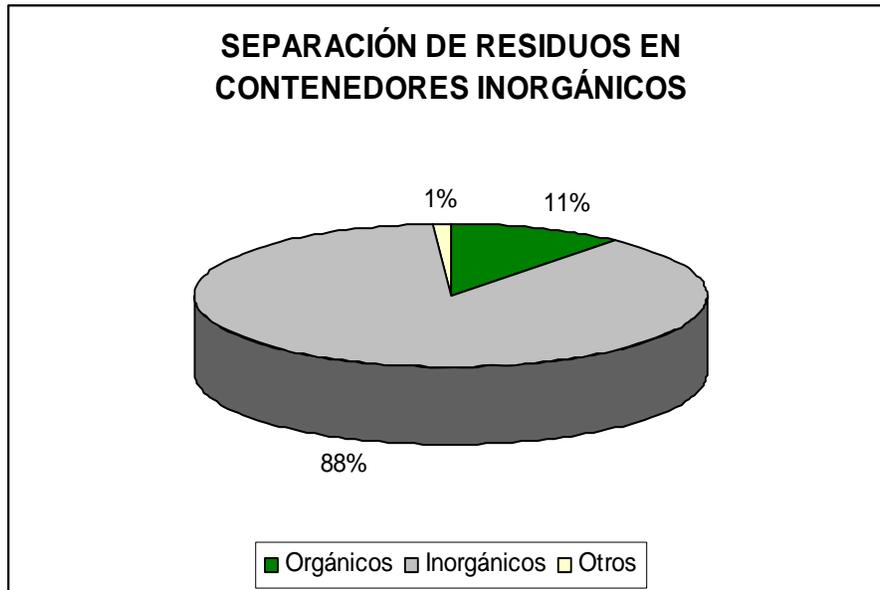


Figura 11. Separación de RSU en contenedores para residuos inorgánicos de C.U.
(Elaboración propia a partir de Estudio de Generación de RS en la Ciudad Universitaria, PUMA. UNAM, 2006)

Como se puede observar la eficiencia de separación desde la fuente generadora no es la esperada, siendo más notorio en los contenedores para residuos orgánicos donde los materiales allí dispuestos son en su mayoría residuos inorgánicos. Aunado a la falta de una cultura de separación clasificada por parte del generador, existe una razón más que puede influir en los resultados mostrados en las gráficas: el diseño inapropiado de este tipo de contenedores, es decir, sin una práctica previa de compresión de los residuos inorgánicos, el volumen requerido para su almacenamiento supera al volumen del bote campana, ocasionando que residuos de esta naturaleza sean dispuestos directamente dentro del contenedor para residuos orgánicos, disminuyendo con ello la eficiencia de la separación.



Foto 9. Barrido en las instalaciones de la CU



Foto 10. Artesa colocada en la Facultad de Odontología.

Recolección

Sin duda alguna esta etapa corresponde a la etapa más crítica en el manejo de los RSU de la Ciudad Universitaria, no sólo por el costo que representa sino también por las frecuentes problemáticas encontradas durante su operación. El servicio de recolección implementado es del tipo “sacar-devolver”, y es proporcionado por la DGOC a través de la CSU para la zona escolar (facultades, escuelas e institutos), y por la Coordinación de Mantenimiento del Centro Cultural Universitario para el área perteneciente a la zona cultural y a la reserva ecológica. Asimismo el sistema de recolección utilizado dentro de C.U. es el sistema por contenedores (SC), el cual está planeado para un acopio clasificado de los RSU en orgánicos e inorgánicos, y que incluye las siguientes actividades: el personal de intendencia y de barrido colocan los RSU dispuestos en los contenedores peatonales y de servicio interno en los contenedores de 1,100 L distribuidos en varias áreas de C.U. sin depender de un horario o día establecido, a excepción del personal de barrido quienes tienen que realizar sus labores dos veces por día. Luego el



vehículo recolector operado por un chofer y dos ayudantes, arribará a las artesas pertenecientes a su ruta de recolección para cargar y descargar mecánicamente los RSU de los contenedores identificados con una franja del mismo color que la del camión (verde o gris según sea el caso). Cuando el vehículo recolector termina su recorrido o su caja está saturada por los residuos, éste es llevado a la estación de transferencia de la delegación Coyoacán donde es realizado el tiro de basura para su posterior traslado hacia el sitio de disposición final. Por otra parte, los residuos de jardinería son recolectados por personal de barrido y colocados en los contenedores de 4,000 L hasta su deposición en la planta de composta para su tratamiento.



Foto 11. Vehículo recolector de RSU tipo carga trasera.



Foto 12. Carga y descarga mecánica de los recolectores.

En una semana de actividades normales en el campus universitario, el servicio de recolección de RSU es realizado dos veces al día de lunes a viernes, y una vez al día durante los sábados. Los domingos no hay labores. Mientras que la frecuencia con que se lleva a cabo la recolección de los residuos de jardinería es de una vez al día de lunes a viernes. Cuando se llevan a cabo actividades masivas dentro del



campus, tales como juegos de futbol soccer y americano, conciertos al aire libre, ferias, exposiciones, etc., es necesario implementar una recolección extraordinaria cuya flotilla y recorrido estará en función de la magnitud del evento.

Existen 5 rutas de recolección que deben seguir los vehículos recolectores para la toma de los RSU de las artesas. La **ruta 1** corresponde a la *zona del circuito escolar* y es conocida como “piso rojo”. El recorrido inicia a partir de la Torre de Rectoría y termina en la Facultad de Psicología, recolectando los RSU de un total de 106 contenedores, de los cuales 53 son para residuos inorgánicos y la otra mitad para los residuos orgánicos, situados en las 20 artesas distribuidas en el área de esta zona. La **ruta 2** recorre la *zona deportiva*, partiendo del estadio de prácticas (El Tapatío) y culminando en el comedor de ciencias. En esta ruta son recolectados los RSU de los 40 contenedores para residuos inorgánicos y 43 para orgánicos distribuidos en las 20 artesas que corresponden a dicha zona. La **ruta 3** abarca la *zona de institutos* e inicia su recorrido a partir del Instituto de Ciencias Nucleares para terminarlo en el Posgrado de Odontología. En esta zona se cuenta con 22 artesas, en la cuales se hayan dispuestos 60 contenedores para residuos inorgánicos y 53 para los orgánicos. La **ruta 4** presta el servicio de recolección a la *nueva zona deportiva*, iniciando el recorrido a partir de los Talleres de Conservación para terminar en los Talleres de Zoquipa. En esta zona se tienen cuantificadas 29 artesas, donde son colocados 42 contenedores para residuos inorgánicos y 39 para los orgánicos. Por último la **ruta 5** que corresponde a la zona del Centro Cultural Universitario (CCU), inicia operaciones en los Talleres del CCU y culmina en el Laboratorio del CCH. Son 27 artesas las que integran el parque de almacenamiento de esta zona, en las cuales se hayan dispuestos 51 contenedores para residuos inorgánicos y 52 para los orgánicos. Dentro de los recursos humanos que laboran en el sistema de limpia y recolección actual de la Ciudad Universitaria, se pueden contar 16 personas en el taller de barrido mecánico, y 59 personas en el taller de barrido manual divididos en 13 equipos de 4 (cuadrillas) a 5 elementos cada una.



Foto 13. Recolectora de RSU en la facultad de Psicología (ruta 1).



Foto 14. Trabajo de cuadrilla en la zona de institutos (zona 3).

Recuperación y tratamiento

Dentro de las acciones implementadas actualmente para minimizar la cantidad de RSU que se generan en la Ciudad Universitaria están las actividades de reciclaje de materiales como el PET botella** y material de vidrio por el Servicio de soplado de vidrio ofrecido en la Facultad de Química. Algunas dependencias ubicadas tanto en el campus de C.U. como en la zona metropolitana de la Ciudad de México están adheridas al Programa de Residuos Sólidos Reciclables, en el cual al acumular un volumen considerable de éstos, principalmente papel, reportan a la DGOC para que disponga de ellos y sean entregados a una empresa comercializadora, quien efectúa mensualmente el pago convenido por cada tipo de residuo a la Universidad, la cual destina parte de estos ingresos extraordinarios a la compra de papel (hojas blancas y sanitario) para ser entregado anualmente a

** Coordinada anteriormente por una agrupación de estudiantes de la facultad de Ingeniería (ECOBAU). Sin embargo, el incremento en la cantidad de botellas recolectadas superó la capacidad de almacenamiento de los contenedores y de la propia agrupación, surgiendo la necesidad de contratar a otra empresa con la infraestructura suficiente para el manejo adecuado de la situación.



las dependencias de manera proporcional, como retribución a su participación en el programa. Los resultados de estas acciones se ven reflejados en la Figura 12.

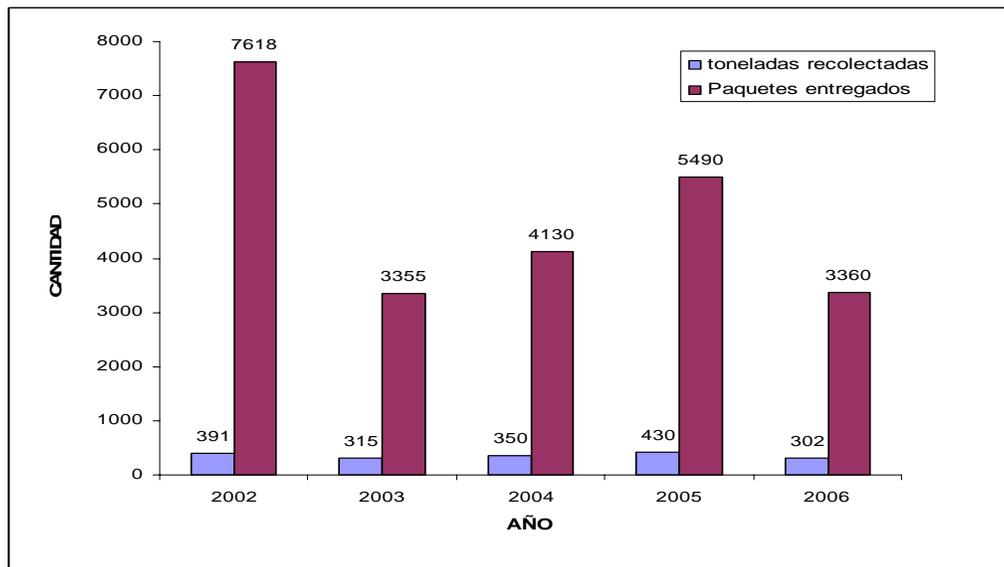


Figura 12. Toneladas de materiales reciclables recolectadas anualmente y retribución en paquetes de papel de 500 hojas (Adaptado de DGOC, 2008)

El tratamiento y reúso de los residuos vegetales (de jardinería) es sin duda una de las actividades más sobresalientes en el aprovechamiento de los mismos. Corresponde a la planta de composta tratar este tipo de residuos para su transformación (descomposición biológica aerobia) y posterior incorporación como mejorador de suelos, recibiendo diariamente alrededor de 30 a 40 m³ de ellos reduciendo su volumen hasta un 80% durante el proceso de compostaje^{[[10]}. La operación de esta planta inició en el año de 1993, como una medida para reducir el envío de residuos de C.U. al sitio de disposición de la zona metropolitana de la Ciudad de México, y es obligación de la Coordinación de Viveros y Reforestación (CVR) controlar y verificar su funcionamiento. El proceso implementado en la planta de composta es el de pilas estáticas aireadas (sistema aerobio). Se forman aproximadamente 30 pilas de 70 m³ cada una, manteniéndose sobre el 55% de humedad relativa; dos o tres veces por semana son volteadas para tener una

^[10] Comunicación oral con el Jefe de Planta de Composta de Ciudad Universitaria. UNAM, 2008. México, D.F.



oxigenación adecuada y por lo tanto una elevada degradación de la materia orgánica. La composta obtenida alrededor de 5 meses en promedio, es destinada principalmente para el mantenimiento de los jardines y áreas verdes de C.U.^[27]. Aunado a los programas de recuperación, se suman algunas actividades de pepena no controladas, realizadas mayoritariamente por personas externas a la Universidad (pepenadores) quienes rescatan de los RSU materiales como envases de plástico, aluminio y vidrio, papel, cartón y algunos residuos de alimentos principalmente. De continuar con tales actividades no controladas, cualquier sistema de gestión de RSU dentro del campus universitario no tendrá el éxito esperado, dado que, se estará reduciendo la materia prima reciclable considerablemente y, además, se generan problemas durante la etapa del almacenamiento de los RSU.



Foto 15. Cartón, desecho valorizable de los RSU.



Foto 16. Polímeros commodities, fuente de aprovechamiento.



Foto 17. Pilas de composta en la planta de compostaje de C.U.



Foto 18. Actividades de pepena dentro del campus universitario.

Transporte y transferencia

La actividad de transferencia de los RSU dentro del campus universitario es realizada en las artesas. Allí son vaciados mecánicamente los residuos almacenados en los contenedores de 1,100 L, verdes o gris, hacia el vehículo recolector, el cual después de terminar su recorrido correspondiente o de haberse llenado su caja contenedora, se dirigirá hacia la estación de transferencia de la Delegación Coyoacán para realizar propiamente el tiro de los RSU.

Como parte de la infraestructura para el manejo de los RS del campus universitario se cuenta con parque vehicular destinado para efectuar la recolección conformado por una flotilla de 7 vehículos recolectores, adecuados para lograr una mejor separación de los RSU en orgánicos e inorgánicos, de los cuales 6 están destinados para brindar el servicio de recolección a las cuatro primeras rutas de recolección (3 gris y 3 verdes), y el faltante opera en la zona del CCU. De acuerdo con los turnos de recolección, de los 6 vehículos mencionados sólo operan 4 durante el primer turno en un día normal de actividades, porque los otros 2 están designados a operar en caso de una contingencia. Asimismo, durante el segundo



turno únicamente opera un vehículo recolector. También se cuenta con una camioneta de 3 ½ toneladas y 2 camiones tipo volteo para la recolección de los residuos vegetales. Los camiones recolectores son vehículos rectangulares con capacidad volumétrica de aproximadamente 20 yd³ (15.3 m³), y de recogida de basura en contenedores normalizados con un sistema hidráulico-mecánico para la compactación, automático de vuelco en tolva con carga trasera. Se cuenta con vehículos recolectores de modelo reciente (2005) y de modelo de un poco más de una década (1995), pero aún así son eficientes durante el ejercicio de sus labores. De igual manera, existen dos barredoras mecánicas marca “Elgin Pelica” para efectuar la limpieza de las vialidades del campus, pero únicamente se encuentra una en operación debido a que la otra permanecía descompuesta a la fecha de elaboración del presente trabajo.



Foto 19. Camión recolector haciendo su labor.

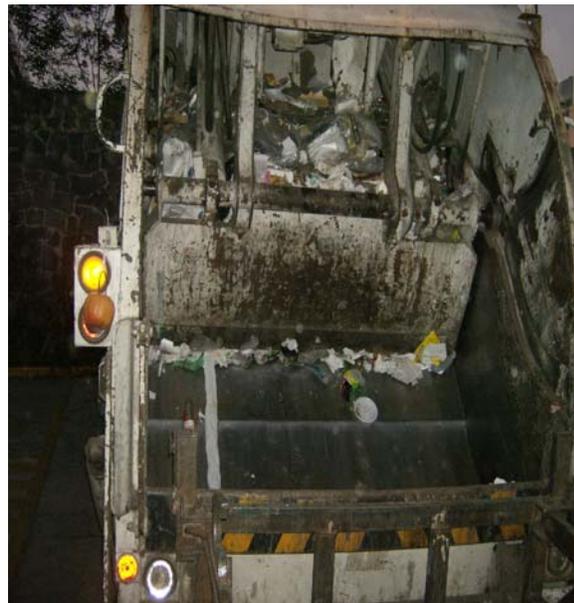


Foto 20. Contenedor con sistema hidráulico-dinámico para la compactación.



Disposición final

Para la Ciudad Universitaria el sitio de disposición final de sus RSU corresponde a la estación de transferencia de la Delegación Coyoacán, donde diariamente son enviadas de 11 a 13 toneladas de RSU recolectados por su flotilla vehicular. La gráfica 3 muestra el comportamiento mensual y anual de los RS enviados a la unidad de transferencia:

Tabla 3. RSU enviados a la unidad de transferencia (Adaptado de informes de la Dirección General de Obras y Conservación, UNAM. 2008)

MES/AÑO	2004	2005	2006	2007
ENERO		285	324	349
FEBRERO		392	372	381
MARZO		385	448	474
ABRIL		426	355	371
MAYO		300	421	
JUNIO		424	425	
JULIO		237	199	
AGOSTO		466	488	
SEPTIEMBRE		247	499	
OCTUBRE	176	237	508	
NOVIEMBRE	378	275	435	
DICIEMBRE	289	266	241	
TOTAL ANUAL	843	3940	4715	1575

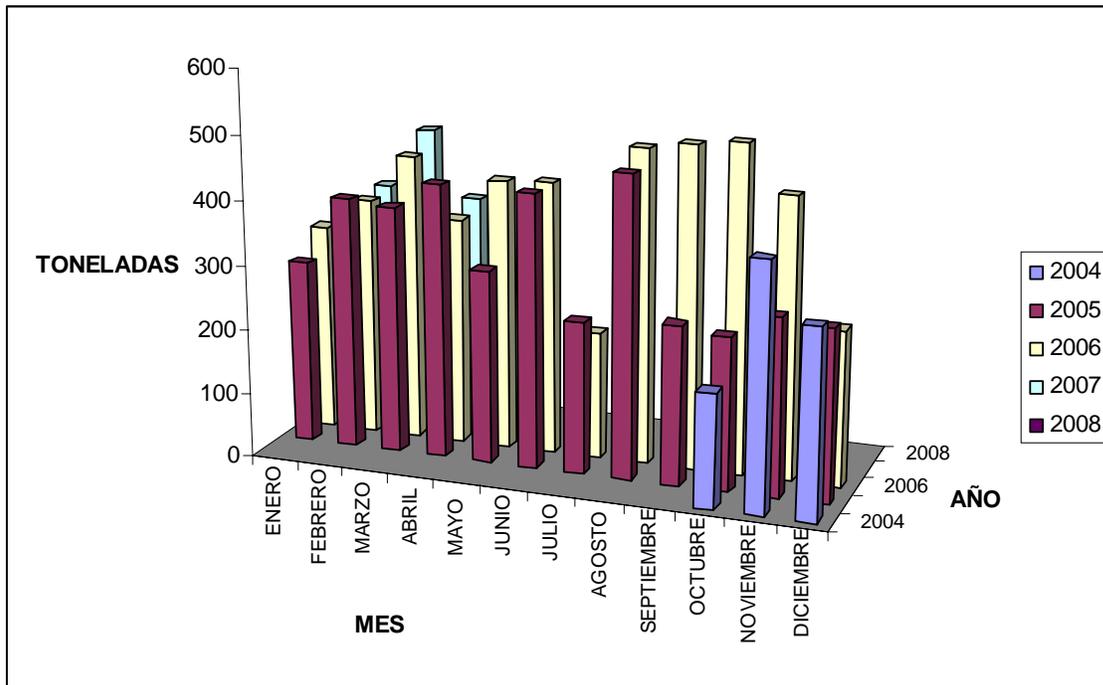


Figura 13. Toneladas por mes y año de RSU trasladados a la unidad de transferencia (Adaptado de informes de la Dirección General de Obras y Conservación, UNAM. 2008)

Una observación interesante de mencionar sobre la tendencia de la Figura 13 es que primordialmente en el mes de Julio disminuye la generación de RSU y por lo tanto la cantidad de los mismos enviada a la unidad de transferencia, como resultado del asueto otorgado a la comunidad universitaria.

Una vez dentro de la unidad de transferencia se realiza el tiro de los RSU en los contenedores de los camiones tipo trailer, cuya capacidad de contención oscila entre las 20 y 25 toneladas; para después ser llevados conjuntamente con los RSU de varias Delegaciones del D.F. hacia el sitio de disposición final conocido como “Bordo Poniente”. El costo unitario implementado por las autoridades del gobierno del D.F. encargadas de esta materia, para el manejo de los RSU es de **\$1.426/kg** de RSU^[9].

^[9] Comunicación oral con el Coordinador de Servicios Urbanos en la Dirección General de Obras y Conservación (DGOC) de Ciudad Universitaria. UNAM, 2008. México, D.F.



Foto 21. Arribo del camión a la estación de transferencia de la delegación Coyoacán.



Foto 22. Vaciado de los RSU en los contenedores de los camiones tipo trailer.

Situaciones observadas durante los recorridos de reconocimiento

Las situaciones que representan una problemática en la gestión adecuada de los RSU generados en la Ciudad Universitaria pueden ser descritas de acuerdo a la actividad realizada según las etapas del manejo de los RSU. Partiendo de este supuesto, uno de los problemas que se presenta desde la generación es la conducta consumista e irracional que tienen la fuente generadora principal, de productos cuya materia de fabricación es difícil de tratar; aunado a esto la falta de cultura y hábitos de colocar la basura adecuadamente en los sitios destinados para este fin. Como una fuente de generación principal de RSU, además de los peatones universitarios, fueron identificados los comercios de alimentos, tales como puestos de comida y cafeterías, cuyos responsables generalmente no se preocupan por hacer la separación adecuada de sus residuos ni de colocarlos correctamente en las artesas, por ejemplo, en algunas dependencias las bolsas de los RSU son arrojadas en los contenedores sin importar que mucha de la basura sea desplazada fuera de los mismos al momento de caer en ellos, ocasionando,



entre otros problemas, una vista antiestética de las artesas y de los espacios aledaños a éstas. También se detectó dentro de estas fuentes, que la mayoría de los propietarios de los comercios establecidos en el perímetro de la zona externa a C.U. conocida como “paseo de las facultades” tienden a hacer uso de la infraestructura interna de la Ciudad Universitaria para disponer sus RSU sin utilizar el sistema de limpia proporcionado por las autoridades correspondientes, incrementando con ello los costos para la Universidad en materia de manejo de los RSU. Otro aspecto observado fue que en los contenedores además de los RSU, son dispuestos residuos peligrosos y líquidos que aumentan el contenido de humedad de la basura lo que eleva los costos por su disposición final, además de propiciar la corrosión y desgaste del equipo contenedor, que por cierto están faltos de mantenimiento y de ser incrementados en número.

Una situación que presentan casi todas las zonas de almacenamiento externas (artesas) y que hasta la fecha no ha sido considerada es la falta de protección para evitar que la lluvia o el sol afecten los residuos almacenados, así como el acceso a animales domésticos y a personas ajenas al lugar.

Respecto a la recolección y separación de los RSU en orgánicos e inorgánicos el problema aumenta gradualmente, ya que se enfrentan situaciones indeseables tales como la deposición de la basura en los contenedores del campus por personas ajenas a la universidad, principalmente en aquellos colocados sobre el circuito exterior, ejemplo claro es la artesa ubicada enfrente del campo de futbol americano “Tapatío”. En las rutas recorridas se observó que dentro de las zonas y/o dependencias donde se genera mayor cantidad de basura están el Edificio de la Imprenta, Odontología, Contaduría y Administración, Trabajo Social, Instituto de Fisiología, Veterinaria, Química, CELE, y el área comprendida entre las canchas de frontón y el camino al Anexo de Ingeniería. Además de presentarse una cantidad considerable de basura tirada alrededor de los contenedores dispuestos en estas zonas, aquella que sí es depositada dentro de los contenedores es colocada indistintamente del color que presenten éstos (gris o verde). Sumándose



así una separación irresponsable tanto de la fuente generadora como del personal de limpia e intendencia. Otro problema que afecta continuamente a la recolección apropiada de los RSU es la presencia de pepenadores quienes en su búsqueda de material reciclable y con valor comercial dentro de los contenedores, arrojan gran parte de la basura fuera de estos sin devolver nuevamente aquellos residuos que no son de su utilidad a su sitio original. También se observó que la única ruta que sigue con el protocolo establecido en un principio para la recolección clasificada de los residuos en orgánicos e inorgánicos es aquella conocida como “Piso Rojo”, a la cual son enviados diariamente el camión recolector de franja gris y el de franja verde. Sin embargo, la recolección en las demás rutas se realiza sin distinción, es decir, independientemente del color de la unidad recolectora, ésta recoge los RSU de todos los contenedores pertenecientes a su ruta. De igual manera, en la unidad de transferencia aunque existan tolvas dispuestas para el trasvasado de los residuos clasificadamente, éste se realiza incorrectamente.

Del hecho de que las rutas y protocolo establecidos no sean respetados tal cual, radica en la existencia de espacios de difícil acceso para el vehículo recolector durante el ejercicio de sus actividades de recolección, es decir, se tienen que adecuar a tiempos y cantidades de RSU generados en cada una. Entre las zonas más conflictivas están los estacionamientos de las facultades de Química, Ingeniería, Arquitectura, Ciencias, Ciencias Políticas, aquél ubicado enfrente de la Torre de Ingeniería y en la alberca Olímpica. Los cuales diariamente se encuentran saturados de vehículos particulares y cuyos propietarios son tan irresponsables que no respetan los sitios destinados para esta acción, utilizando algún otro para su ubicación, entre estos el área destinada al camión recolector para que efectúe sus maniobras de recolección. Como resultado, se tiene un incremento de los tiempos muertos durante la ejecución de esta etapa, lo que ocasiona que ésta se lleve a cabo de manera no clasificada, haciendo uso indistinto de un solo camión recolector para lograr realizar todo el recorrido demandado por la ruta correspondiente y cumplir con el horario establecido para



realizar el tiro de los RSU en la unidad de transferencia (máximo hasta las 10:00 a.m.). Esta situación en sí parte del hecho de que durante la planeación de obras a realizar dentro del campus, no se considera acertadamente todo aquello relacionado con la gestión de la basura, originando que constantemente se esté cambiando el protocolo establecido. Otro tiempo muerto que ocasiona un desfase considerable, está determinado por la existencia continua de puertas cerradas de algunas artesas y por la ausencia de personal de vigilancia encargado de proporcionar el paso al vehículo recolector cuando éste va a efectuar sus tareas de recolección en alguna dependencia. De igual modo durante el recorrido se encontraron algunos puntos de ubicación de artesas susceptibles de modificación, debido a una inadecuada distribución de los mismos; tal es el caso de aquellas situadas en el área comprendida entre las canchas de frontón, la Facultad de Contaduría y Administración y la Escuela de Trabajo Social.

En comunicación verbal con el personal operador de la unidad recolectora, se detectó que el lunes es cuando se recolecta la mayor cantidad de basura. La razón principal es la asistencia de un número considerable de personas universitarias o no durante el fin de semana a las instalaciones del campus universitario para realizar diversas actividades de recreación, generando con ello una suma considerable de basura que generalmente no es colocada adecuadamente en los contenedores.

En cuanto al equipo y material dispuesto para la ejecución de las labores de limpieza y recolección de la basura, se observó una escasez de los mismos. Por mencionar algunos aspectos, impera la falta de escobas y recogedores, de equipo de protección para el personal operativo como cubre boca, guantes y lentes de seguridad.

Dentro del contexto jurídico se encontró que no existe una normatividad interna para el manejo de residuos, sino que la Universidad se apega a los ordenamientos federales y del gobierno local para el manejo de los suyos.



Foto 23. Espacios destinados para la realización de maniobras ocupados por vehículos particulares.



Foto 24. Contenedores ubicados en el circuito exterior (Tapatío)

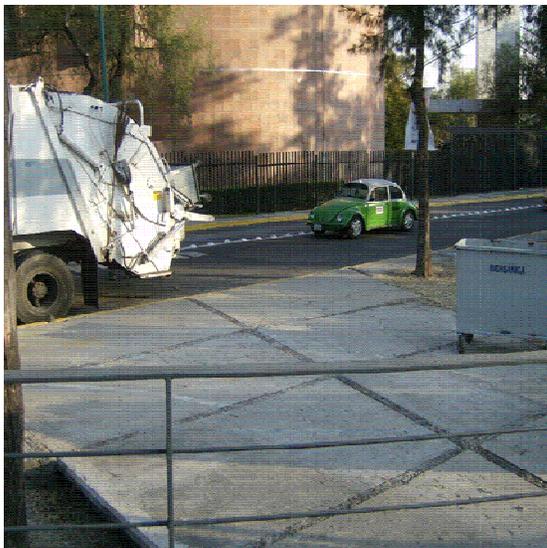


Foto 25. Maniobras de recolección realizadas sobre vialidades debido a la inadecuada ubicación de los contenedores.



Foto 26. Contenedores ubicados en áreas de difícil acceso para el camión recolector (zona de canchas de frontón).



Propuestas de mejora para el sistema actual de manejo de los RSU en la Ciudad Universitaria.

En vista de que la Universidad es una entidad dinámica que está en constante cambio debido a los servicios requeridos por el incremento continuo de su población, surge la necesidad de hacer una evaluación detallada de la infraestructura destinada al sistema de limpia de la Ciudad Universitaria. Dentro de este marco, se propone evaluar la distribución actual de las artesas para detectar los puntos posibles de reubicación, así como determinar el número necesario de las mismas; considerando futuros escenarios dentro de la filosofía “limpiar ahora y construir después” para la implementación de obras en beneficio de la comunidad. Todo ello con la finalidad de optimizar los tiempos de recolección y disminuir el número de áreas de difícil acceso.

Se propone también hacer un estudio de factibilidad para implementar un cambio en los turnos de recolección, es decir, evaluar la posibilidad de que la recolección de basura se realice en turnos nocturnos, resolviendo previamente aspectos sociales, económicos y jurídicos. Esto con la finalidad de evitar los problemas de acceso crítico a algunas artesas, así como el congestionamiento vial durante el traslado hacía la unidad de transferencia.

Teniendo presente que muchos de los problemas que aquejan al manejo adecuado de los RSU en C.U. tienen como génesis la fuente principal generadora, se propone como primera medida informar a los diferentes sectores del campus sobre el manejo selectivo de los residuos; y como segunda acción, medida más rigurosa, implementar un reglamento interno que norme la disposición y manejo de la basura adecuadamente; aplicando sanciones para aquellos que no estén dispuestos a acatarlo.



4 MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

Conocer la legislación aplicable en materia de RS permite establecer un marco de referencia para desarrollar programas de recolección, reducción, reutilización y reciclado de los mismos; reconociendo que la gestión de los residuos demanda la participación informada y organizada de todos los sectores para lograr los objetivos ambientalmente planteados.

4.1 LEGISLACIÓN FEDERAL

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM)

La esencia del manejo y control de los residuos radica en el artículo 115 constitucional que confiere a los municipios la responsabilidad de administrar y proporcionar la prestación de servicios públicos a la población.

Ley General de Salud (LGS)

Establece las disposiciones relacionadas al servicio público de limpia en donde se promueve y apoya el saneamiento básico, se establecen normas y medidas tendientes a la protección de la salud humana para aumentar su calidad de vida.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

Publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 28 de enero de 1988 con modificaciones de mayo de 2008, en el capítulo IV. “**Prevención y control de la Contaminación del Suelo**” concentra todo lo relacionado en materia de residuos sólidos.

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

Con fecha de publicación en el DOF del 8 de octubre de 2003, esta Ley reglamenta las disposiciones de la CPEUM que se refieren a la protección del ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Establece los mandatos para propiciar el desarrollo sustentable aplicando los principios de valorización, responsabilidad compartida, manejo integral, mecanismos de coordinación entre entidades, participación de la sociedad, creación de sistemas de información referentes a la gestión de RSU y



RME, fortalecimiento de la investigación e innovación tecnológica, prevención de la contaminación de sitios, regulación de la importación y exportación de residuos, y establecimiento de esquemas de seguridad, como principales temas.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de RS

Dentro de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de residuos sólidos previstas en la LGEEPA, se encuentran la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-1996 que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales, y la NOM-083-SEMARNAT-2003 que dicta las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de RSU y de manejo especial.

Normas Mexicanas (NMX) en materia de RS

Existen normas mexicanas relacionadas con la determinación de la generación y composición de los residuos sólidos municipales y aquellas sobre las determinaciones en laboratorio de diferentes componentes. La siguiente tabla muestra las normas mexicanas aplicables a los residuos sólidos:



Tabla 4. NMX en materia de RS (Adaptado de la Secretaría de Economía, Agosto 2008)

Norma Mexicana	Descripción
NMX-AA-16-1984	Determinación de humedad
NMX-AA-18-1984	Determinación de cenizas
NMX-AA-24-1984	Determinación de nitrógeno total
NMX-AA-25-1984	Determinación de pH, método potenciométrico
NMX-AA-92-1984	Determinación de azufre
NMX-AA-15-1985	Muestreo -método de cuarteo
NMX-AA-19-1985	Peso volumétrico <i>in situ</i>
NMX-AA-21-1985	Determinación de materia orgánica
NMX-AA-22-1985	Selección y cuantificación de subproductos
NMX-AA-33-1985	Determinación de poder calorífico
NMX-AA-52-1985	Preparación de muestras en laboratorio para su análisis
NMX-AA-61-1985	Generación per cápita de RSM
NMX-AA-67-1985	Determinación de la relación carbono/nitrógeno
NMX-AA-68-1986	Determinación de hidrógeno
NMX-AA-90-1986	Determinación de oxígeno

4.2 LEGISLACIÓN ESTATAL

Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF)

Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 22 de abril de 2003, la ley fue creada como una respuesta a la problemática que enfrenta diariamente la Ciudad de México. Establece las disposiciones para regular la gestión integral de los residuos sólidos (RS) considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia. Uno de los objetivos primordiales de esta ley es la



minimización de la generación y disposición final de los residuos mediante la separación en la fuente y recolección separada de los RS, poniendo especial interés en la promoción de mercados de subproductos valorizables.

4.3 ACUERDOS INTERNACIONALES EN MATERIA AMBIENTAL

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)

La CMNUCC es el instrumento jurídico internacional establecida para atender los asuntos relacionados al cambio climático. Los países miembros de la CMNUCC generan, intercambian y comparten información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y las políticas nacionales en la materia; preparan estrategias nacionales que les permita reducir la generación de los gases de efecto invernadero y adaptarse a los impactos previstos del cambio climático, considerando el apoyo financiero y tecnológico a los países en vías de desarrollo. La CMNUCC entró en vigor para México el 21 de marzo de 1994. Asimismo, la Convención establece la distinción entre los países que forman parte de ella en función de su desarrollo económico, catalogándolos en países Anexo 1 y países No Anexo 1. En este contexto, forman parte del Anexo 1 los países industrializados que fueron miembros de la **Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE)** en 1992, y tienen el compromiso de reducir en al menos un 5% sus emisiones de gases de efecto invernadero con respecto al nivel de emisiones que se tenía en 1990. México, junto con el resto de los países parte de la Convención, integra el grupo no Anexo 1, es decir, economías en desarrollo.

Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto es un acuerdo internacional que tiene por objeto reducir las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de un 5 por ciento,



disposición final, a fin de reducir sus efectos ambientales y minimizar los riesgos a la salud pública.

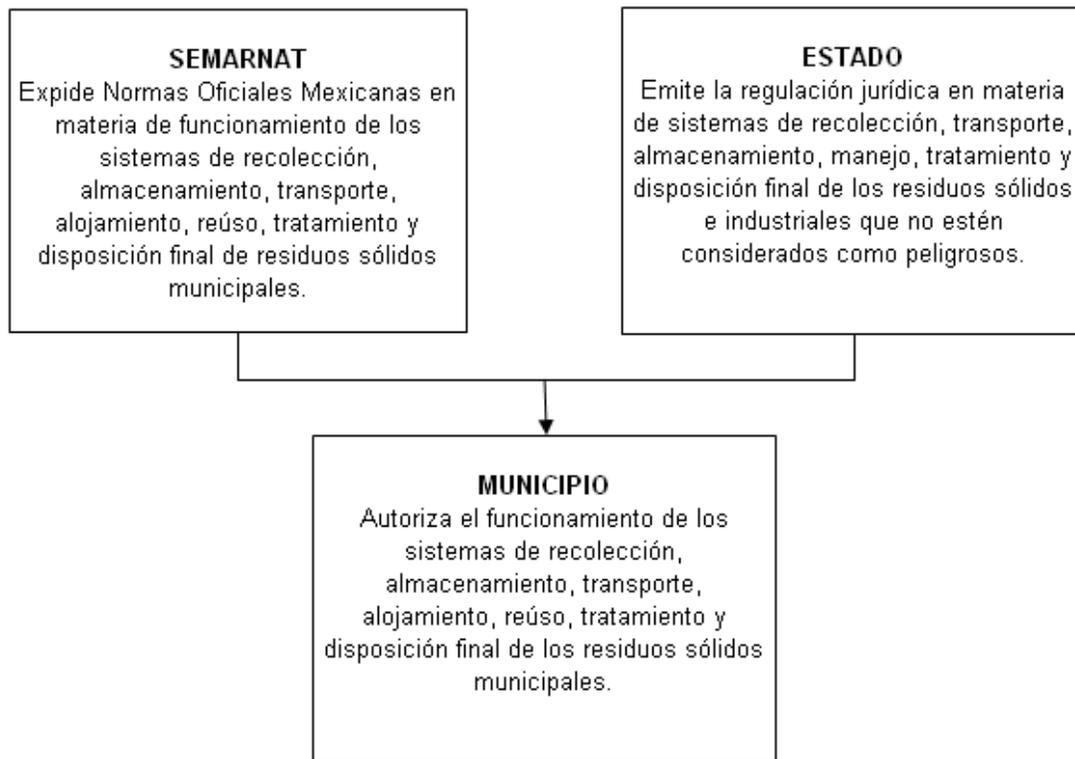


Figura 14. Esquema General Orgánico de la Administración de los RS (fuente: a partir de informe Investigación en residuos y sitios contaminados. Instituto Nacional de Ecología, 2008)

También fue creada como una respuesta a la prevención y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), cuya función es coordinar en el ámbito de sus respectivas competencias, las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal relativas a la formulación e instrumentación de políticas nacionales para la promoción del desarrollo de programas y estrategia de acción climática relativos al cumplimiento de los compromisos suscritos por México en los acuerdos internacionales^[50].

^[50] Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, México. Marco Normativo. Disponible en línea en <http://www.profepa.gob.mx/profepa>. Consulta realizada abril, 2009.



dentro del periodo que va del año 2008 al 2012. En su artículo 12 establece las bases de los **Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)** para cumplir con dicho objetivo. Los **bonos de carbono** son uno de los tres mecanismos internacionales propuestos, cuya finalidad es reducir la emisión de CO₂ a la atmósfera y su comercialización en el mercado de carbono para su utilización por ejemplo, en la generación de energía.

En mayo de 2001, en el marco de la **Convención Internacional de Estocolmo**, Suecia, un total de 127 países adoptaron un tratado de las Naciones Unidas para prohibir o minimizar el uso de las sustancias tóxicas más utilizadas en el mundo, consideradas causantes de cáncer y defectos congénitos en personas y animales. Las sustancias COP objeto de este convenio incluyen ocho plaguicidas, entre ellos el DDT, dos productos industriales y dos subproductos de diversos procesos de combustión, incluyendo los incendios accidentales de desechos y materiales plásticos: las dioxinas y los furanos.

El control transfronterizo de residuos peligrosos y su disposición, así como la implementación de tratados de ejecución y minimización en la generación de los mismos, fue adoptado en la **Convención de Basilea** a partir de 1989.

4.4 INSTITUCIONES NACIONALES E INTERNACIONALES

El manejo integral de los RS, como servicio público, es competencia de los estados y municipios. La LGEEPA faculta al Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para expedir Normas Oficiales Mexicanas en las diferentes materias que estructuran el servicio público de limpia. También realiza acciones a través de otras secretarías e institutos como el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) para apoyar el desarrollo sustentable, vigilando y fortaleciendo las acciones y servicios municipales en materia de manejo integral de los residuos, en particular en lo que se refiere a la recolección, transferencia, tratamiento y



5 EXPERIENCIAS EXITOSAS EN EL MANEJO DE RSU

El manejo integral de los RSU es una acción de responsabilidad compartida y activa de todos los sectores de la sociedad. Bajo esta premisa se da reconocimiento a la existencia del problema por la inadecuada disposición de los mismos y surge la necesidad de afrontarlo seriamente. Implementar un plan de manejo integral de RSU, requiere la revisión de aquellas experiencias nacionales e internacionales que permitan demostrar la viabilidad para su aplicación. En este proyecto se hace una revisión de las acciones exitosas ejecutadas tanto en las ciudades de Monterrey y Aguascalientes como en España.

5.1 MONTERREY, MÉXICO

En el año de 1987 con la cooperación del Banco Mundial, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SDHCP), da inicio un programa piloto para la captura y uso del gas metano resultado de la descomposición de los desechos orgánicos; con el propósito de demostrar la viabilidad de aprovechar el biogás generado en sitios de disposición final de RSU. Actualmente se conoce este proyecto como el Sistema Metropolitano de Procesamiento de Desechos (SIMEPRODE), el cual desarrolla actividades en todo el estado concernientes al manejo, clasificación y disposición final de RSU. El sistema procesa 5 mil toneladas de desechos en los 12 rellenos regionales, abasteciendo de energía eléctrica al alumbrado público de la zona metropolitana y al sistema metro de la ciudad, gracias a la planta generadora de energía por biogás (ver Figura 30) cuya capacidad es de aproximadamente 7 MW. Se recuperan de 4 a 5 mil toneladas al mes de material reciclable (aluminio, vidrio, cartón, papel y plástico) en la planta de selección de subproductos Salinas Victoria, la cual cuenta con 4 bandas de selección instaladas como se muestra en



la Figura 27 y Figura 29 y se trituran de 60 a 70 toneladas diarias de llantas usadas, evitando su incineración^[39].

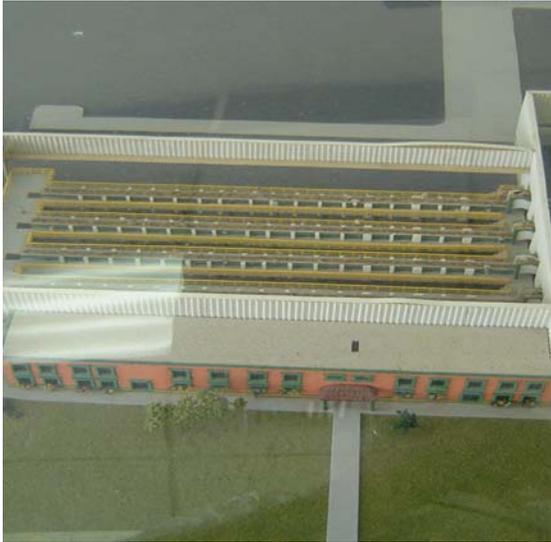


Foto 27.Arreglo general de las 4 bandas de selección en la planta.



Foto 28.Patio de recepción de RSU



Foto 29.Selección manual de los RSU.



Foto 30.Planta generadora de energía eléctrica a partir de biogás.

^[39] VÁZQUEZ-Esquivel, R. 2008. *Estado del arte en el manejo de RSU: Tecnologías de Disposición Final*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.



Coordinada por la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la SEMARNAT, la Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos (REMEXMAR) es una organización nacional creada para coordinar y promover la participación entre el sector productivo generador de residuos, el gobierno, las entidades académicas, científicas y tecnológicas; y los organismos de servicios, con la finalidad de magnificar los logros en la gestión de los residuos en todo el territorio nacional. La REMEXMAR forma parte de la Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos (REPAMAR), con sede en Perú, la cual es producto de un acuerdo de cooperación mutua entre el Gobierno de la República de Alemania, por medio de la Sociedad de Cooperación Técnica de Alemania (GTZ) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). También son miembros de la REPAMAR Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá y Perú. Se encuentra en negociación la inclusión de Chile y Venezuela^[51].

Para México la cooperación internacional es parte de su política externa y es concebida como una herramienta para promover la solidaridad entre naciones y unir esfuerzos hacia un desarrollo tecnológico y económico sinérgico. Es por esta razón que forma parte del *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*, cuya misión es dirigir y alentar la participación en el cuidado del medio ambiente informando y dando a las naciones y a los pueblos los medios para mejorar la calidad de vida sin poner en riesgo las de las futuras generaciones.

^[51] Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos. México. Normatividad. Disponible en línea en <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/inicio.aspx>. Consulta realizada en mayo, 2008.



5.2 AGUASCALIENTES, MÉXICO

La ciudad de Aguascalientes es una de las ciudades que van a la vanguardia en el manejo adecuado de los RSU dentro del territorio nacional. Con el uso de sistemas tecnológicos, se ha logrado un esquema de manejo casi totalmente automatizado. Se puede hacer mención del Sistema de Posicionamiento Global (GPS en sus siglas en inglés) implementado para el monitoreo satelital de los vehículos recolectores y sus rutas de recolección. Dentro de otras acciones ejecutadas, se han construido 3 centros de compactación y transferencia cuya función es recibir los RSU antes de su traslado hacia el relleno sanitario, mediante los cuales se ha logrado un ahorro de alrededor de 130,000 km mensuales de las unidades que no hacen su recorrido hasta el sitio de disposición final. Por otra parte, se cuenta con 13 centros de acopio de RSU reciclables, donde se han recuperado hasta el año 2008 alrededor de 1,334 toneladas de RS reciclables, lo que representa aproximadamente 8, 492 metros cúbicos de terreno que no se ocupó en el relleno sanitario. Ahora bien, el relleno sanitario sigue un esquema intermunicipal dado que recibe en promedio diariamente las 950 toneladas de RSU generados en los 11 municipios que conforman el Estado, y hoy en día ha empezado a recuperar y aprovechar el biogás generado, comercializando un total de 123, 544 Certificados de Reducción de Emisiones (CER's) obteniendo ingresos por aproximadamente 650 mil dólares. Se cuenta con una planta de compostaje dentro del mismo relleno donde se genera un total de 650 metros cúbicos de composta. Asimismo, se tiene un centro de separación y optimización de RSU para recuperar aquellos subproductos reciclables. En sí, todo este complejo para el tratamiento de los RSU constituyen un ecoparque donde se fomenta la educación y cultura ambiental y se recibe un promedio de 16,000 personas anualmente. Actualmente Se proyecta la construcción de una planta cogeneradora de biogás para la producción de energía eléctrica entre 2.8 y 4.0 MW^[46].

[46] Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes. México. Presentación: Sistema Intermunicipal del Estado de Aguascalientes para el manejo de residuos sólidos urbanos. Disponible en línea en http://www.ecologia.guanajuato.gob.mx/documentos/foro_residuos_2008. Consulta realizada en mayo, 2009.



Foto 31. Relleno sanitario controlado por el Sistema de Manejo de Residuos Sólidos (SIMAR) del Estado de Aguascalientes.



Foto 32. Estación de transferencia intermunicipal de Pabellón de Arteaga.

5.3 ECOPARQUE LA RIOJA, ESPAÑA.

El ecoparque de la Rioja se localiza en la provincia con el mismo nombre al norte de España. Consiste en una infraestructura de gestión ambiental que recibe y trata los RSU de la región. Lleva a cabo tareas de selección, reciclaje y valoración. Ubicada dentro de este ecoparque, la planta de selección automatizada totalmente, cuenta con cuatro líneas de separación, como se muestra en la **Tabla 5**. **Líneas de separación de RSU**, recuperando un total de 19,800 Ton/año. Asimismo, dentro de este complejo ambiental se producen alrededor de 14 MWh/año de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del biogás obtenido en los digestores, exportándose parte de la misma a la red local y el resto se utiliza en el suministro a la propia instalación.

Tabla 5. Líneas de separación de RSU

LÍNEA	MATERIAL RECUPERADO	CAPACIDAD (T/año)
Amarilla	Envases	10,000
Gris	Fracción resto	130,000
Voluminosos	Voluminoso	3,000
Residuos de poda y jardín	Residuos de jardinería	5,000



Foto 33. Arreglo general de las instalaciones



Foto 34. Patio de almacenamiento de RSU



Foto 35. Sistema de bandas para procesamiento de RSU



Foto 36. Procedimiento de homogeneización de RSU



Foto 37. Área de almacenamiento de RSU



Foto 38. Foso de almacenamiento de RSU



Foto 39. Arreglo general del sistema de bandas para procesamiento de RSU



Foto 40. Criba trómel para la separación de la fracción fina



6 PROPUESTA PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS RSU EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA

Debido a que la evacuación de los RSU generados en el campus universitario hacía el sitio de disposición final es la práctica común y representa la forma menos deseada para el tratamiento de los mismos, surge entonces la necesidad de implementar un plan local de manejo integral y sostenible de RSU cuya selección esté fundamentada en una correcta combinación de alternativas y tecnologías para hacerle frente a las cambiantes necesidades de la comunidad universitaria siendo flexible para afrontar retos y situaciones futuras.

Basándose en la filosofía de las **3 R's**, cuya jerarquía se muestra en la Figura 15, se plantea una propuesta que permitirá abordar la problemática actual de los RSU en Ciudad Universitaria.

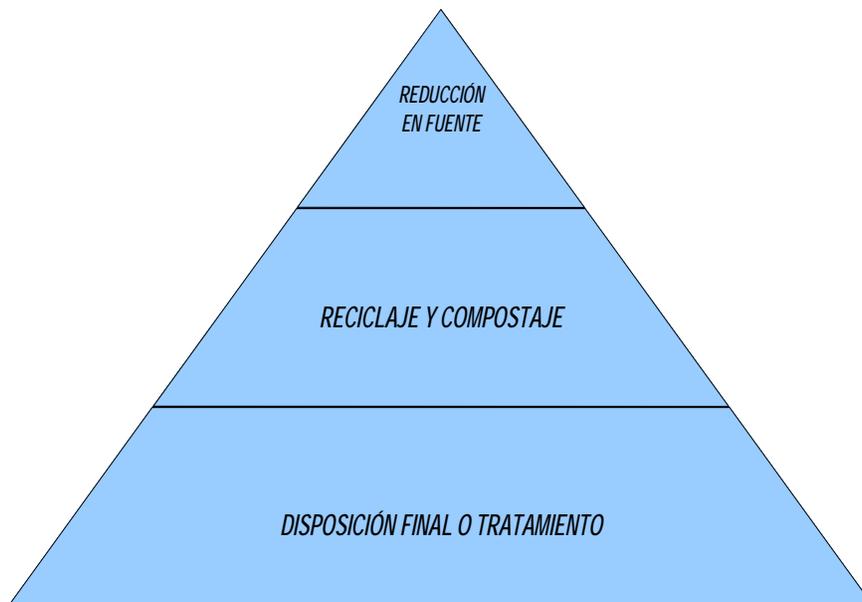


Figura 15. Jerarquía para el manejo adecuado de los RSU



6.1 PLANTEAMIENTO DE PROPUESTA

Toda vez que se haya logrado una reducción de los RSU desde su origen, se habrá entonces reducido el costo asociado a su manipulación y los impactos ambientales inminentes. En esta propuesta se sugiere a nivel institucional que antes de dar paso a un tratamiento con mayor nivel de complejidad se minimice la cantidad de residuos desde su fuente generadora, es decir, prevenir su generación reutilizando aquellos que todavía sean aprovechables. Asimismo se recomienda la práctica adecuada del manejo de residuos sólidos peligrosos generados por algunas dependencias de la Universidad, disponiéndolos en los contenedores especiales para ellos.

Sabiendo que la generación máxima de los RSU en Ciudad Universitaria es de 16 Ton/día y que de esta cantidad 4.96 Ton/día y 11.04 Ton/día corresponden a los residuos orgánicos e inorgánicos respectivamente, se puede establecer la línea base de productos aprovechables como se muestra en la gráfica de la Figura 16 y en la Tabla 6.

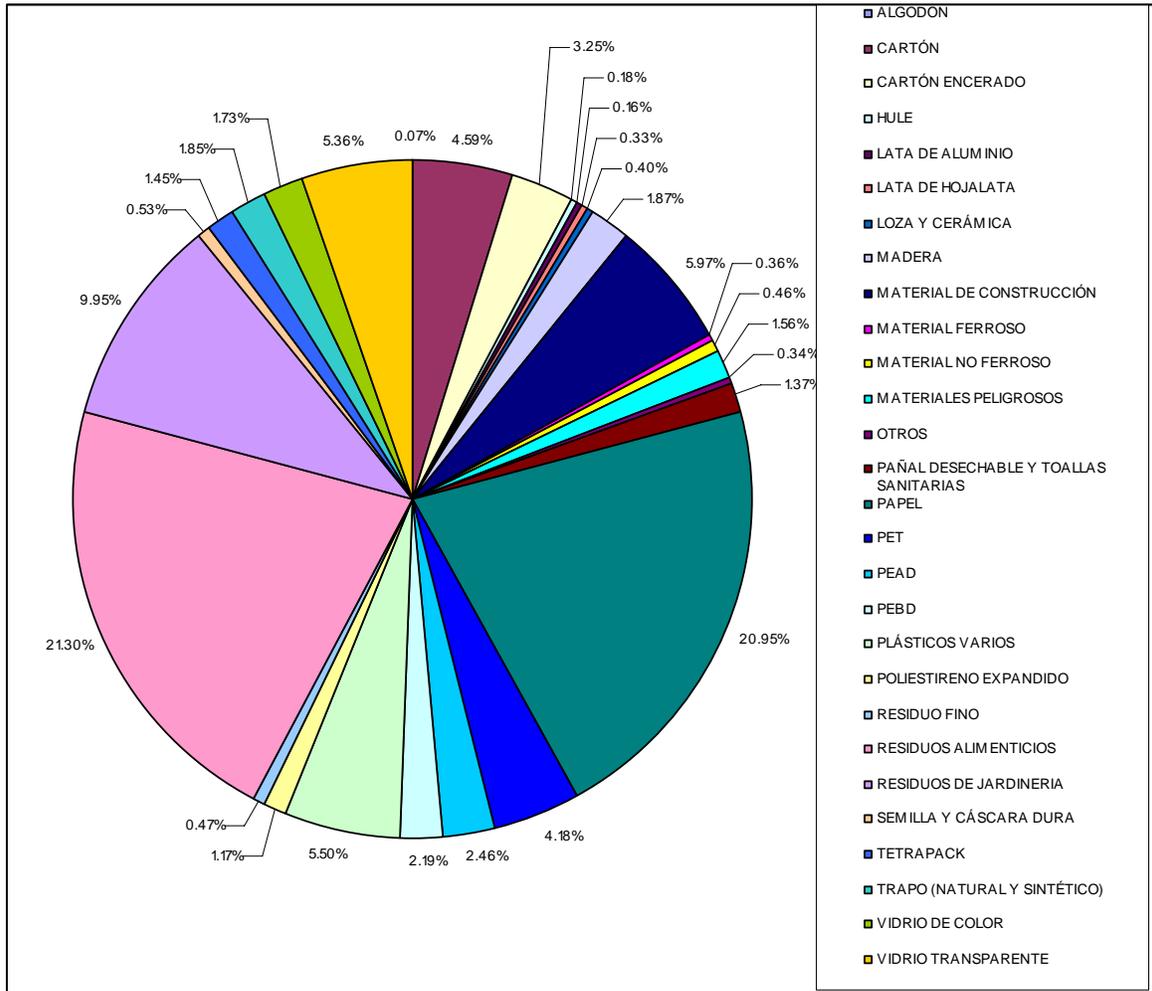


Figura 16. Composición porcentual de los RSU que se generan en C.U. (Elaboración propia a partir de Estudio de Generación de RS en la Ciudad Universitaria, PUMA. UNAM, 2006)



Tabla 6. Composición de los RSU generados en C.U. considerando una generación máxima de 16 toneladas al día (Elaboración propia a partir de Estudio de Generación de RS en la Ciudad Universitaria, PUMA. UNAM, 2006)

MATERIAL	% peso	kg/día	ton/día
ALGODÓN	0.07	11.20	0.01
CARTÓN	4.59	734.40	0.73
CARTÓN ENCERADO	3.25	520.00	0.52
HULE	0.18	28.80	0.03
LATA DE ALUMINIO	0.16	25.60	0.03
LATA DE HOJALATA	0.33	52.80	0.05
LOZA Y CERÁMICA	0.4	64.00	0.06
MADERA	1.87	299.20	0.30
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	5.97	955.20	0.96
MATERIAL FERROSO	0.36	57.60	0.06
MATERIAL NO FERROSO	0.46	73.60	0.07
MATERIALES PELIGROSOS	1.56	249.60	0.25
OTROS	0.34	54.40	0.05
PAÑAL DESECHABLE Y TOALLAS SANITARIAS	1.37	219.20	0.22
PAPEL	20.95	3352.00	3.35
PET	4.18	668.80	0.67
PEAD	2.46	393.60	0.39
PEBD	2.19	350.40	0.35
PLÁSTICOS VARIOS	5.5	880.00	0.88
POLIESTIRENO EXPANDIDO	1.17	187.20	0.19
RESIDUO FINO	0.47	75.20	0.08
RESIDUOS ALIMENTICIOS	21.3	3408.00	3.41
RESIDUOS DE JARDINERIA	9.95	1592.00	1.59
SEMILLA Y CÁSCARA DURA	0.53	84.80	0.08
TETRAPACK	1.45	232.00	0.23
TRAPO (NATURAL Y SINTÉTICO)	1.85	296.00	0.30
VIDRIO DE COLOR	1.73	276.80	0.28
VIDRIO TRANSPARENTE	5.36	857.60	0.86
TOTAL	100	16000	16



La propuesta para el manejo de los RSU se fundamenta en la gestión integral de los mismos y consiste en: hacer uso de la infraestructura y sistema actual de recolección y tratamiento de los RSU implementando recursos tecnológicos y humanos para la valorización en el mercado de los mismos, ayudándose de campañas de concientización en la fuente generadora para lograr una alta eficiencia en la separación y por lo tanto, un producto que cumpla con la calidad requerida para procesos posteriores.

Se plantea la instalación de una planta paquete para el procesamiento integral y la recuperación de las fracciones valorizables de los RSU obtenidos de la colecta diaria dentro del campus de Ciudad Universitaria; operando conjuntamente con la actual planta de composta para el tratamiento de la fracción orgánica separada, además de promover actividades de reúso para los materiales aún utilizables. La fracción de rechazo generada será enviada a la estación de transferencia para su posterior traslado al sitio de disposición final. Conjuntamente se propone la capacitación del personal a ocupar así como de la comunidad local mediante organismos universitarios como el PUMA. De esta forma, el plan a implementar estará de acuerdo conforme a los principios fundamentales establecidos por el plan de manejo de RSU estipulado en la LGPyGIR: *minimizar y valorizar*.

En la Figura 17 se esquematizan las etapas principales que integran el plan de manejo integral de los RSU dentro del campus universitario, enfatizando que el corazón del mismo es la instalación de la planta de selección y recuperación de subproductos valorizables.

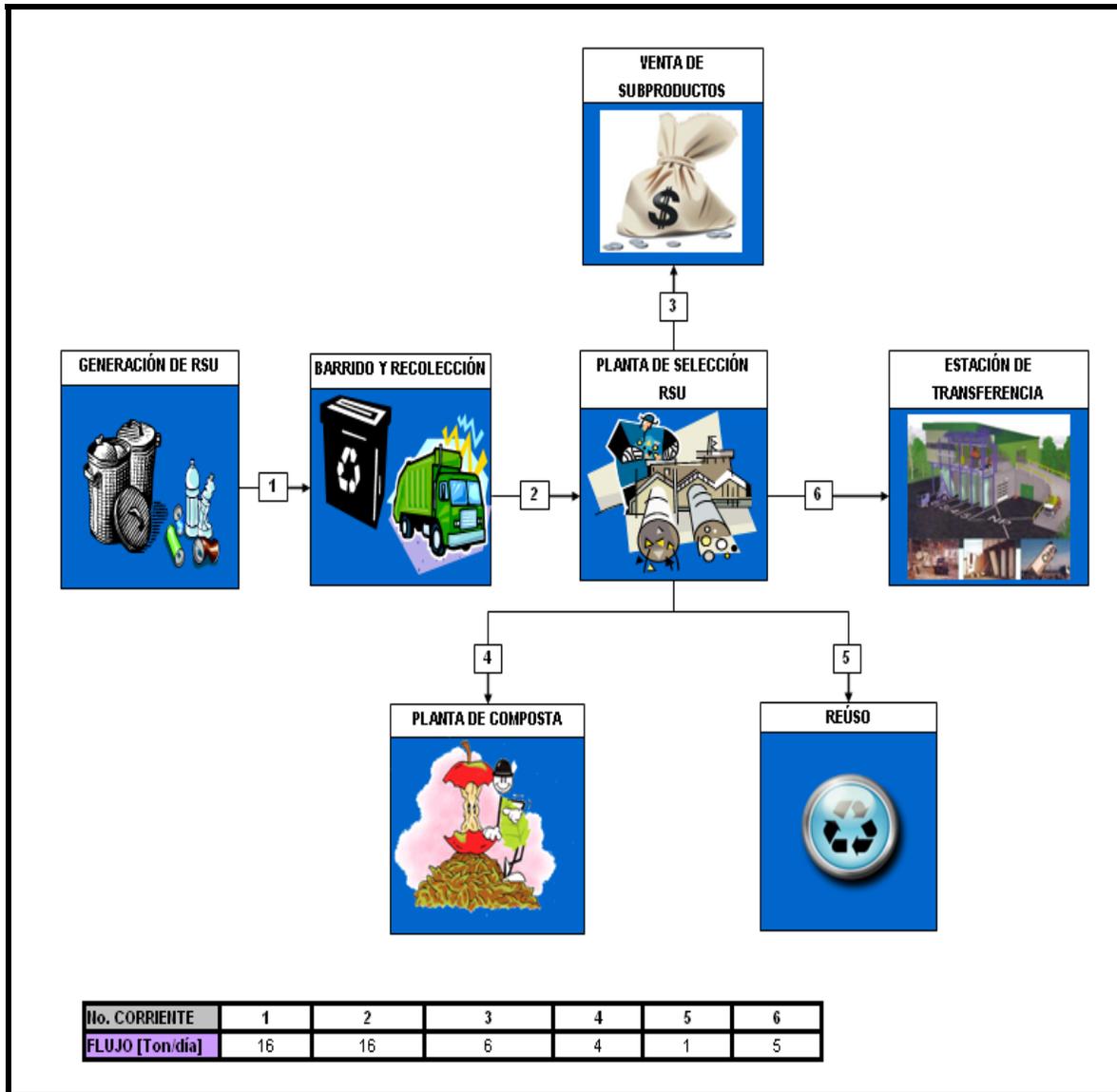


Figura 17. Diagrama de flujo general propuesto para el manejo y aprovechamiento de los RSU en la C.U.



6.2 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA

Descripción breve del proceso de recuperación de materiales propuesto

El proceso de recuperación de materiales reutilizables en la planta de selección, ilustrado en la Figura 18, inicia con la recepción de los residuos después de la recolección normal dentro del campus universitario. Cada uno de los vehículos recolectores ingresará a la zona de descarga y depositará allí los RSU. Los objetos muy voluminosos son retirados en primera instancia para después empujar a la fracción restante hacia la tolva de recepción equipada con una cinta transportadora semiautomática y un transportador de tablillas para la elevación de los residuos al transportador de banda de selección manual.

Una vez sobre la banda de selección los materiales de interés serán separados por un número mínimo requerido de cuatro personas, dispuestas estratégicamente, esto es, primero estará la persona encargada de separar el papel y el cartón, seguirá la persona encargada de retirar los materiales plásticos, continuará la persona que separará el material de vidrio y por último se encontrará la persona que retirará el material metálico. Al final de la banda clasificadora un imán del tipo overband retirará el material metálico imposible de extraer manualmente. Estas personas que se encargan de la separación manual enviarán el material seleccionado a los contenedores dispuestos debajo de la plataforma de selección, los cuales una vez llenos serán enviados hacia la zona de embalaje para su compactación y envío al centro de acopio correspondiente.

Posteriormente se llevará a cabo la trituración total de la fracción de rechazo en un molino de martillos equipado con una tolva de entrada y una tolva de descarga para lograr un producto homogéneo y lograr una mayor separación de la fracción orgánica e inorgánica. A la salida de la tolva de descarga se encuentra ubicada un transportador de banda para elevar la fracción de rechazo molida a la criba selectora, donde se llevará a cabo la separación por tamaño. El paso siguiente consiste en la evacuación de las fracciones orgánica e inorgánica mediante bandas transportadoras situadas debajo de la criba para su tratamiento posterior.



El material orgánico presentará la calidad necesaria para su bioconversión en composta, mientras que el flujo final de la fracción gruesa resultante, considerada no reciclable, será enviado a la unidad de transferencia.

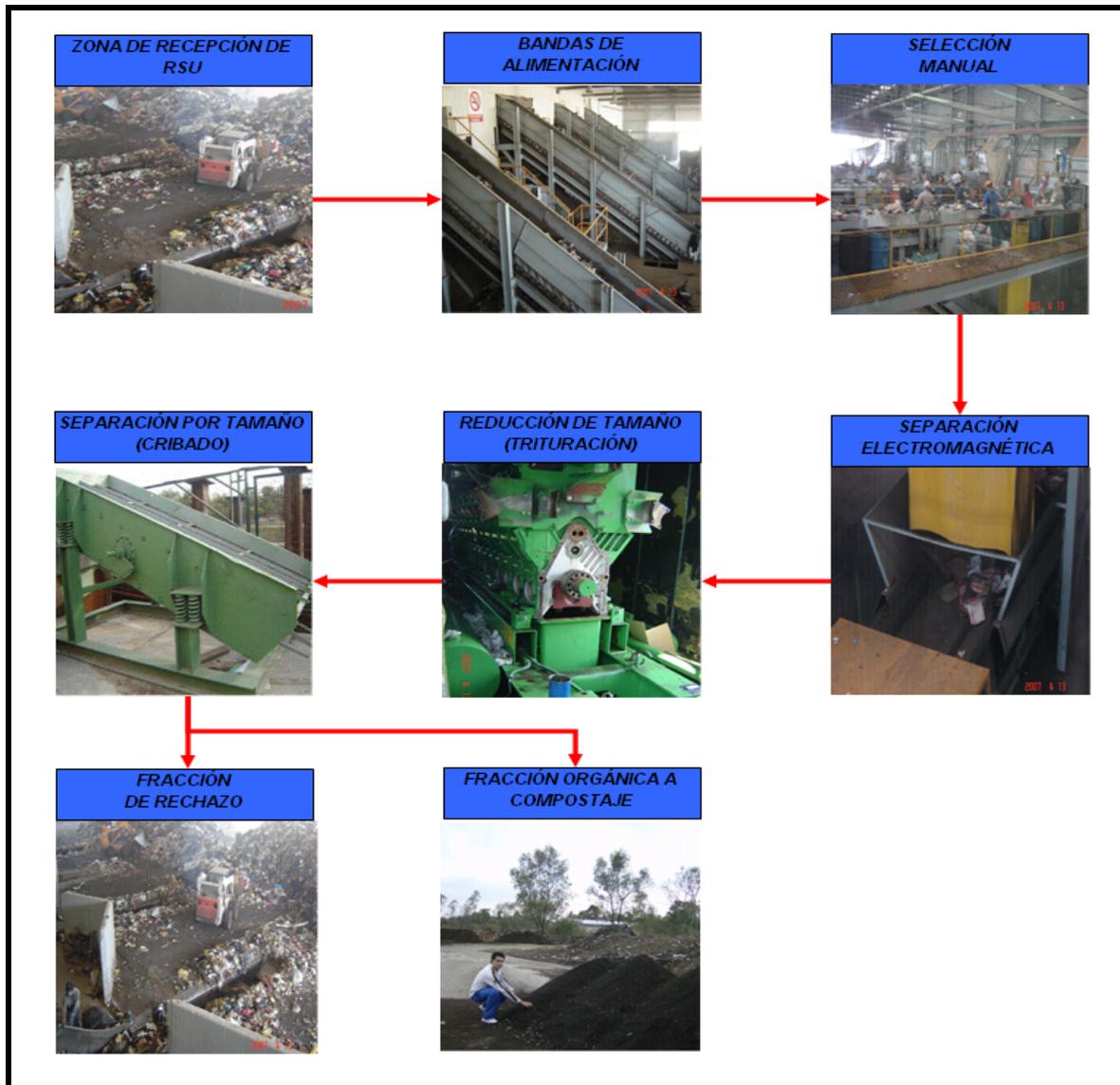


Figura 18. Diagrama de flujo de proceso propuesto para la PRM (Fuente: *Elaboración propia a partir información del proveedor Sistemas para Trituración. Jalisco, México. Diciembre 2008*)



Características técnicas de la PRM propuesta



Figura 19. Línea para proceso de RSU de la planta Tonalá, Jalisco (Fuente: *Sistemas para Trituración. Jalisco, México. Diciembre, 2008*)

Instalación	Planta de recuperación de materiales, <i>Sistema SIPT</i>
Localización	Ciudad Universitaria, Méx., D.F.
Área mín. requerida	50x30 m ²
Tipo de residuos	RSU
Capacidad de diseño (Ton/año)	5,500
Tipo de material recuperado	Papel, cartón, vidrio, metales, plásticos, residuos orgánicos.
Material recuperado (Ton/año)	4,620
Equipo principal	Una banda transportadora de tablillas, cuatro bandas transportadoras de construcción metálica, un molino de martillos, una criba selectora de 4' x 16' de dos camas, un imán overband autolimpiable, tolvas de recepción de residuos, una compactadora de alta densidad. Además incluye subestación eléctrica, arrancadores, tableros eléctricos, motores; infraestructura necesaria para soportar toda la maquinaria y techado, pisos y andadores de rejilla, escaleras laterales para acceso y salida de personal.
Factor de servicio	La PRM tiene un factor de servicio asociado de 0.9, operando en un turno nominal de 8 horas diarias con 7 horas de operación continua.
Personal por turno	4 clasificadores, 2 compactadores y 1 administrativo.



Balance de materiales para determinar la cantidad de materiales recuperados

Realizar el balance de materia permite determinar variables críticas para el diseño de la PRM, por ejemplo, las tasas de carga que son indispensables tanto para el dimensionamiento del equipo de clasificación como para calcular el número de trabajadores requeridos en cada operación unitaria. Asimismo permite delimitar la cantidad de materiales aprovechables susceptibles de recuperación.

Para este trabajo el balance de materia se realizó utilizando como variable crítica el factor de recuperación “x”, que consiste en la tasa de separación de RSU aprovechables de aquellos no reciclables y que hace económicamente viable la instalación de la planta. Dicho factor es característico de cada uno de los equipos de clasificación y en general, de la planta misma; por lo que tiene que ser determinado mediante ensayos piloto o bien, proporcionado por el proveedor. Otros criterios considerados para elaborar el balance de materiales son:

- Elaboración de un balance de materia global sobre la PRM, dado que es una planta paquete y no se conocen los valores de las variables de cada una de las unidades que la conforman.
- Determinación del factor de recuperación “x” mediante iteración debido a que no fue proporcionado por el proveedor. El valor dado al factor “x” debe estar dentro del intervalo de 0.5 a 1.0.
- La capacidad de diseño de la PRM es de 16 toneladas diarias. Magnitud que corresponde a la tasa de generación máxima de RSU en la C.U.
- Análisis del mercado de oportunidad para la comercialización de los productos de interés seleccionados. El factor de recuperación es una variable dependiente de este concepto, tal y como se muestra en la Figura 20.

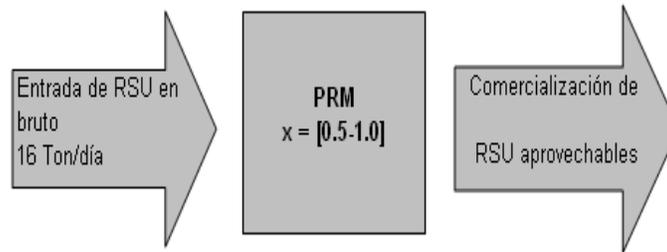


Figura 20. Esquema propuesto para la determinación del factor de recuperación de la PRM.

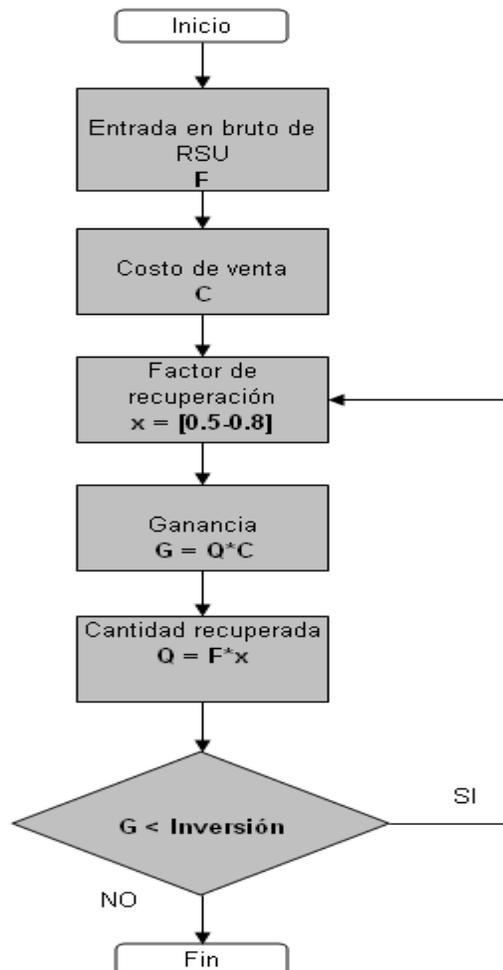


Figura 21. Algoritmo para determinar el factor mínimo de recuperación x en función de la viabilidad económico-financiera.



El algoritmo de la Figura 21 inicia considerando una entrada de 16 toneladas al día de RSU (F). Esta cantidad de residuos se divide en subproductos aprovechables, los cuales tienen asociado un valor de venta en el mercado (C). La variable a modificar es el *factor de recuperación x*, puesto que es el parámetro que se desconoce y no fue proporcionado por el proveedor de la planta. Este factor debe tener un valor de entre 0.5 y 1.0 para que la implementación de la planta sea económicamente viable. Ahora bien, para determinar la cantidad de RSU recuperados, se multiplica la cantidad de RSU que ingresa a la planta por un factor de recuperación aleatorio. Posteriormente se determina la ganancia obtenida en términos económicos, multiplicando la cantidad de subproductos de los RSU recuperados por su valor de venta en el mercado. Si la ganancia es menor que la inversión, se selecciona nuevamente un factor de recuperación y se repite el cálculo, hasta encontrar el valor mínimo de dicho factor que haga económicamente viable al proyecto de inversión.

El resultado de la ejecución del algoritmo muestra que el factor de recuperación mínimo requerido debe ser de 0.8. En la

Tabla 7 se presenta el balance de materiales utilizando como factor de recuperación 0.8, observándose que de las 16 toneladas de RSU que ingresan diariamente a la planta, 11 toneladas corresponden a la recuperación de materiales de interés para su reutilización; por lo que, únicamente 5 toneladas son enviadas a la estación de transferencia. Ahora bien, si el factor de recuperación asociado a la planta fuese de 1.0, únicamente serían enviadas 2 toneladas diarias hacia la estación de transferencia y, por consiguiente, 14 toneladas de residuos serían completamente material aprovechable.



Tabla 7. Balance de materiales

<i>COMPONENTE</i>	<i>INGRESO DE RSU A LA PRM</i>	<i>FACTOR RECUPERACIÓN ASIGNADO A LA PRM</i>	<i>CANTIDAD DE RSU RECUPERADA</i>	<i>FRACCIÓN DE RECHAZO</i>
ORGÁNICOS	<i>Ton/día</i>		<i>Ton/día</i>	<i>Ton/día</i>
fracción orgánica	5.38	0.80	4.31	1.08
papel	3.35	0.80	2.68	0.67
cartón	1.25	0.80	1.00	0.25
PET	0.67	0.80	0.54	0.13
PEAD	0.39	0.80	0.31	0.08
PEBD	0.35	0.80	0.28	0.07
hule	0.03	-	-	0.03
trapo	0.30	-	-	0.30
algodón	0.01	-	-	0.01
Plásticos varios (mix)	0.88	-	-	0.88
INORGÁNICOS				
vidrio de color	0.28	0.80	0.22	0.06
vidrio transparente	0.86	0.80	0.69	0.17
lata de aluminio	0.03	0.80	0.02	0.01
lata de otros metales	0.05	0.80	0.04	0.01
envase tetrapack	0.23	-	-	0.23
material ferroso	0.06	0.80	0.05	0.01
material no ferroso	0.07	0.80	0.06	0.01
materiales peligrosos	0.25	-	-	0.25
pañal y toallas sanitarias	0.22	-	-	0.22
unicel	0.19	-	-	0.19
residuo fino	0.08	-	-	0.08
otros	0.05	-	-	0.05
Material de construcción	0.96	1.00	0.96	0.00
Loza y cerámica	0.06	1.00	0.06	0.00
TOTAL	16.00		11.22	4.78



6.3 ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y FINANCIERA ***Mercado de los subproductos susceptibles de recuperación***

El primer paso para comercializar los subproductos recuperados es conocer sus características, así como la calidad y cantidad en que estos se generan en los diversos estratos y sectores de la localidad^[31]. La posibilidad de vender los residuos aprovechables y así sustituir materias primas, depende de factores tales como:

- Precios de mercado
- Costos de almacenaje
- Cantidad de subproductos demandados con base en las tecnologías existentes en el mercado
- Grado de contaminación de los materiales
- Grado de procesamiento de los subproductos
- Precio de la materia prima base
- Otros costos relacionados

Algunas de las principales características de compra requeridas para los materiales reciclables son presentadas en la Tabla 8; sin embargo, cada comprador en particular puede imponer otras.

^[26] SEDESOL-SEMARNAT, 2007. *Manual para Determinar la Factibilidad de Reducción y Reuso de Residuos Sólidos Municipales*. México, D.F.



Tabla 8. Especificaciones mínimas de compra de subproductos aprovechables

Subproducto	Especificaciones de compra
Cartón ^{†††}	Limpio, seco, empacado por separado, libre de grapas y materiales extraños
Papel	Limpio, seco, empacado por separado, libre de grapas y materiales extraños.
Plásticos	Limpio, sin mezcla de otros residuos, separado por tipos para ciertos procesos, molido, granulometría requerida, compactado.
Latas	Limpias, sin mezcla de otros residuos, compactadas.
Vidrio	Separado por color, limpio, seco, sin etiquetas, libre de materiales extraños. Molido, granulometría requerida y venta en sacos de 30 a 40 kg.
Aluminio	Pesado y empacado, seco y limpio de todo material extraño.

(Fuente: Elaboración propia a partir de consulta telefónica con centros de acopio de materiales reciclables)

A continuación se describen los principales subproductos que actualmente cuentan con un mayor potencial de mercado.

Papel y cartón

Sólo una parte del papel y del cartón desechado es reutilizable debido a consideraciones económicas y logísticas como:

- La fibra virgen es abundante y relativamente barata
- Muchos centros urbanos están localizados a grandes distancias de las fábricas de papel
- La capacidad de las fábricas para destinar y reutilizar el papel y el cartón usados es limitada.

^{†††} Tolerancia para venta. Humedad: 8-10%; material extraño: 5% máx.



Las empresas recicladoras compran el papel residual usado basándose en el brillo, la fuerza y el rendimiento de la fibra, según el tipo de producto fabricado. Los principales tipos de papel para reciclar son: periódico, cartón corrugado, papel de oficina y papel mezclado; obteniéndose productos como: papel periódico, papel higiénico, pañuelos de papel, cartón y productos para construcción (fibra prensada). El mayor problema durante los procesos de reciclado del papel es la presencia de contaminantes que perjudican el proceso de producción o pueden dañar la maquinaria.

Plástico

El proceso de reciclaje de plástico depende de su composición, por esta razón se identifica mediante un código estandarizado. La clasificación del 1 al 7, mostrada en Tabla 9 representa las resinas comúnmente usadas y facilita la separación y el reciclaje. Sin embargo, debido a la gran diversidad se complica tanto la recolección selectiva como su separación. El reciclaje correcto exige la separación absoluta, así como lavado y uso de aditivos para obtener granza o pellets (plástico fundido y homogeneizado para corte ulterior de alta calidad). Una desventaja del plástico mezclado es que no sólo produce granza de mala calidad, sino que puede ocasionar incluso averías importantes en la maquinaria.



Tabla 9. Códigos de identificación de resinas

NOMBRE	No.	SIGLAS	ORIGEN
Polietileno tereftalato	1	PET	Botellas de refresco, recipientes de alimentos
Polietileno de alta densidad	2	PEAD	Contenedores
Policloruro de vinilo	3	PVC	Recipientes, tuberías
Polietileno de baja densidad	4	PEBD	Bolsas y envoltorios
Polipropileno	5	PP	Cajas, tapas, etiquetas
Poliestireno	6	PS	Vasos, platos, fibras
Otros	7		Todas las resinas restantes y los materiales multilaminados

Vidrio

La mayor parte del vidrio contenido en los residuos son botellas u otros recipientes. Después de ser separado por colores (blanco, verde y ámbar) y triturado, casi todo el material se utiliza para producir nuevos recipientes y envases. Los fabricantes de botellas están dispuestos a pagar precios un poco más altos por el vidrio triturado que por las materias primas, debido a ahorros de energía y a mayor durabilidad del horno de fundición. La desventaja de usar vidrio usado reside en que casi siempre contiene contaminantes que pueden alterar el color o la calidad del producto final.

Aunque la cantidad demandada del vidrio triturado es considerable, a menudo la rentabilidad varía por los costos de recolección, procesamiento y transporte hacia las fábricas.



Metales

Los metales se pueden clasificar en dos categorías:

1. Metales férreos (hierro y acero). Las latas de acero y la hojalata se separan magnéticamente (por el recubrimiento de estaño) y se transportan a una estación de desestañamiento. El estaño que se recupera es de 2.5 a 3 kg por tonelada de latas. El mayor impedimento para el reciclaje de latas de acero es el alto costo de su transportación.

2. Metales no férreos. Casi todos estos metales se pueden reciclar si están seleccionados y libres de material extraño. Además del aluminio, otros metales no férreos son el cobre, latón, bronce, plomo, níquel, estaño y cinc.

El reciclaje de los recipientes de aluminio ha sido exitoso, inclusive más que el de papel, plástico y vidrio, porque las materias primas de éstos se adquieren con facilidad y son relativamente baratas. Sin embargo, la bauxita (materia prima del aluminio) se debe importar, por ello en algunos países los fabricantes se han organizado para recuperar el aluminio.

Una ventaja en proceso de reciclaje del aluminio es la facilidad con que son retiradas las impurezas. En términos generales, las latas aplastadas son trituradas para reducir su volumen, luego son calentadas en un proceso de descalcamiento para separar los revestimientos y disminuir su humedad; después se introducen a un horno de refundición, para formar lingotes con el material fundido, los cuales son enviados a otras fábricas para producir láminas o partes para maquinaria y equipo.

Otros

Además de los materiales señalados, existen otros subproductos que pueden recuperarse; sin embargo, las cantidades, pero sobre todo los ingresos obtenidos por la venta de los mismos son relativamente bajos. Entre estos materiales se pueden señalar madera, llantas, trapo, hueso, etc.

La Tabla 10 muestra algunos de los centros de acopio de materiales ubicados en la ciudad de México y zona metropolitana, intermediarios y recicladores, dedicados



a la comercialización de los subproductos recuperados y, que a su vez fueron consultados para precisar el precio de compra y venta de los mismos, así como las características mínimas requeridas para su adquisición.



Tabla 10. Empresas intermediarias y recicladores

EMPRESA	DOMICILIO	RUBRO
Avangard México, S. A. de C. V.	Fresno 323, Col. Atlampa. CP 06450, Méx., D.F.	Acopio, reciclado y comercialización de materiales reciclables.
Flexiductos Plásticos, S. A. de C. V.	Av. Revolución No. 166, col. Tepalcates. CP 09210, Méx., D.F.	Reciclado de plásticos
Procesadora Termoplástica, S. A. de C. V.	Cumbres de Maltrata No. 480, Col. Niño Héroes de Chapultepec. CP 03610, Méx., D.F.	Reciclaje de resinas termoplásticas
Giroplast, S. A. de C. V.	Río Totolica No. 31, Parque Industrial Naucalpan. CP 53470, Naucalpan, Edo. Méx.	Compra y venta de desperdicios plásticos
Polietilenos Industriales, S. A. de C. V.	Libertad sur No. 11, Col. Sta. Clara. CP 55540. Ecatepec, Edo. Méx.	Reciclado de PEAD Y PEBD, así como desperdicio industrial
Tlacopapeles, S. A. de C.V.	Cerezas No. 82, Col. Del Valle. Méx., D.F.	Compra y venta de cartón, archivos, periódicos, revistas y viruta
Cartonera San Cristóbal	Rayón no. 25 Esq. Vía Morelos. Col. Álamos de San Cristóbal, Ecatepec, Edo. Méx.	Compra y venta de desperdicios de cartón y papel
Reciclado de Acero del Sur, S. A. de C. V.	Av. 510 No. 424, San Juan de Aragón. CP 07950, Méx., D.F.	Recuperadora de metales
Distribuidora de Metales Xalostoc, S. A. de C. V.	Av. Hidalgo Predio Salinas S/N, San Cristóbal Ecatepec, Edo. Méx.	Recuperación de chatarra de metal
Grupo RI (Recicladores Industriales), S. A. de C. V.	Av. De la Luz No. 84, Parque Industrial La Luz, CP 54713. Cuautitlán Izcalli, Edo. Méx.	Reciclado de botellas de vidrio
Grupo Vitro Envases	Tiene plantas de reciclaje de vidrio en Mexicali, Guadalajara, Monterrey, Méx., D.F.	Reciclaje de material de vidrio

(Fuente: Elaboración propia a partir de comunicación vía telefónica con las empresas mencionadas)



Los precios de compra promedio dados para cada uno de los subproductos aprovechables, proporcionados por las empresas antes mencionadas se indican en la tabla siguiente:

Tabla 11. Precios de compra promedio del material reciclable

MATERIAL	COSTO UNITARIO	COSTO UNITARIO PROMEDIO	COSTO UNITARIO PROMEDIO	COSTO UNITARIO PROMEDIO
	\$M.N./kg	\$M.N./kg	\$M.N./Ton	USD/Ton
PAPEL EMPACADO	0.5-1.0	0.75	750	58
CARTÓN EMPACADO	0.8-1.2	1.00	1000	77
PET EMPACADO	0.8-1.5	1.15	1150	88
PEAD MOLIDO	1.5-2.0	1.75	1750	135
PEBD EMPACADO	0.2-0.5	0.40	400	31
VIDRIO SEPARADO POR COLOR	0.3-0.5	0.40	400	31
ALUMINIO EMPACADO	14.0-16.0	15.00	15000	1154
MATERIAL FERROSO Y OTRO METALES	0.7-1.0	0.85	850	65

(Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida por comunicación vía telefónica con las empresas)

Ingresos por la comercialización de los subproductos aprovechables

Como se ha mencionado con anterioridad, la PRM tiene asociado un factor de recuperación x , el cual determinará la cantidad de subproductos separados y , por consiguiente, el ingreso de recursos económicos por su comercialización. En este trabajo se ha considerado un factor de recuperación igual a 0.8 para la elaboración de la evaluación económico-financiera, obteniéndose los resultados condensados en la Tabla 12.



Tabla 12. Ingreso anual por comercialización del material reciclable

MATERIAL	% RECUPERACIÓN ASIGNADO A LA PRM	CANTIDAD RECUPERADA	COSTO UNITARIO PROMEDIO	INGRESO POR VENTA DE MATERIAL
		<i>Ton/día</i>	<i>USD/Ton</i>	<i>USD/año</i>
PAPEL EMPACADO	0.8	3.35	58	59,997.58
CARTÓN EMPACADO	0.8	1.25	77	29,936.74
PET EMPACADO	0.8	0.67	88	18,355.34
PEAD EMPACADO	0.8	0.39	135	16,438.48
PEBD EMPACADO	0.8	0.35	31	3,344.97
VIDRIO SEPARADO POR COLOR	0.8	1.13	31	10,829.16
ALUMINIO EMPACADO	0.8	0.03	1154	9,164.31
MATERIAL FERROSO Y OTROS METALES	0.8	0.18	65	3,732.55
TOTAL				151,799.12

Estimación de la inversión requerida

El estimado de costos es una actividad que permite predecir el costo del conjunto de recursos que van a ser necesarios para la ejecución del proyecto^[28]. El capital total necesario estimado en función del costo para el desarrollo de la ingeniería, compra de equipo principal, instalación, obra civil, entre otras actividades indispensables para la puesta en operación de la planta de recuperación de materiales con una capacidad de tratamiento de 16 Ton/día, corresponde aproximadamente a 1,839,778 dólares americanos del 2009, sin incluir el capital de trabajo.

Para realizar este estimado de costos se emplearon técnicas y métodos de análisis económico que comúnmente se utilizan durante el desarrollo de proyectos, apoyados en criterios técnicos y en la experiencia de ingenieros y empresas con conocimiento del área. Los métodos de estimación varían

^[28]Project Management Institute Standards Committee, 1996. *A guide to the Project Management body of knowledge*. PMI Publishing Division, 3th. ed. E.E.U.U.



dependiendo del grado de exactitud que se espera y de la etapa de desarrollo del proyecto^[2], siendo principalmente tres métodos los empleados con este criterio.

El primero de ellos es el estimado de **orden de magnitud** o *Rough Order Magnitude Estimates* (ROM), el cual se desarrolla en las primeras etapas del proyecto, evaluación y planeación, con el objeto de que ayude en las evaluaciones económicas y financieras de la inversión. Consiste en escalar un proceso o equipo, es decir, llevar de un tamaño dado a otro tamaño mayor o menor una operación u objeto^[3]; basándose en estudios publicados sobre plantas que cumplen con el principio de similaridad con respecto a analogías físicas de tipo mecánico, geométrico, químico, etc., para con la planta objetivo, pero presenta poca precisión ya que su grado de desviación es de +/- 40%^[13]. Pero aún así, permite tener una idea de la magnitud del costo del proyecto y con esto tomar una decisión de continuar o elegir otra alternativa.

Los **estimados intermedios** (*bottom-up*), ofrecen una mayor precisión y confianza al evaluador. Corresponden a estimaciones de control que se hacen durante la etapa de ingeniería conceptual y diseño básico para asegurarse de que las evaluaciones económicas siguen siendo válidas conforme progresa el proyecto. Esta técnica requiere de la estimación del costo de diferentes conceptos individuales de trabajo; entre más detallados se hagan estos conceptos, más preciso y más costoso se vuelve el estimado. El uso de curvas y factores son dos herramientas principales para la ejecución de esta técnica, obteniéndose un rango de precisión de +/- 20%^[13].

Finalmente se tienen los **estimados definitivos**, que reflejan el costo que tiene para un constructor realizar el diseño terminado. Esta clase de estimados son los más precisos y costosos, ya que son apropiados para realizar el control de costos del proyecto. El empleo de estas técnicas de estimación de costos dependerá de

^[2] AHUJA, H.N. et.al. 1989. *Ingeniería de Costos y Administración de Proyectos*. Ed. Ediciones Alfaomega. México, D.F.

^[3] ANAYA-Durand, A. et.al. 2008. *Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina*. Rev. IMIQ. 23(1):31-39. México.

^[13] FORREST, D.C. et.al. 1978. *Applied Cost Engineering*. Ed. Marcel Dekker Inc., E.E.U.U.



los recursos que se tengan disponibles para su ejecución, y del grado de precisión requerido, establecido por el objetivo final del estimado.

Para este caso en particular, se ha realizado un estimado de **orden de magnitud** conocido como *método de escalamiento de los seis décimos*, para el cálculo del costo de adquisición e instalación de una planta paquete de recuperación de materiales reciclables a partir de otra de mayor capacidad. La razón de esto, es que en el mercado no se encuentran disponibles ciertos equipos con capacidad para manejar pequeñas cantidades de residuos como la que se genera en la ciudad universitaria, tales como los molinos y las cribas. Cabe hacer mención que en un primer intento, se cotizaron individualmente varias unidades del equipo principal para el procesamiento de RSU; sin embargo, un cuello de botella fue la problemática arriba indicada, lo cual sesgó la determinación del costo de la planta mediante un estimado del tipo intermedio.

Como se hace referencia en la Tabla 14, fue empleada la información del costo de una planta de recuperación de materiales con capacidad de 20 Ton/h, un tren de selección manual-mecánico similar al que se propone en este documento y un factor de relación recomendado de 0.6^[26]. La ecuación a utilizar^[1] es la siguiente:

$$\frac{C_1}{C_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^x$$

En donde:

C_1 = costo del proyecto analizado

C_2 = costo del proyecto nuevo

S_1 = tamaño de un solo parámetro del proyecto analizado

S_2 = tamaño de un solo parámetro del proyecto nuevo

x = relación exponencial

[1] AGUILAR-Rodríguez, E. 2007. *Diseño de Procesos en Ingeniería Química*. Ediciones IMP/IPN. México, D.F.

[26] PETERS, M.S. et.al. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineer*. 4a ed. Ed. McGraw-Hill, E.E.U.U.



Para la estimación de los diferentes conceptos que integran el estimado de costo de capital, como son los costos de ingeniería y construcción, contingencia, administrativos, etc., se utilizaron porcentajes típicos empleados en el desarrollo de proyectos de ingeniería, además de criterios basados en referencias de obras de ingeniería puestas en pie. Lo antedicho constituye un desarrollo de lo que corresponde a un estimado intermedio.

Tabla 13. Datos representativos de la PRM cotizada

FECHA COTIZACIÓN	TECNÓLOGO	TECNOLOGÍA	SIMILARIDAD	CAPACIDAD	COSTO
				Ton/h	\$USD
Diciembre 2008	SIPT Sistemas para trituración	Mexicana	Geométrica y mecánica	20	5,500,000

Tabla 14. Estimación del costo de la PRM de C.U. mediante el método de escalamiento de los seis décimos (Estimado de Orden de Magnitud), con precios del mes de diciembre 2008.

COSTO DE UNA LINEA DE TRITURACIÓN DE BASURA URBANA CON MONTAJE INCLUIDO (pesos corrientes del 2008)				
COSTO DE REFERENCIA	CAPACIDAD DE REFERENCIA	CAPACIDAD A ESTIMAR	COSTO ESTIMADO	MUESTRA DE CÁLCULO
US\$	Ton/h	Ton/h	US\$	
5,500,000.00	20.00	2.00	1,381,537.54	$C_2 = 5,500,000 * \left(\frac{2}{20}\right)^{0.6}$ $C_2 = US\$1,381,538$

El estimado de costos realizado para la construcción de la Planta de Recuperación de Materiales para la Ciudad Universitaria, con capacidad de diseño de 16 Ton/día, indica que el proyecto requerirá un capital fijo de inversión aproximado de *US\$1,839,778*.



Evaluación financiera del proyecto

El presente proyecto fue evaluado en los términos de indicadores de rentabilidad, flujos de efectivo a lo largo del horizonte de evaluación y beneficios obtenidos por la ejecución del proyecto que, conforme a la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria, forman parte de los lineamientos requeridos para efectuar análisis costo-beneficio de los programas y proyectos de inversión. Esta evaluación financiera parte del supuesto de que como ejecutor e inversionista del proyecto se tienen a las entidades correspondientes de la Universidad Nacional Autónoma de México para la ejecución del mismo.

Criterios empleados para la evaluación financiera

- a. Horizonte de evaluación de 20 años. Para este tipo de plantas se asume un tiempo de vida de 15 a 20 años^[30].
- b. La tasa de descuento anual (TMAR) que se empleó fue con base en el interés mínimo cobrado por la Unidad de Inversiones de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público cuyo valor es del 12%. Asimismo, este valor se justifica dado que si se quisiera hacer una inversión no riesgosa como lo es invertir en certificados de la tesorería de la federación (CETES) en vez de invertir en el proyecto, la tasa de descuento promedio sería del 8% con el menor de los riesgos; sin embargo, al invertir en un proyecto como este, sin fines de lucro, se obtendría como tasa mínima el 12%, valor por encima de la tasa líder, garantizando la recuperación de la inversión, y haciendo autosuficiente en términos económicos a la planta; obteniendo paralelamente beneficios con un mayor impacto y aceptación, como lo son los beneficios ambientales y sociales. No obstante, el riesgo es mayor al invertir en el proyecto que si se considera hacerlo en CETES. Por otra parte, también se propuso este valor porque si se exige un mayor rendimiento a la inversión, es decir, si se aumenta la



TMAR por encima del 12%, el resultado será un VPN negativo, lo que significa simplemente rechazar el proyecto.

- c. La tasa asociada a la depreciación es del 5% anual y corresponde al valor estipulado para maquinaria y equipo de transformación y producción en el artículo 41 de la Ley del Impuesto sobre la Renta.
- d. La paridad peso-dólar utilizada es de 13 pesos mexicanos por dólar americano.
- e. Los ingresos por beneficios corresponden a la disminución en el pago de dinero por concepto de disposición de los RSU recolectados dentro del campus universitario en la unidad de transferencia, y por la cantidad de de materiales recuperados y comercializados es de alrededor de 4,515 Ton/año y el ingreso por este concepto es de US\$ 152,000 anuales.
- f. El factor de recuperación de materiales asociado a la planta corresponde al mínimo requerido que es 0.8.
- g. El costo de la planta paquete incluye la instalación de la maquinaria, arranque y puesta en marcha; así como, capacitación de personal para el manejo de la planta.
- h. El costo asociado a la obra civil fue estimado para una nave industrial con un área de 50x30 m².
- i. Los costos de operación y mantenimiento se estimaron considerando un factor de 0.05^[26] (se recomienda un intervalo del 5% al 15% para plantas de procesamiento de materiales sólidos) sobre el total de la inversión fija, además de tener en cuenta que la PRM no cuenta con mucho equipo mecánico que requiera de reparación continua. Por otra parte, se realizaron estimaciones directas para los conceptos restantes, determinando así, los costos variables de operación cuyo monto asciende a aproximadamente US\$ 215,577 anuales y engloba los conceptos de personal, mantenimiento, y servicios auxiliares.



- j. No se considera un costo asociado a la disposición de materia prima puesto que actualmente ya existe una inversión asociada a su recolección.
- k. El costo por servicios auxiliares se determinó con base en la potencia mínima requerida por los motores del equipo principal, considerando un factor de servicio de planta igual a 0.9 y un costo de \$1.37 M.N. por kWh.
- l. El costo por mano de obra directa y personal administrativo se evaluó mediante los valores actuales de la nómina del personal UNAM^[42].
- m. El período de construcción de la planta considerado es de 6 meses.

Estimación de los costos fijos de inversión y variables de operación

El estimado de los costos fijos de inversión de la PRM se realizó empleando los valores obtenidos mediante cotizaciones y factores asociados al costo del equipo principal reportados para plantas complejas de proceso.

Tabla 15. Estimado de costos de inversión fija (Año 2008)

COSTOS FIJOS	INTERVALO^[26]	PORCENTAJE TÍPICO DEL EQUIPO PRINCIPAL	COSTO NETO US\$/año (cotización inicial del año 2008)
Planta paquete		Cotizado	1,381,538
Acondicionamiento de terreno	5-10%	5%	69,077
Obra civil		Estimado	258,000
Contingencias e imprevistos	5-15%	8%	131,163
INVERSIÓN FIJA TOTAL			1,839,778

^[42] Dirección General de Planeación. UNAM, México. Agenda Estadística. Disponible en línea en <http://www.planeación.unam.mx>. Consulta realizada en mayo, 2008.



Tabla 16. Estimado de los costos variables de operación (Año 2008)

COSTOS VARIABLES	INTERVALO	PORCENTAJE TÍPICO DEL EQUIPO PRINCIPAL	COSTO NETO US\$/año
Materia prima			0
Servicios auxiliares		Estimado	101,007
Mantenimiento y reparación	5-15% ^[26]	5%	49,186
Operadores directos (6 personas aprox.) y 1 encargado de planta		Estimado	57,692
Administrativos (1 persona aprox.)		Estimado	7,692
INVERSIÓN COSTOS VARIABLES TOTAL			215,577

Beneficios generados

Al emprender un proyecto de recuperación de RSU se tienen que identificar, cuantificar y valorar los beneficios principales que se pueden obtener por su ejecución, comparando la situación con proyecto y la situación actual (sin proyecto). Dentro de los beneficios cuantificables aunados a la realización del presente trabajo se consideran:

- Beneficios por ingresos derivados de la venta de los subproductos reciclables cuyo valor es de US\$151,799 anuales.
- Beneficios por ahorro en los costos de disposición de los RSU en la estación de transferencia de alrededor de US\$508,200 anuales.
- Beneficios por ahorro en los costos de transportación de aproximadamente US\$5,940 anuales; así como, incremento en la vida útil del parque vehicular.



Tabla 17. Beneficios cuantificables generados por implementación de la PRM

BENEFICIO	SITUACIÓN ACTUAL US\$/año	SITUACIÓN CON PROYECTO US\$/año	AHORRO NETO US\$/año
Venta de subproductos	0	151,799	359,134
Costos por disposición de RSU en estación de transferencia	580,800	72,600	
Costos de transportación	8,673	5,940	
Costo Total	589,473	230,339	

Como se puede apreciar en la Tabla 17, de llevarse a cabo el presente proyecto se tendría un beneficio económico mayor al 50% en ahorros por el aprovechamiento y un manejo adecuado de los RSU de la Ciudad Universitaria.



Resultados de la evaluación financiera

Supóngase que una persona posee una cantidad razonable de dinero la cual se considera como la riqueza de esta persona, y no sabe exactamente qué hacer con su riqueza. Tiene dos opciones: gastarlo o invertirlo. Si decide invertir, su decisión estará basada en que, al dejar de consumir en el presente, podrá consumir más en el futuro. Su decisión es no consumir hoy, con la certeza de consumir más en el futuro, y esto lo podrá realizar si su riqueza es mayor, en términos reales, en el futuro que en el presente. No obstante, nace una pregunta: ¿conviene invertir en un determinado proyecto dadas las expectativas de ganancia e inversión? Para responder a esta pregunta se pueden utilizar criterios, basados en indicadores financieros, para la toma de decisiones^[4]. Entre los indicadores más utilizados para elaborar un análisis financiero están: el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), el periodo de recuperación de la inversión, el índice de rentabilidad, entre otros. A continuación se explica el uso de cada uno de ellos y, fundamentalmente, la interpretación de sus resultados.

Capital de trabajo

Consiste en la serie de gastos e ingresos que se deberán presentar durante la vida del proyecto y que al final deberá generar una utilidad sobre el capital^[1]. Se le considera parte del flujo de caja, porque: 1) al final del periodo de inversión, un proyecto requiere una caja mínima e inventarios de materias primas y recursos, y 2) durante la operación se generan cuentas por cobrar y pagar^[31].

Valor Presente de la Inversión

Debido a que en un proyecto de inversión se tienen flujos de efectivo (ingresos y egresos) en diferentes tiempos, desde el inicio del proyecto hasta el cierre definitivo de la instalación, es necesario llevar el valor del dinero a una base

^[1]AGUILAR-Rodríguez, E. 2007. *Diseño de Procesos en Ingeniería Química*. Ediciones IMP/IPN. México, D.F.

^[4]BACA-Urbina, G. 1999. *Fundamentos de Ingeniería Económica*. Ed. McGraw-Hill, México, D.F.



común; es decir, un solo momento en el tiempo, el cual se acepta que sea el punto de inicio del proyecto (tiempo cero) llamado *valor presente de la inversión*^[31].

Inversión Total

Total de gasto de capital que se requiere para la realización de un programa o proyecto de inversión^[1].

Flujo de Caja

Son los fondos generados por una inversión sobre la vida estimada de un proyecto. Los flujo de caja pueden ser positivos o negativos según si se trata de ingresos (positivos) o egresos (negativos). Las inversiones se consideran como un flujo negativo.

Valor Presente Neto (VPN)

El dinero tiene un valor que cambia con el tiempo, es decir, un peso del día de hoy tiene un valor diferente dentro de un año o dentro de tres años, dependiendo de la tasa de interés (*i*) que ofrezcan los bancos en el periodo de estudio^[1]. La lógica de este concepto es determinar la equivalencia, en tiempo presente, de flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y, compararla con la inversión inicial (tiempo cero). Por lo tanto, el VPN es la diferencia entre el valor inicial de la inversión y el valor presente o actual del flujo de efectivo neto futuro de la inversión^[31]. La fórmula que se emplea para determinar el VPN se describe a continuación^[7]:

$$VPN = \sum_{n=1}^n \frac{S_n}{(1+i)^n} - I_0$$

Donde:

VPN = valor presente neto

S_n = Flujo de caja neto al final del año *n*

I_0 = Inversión inicial

i = Tasa de descuento

n = vida del proyecto en años

^[7] CICERI-Silvenses, H. N. 2009. *Decisiones de Inversión en Plantas Químicas. Modelos y Criterios*. Facultad de Química, UNAM. México, D.F.



Criterio de decisión

Los criterios de decisión proporcionan al inversionista las bases racionales necesarias para que pueda decidir si la propuesta de inversión analizada puede realizarse o si debe rechazarse. El VPN es un indicador financiero de importancia relevante para la toma de decisiones, sus criterios de decisión son los siguientes:

Si VPN es positivo, se acepta el proyecto.

Si VPN es igual a cero, es indiferente realizar o no el proyecto.

Si VPN es negativo, se rechaza el proyecto.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se define como aquella tasa de descuento (i) a la cual se iguala el valor presente neto de los flujos de caja generados por un proyecto y la inversión inicial (I_0) utilizada en el proyecto; es decir, es la tasa de descuento que reduce a cero el VPN. La ecuación de este indicador es^[7]:

$$\sum_{n=1}^N \frac{S_n}{(1+R)^n} - I_0 = 0$$

Donde:

R denota la TIR.

Una alternativa de cálculo de esta tasa es mediante *ensayo y error*. El procedimiento sugerido es el siguiente:

Dado el flujo de dinero neto al final de cada año y la inversión inicial (I_0), se selecciona una tasa de descuento aleatoria y se calcula el VPN del proyecto con la ecuación anterior. Si el VPN es positivo, implica seleccionar una tasa de descuento mayor y se calcula nuevamente el VPN. Si éste es negativo, se toma una nueva tasa de descuento, pero ésta será mayor que la seleccionada primero y menor que la segunda seleccionada después. Enseguida se procede a calcular el VPN y cuando su valor sea muy cercano a cero, se termina el cálculo y la tasa de descuento será igual a la TIR del proyecto.



Criterios de decisión

La TIR de un proyecto se fija independientemente de la tasa de descuento. Así, las reglas de decisión de la TIR deben tener en cuenta una tasa de descuento mínima requerida que llamamos i , implícitamente.

Si R es mayor que i , se acepta el proyecto.

Si R es menor que i , se rechaza el proyecto.

Además, se ignora la posibilidad de que $R=i$, en cuyo caso la firma será indiferente al proyecto.

Índice de Rentabilidad

Esta es una variable muy común del indicador del VPN. Se define como el valor presente del proyecto dividido por sus gastos iniciales, esto es^[7]:

$$\text{INDICE DE RENTABILIDAD} = \frac{\text{Valor presente neto}}{\text{Inversión inicial}} = \frac{VPN}{I_0}$$

Al utilizar este indicador, se aceptará el proyecto si el índice es mayor que 1, y no se aceptará si es menor que 1.



Resultados

Ahora bien, los resultados obtenidos, mediante el empleo de hoja de cálculo, de los indicadores financieros arriba mencionados para determinar la rentabilidad económica inherente al proyecto de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos se enuncian a continuación:

Tabla 18. Indicadores y recursos financieros evaluados

Periodo de construcción	6 meses
Horizonte del Proyecto	20 años
Tasa de Interés Anual	12.00%
Capital de Trabajo	
Capital de Trabajo	73,591 US\$
Inversión Total	1,839,778 US\$
Valor Presente Neto	319,441 US\$
Valor Presente de la Inversión	-1,849,404 US\$
Índice de Rentabilidad (VPN / VPI)	0.17
Tasa Interna de Retorno	14.64%
Periodo de Recuperación de la Inversión	13 Años

El diagnóstico financiero muestra que invertir actualmente en la implementación de la planta de recuperación de materiales en la Ciudad Universitaria es viable económicamente, debido a que el valor presente neto (VPN) de la inversión es mayor que cero, lo cual indica que el beneficio por aprovechar algunos subproductos es mucho mayor que el costo por disponer los residuos y no aprovecharlos. Así mismo, la tasa interna de retorno (TIR) obtenida es mayor a la tasa de descuento cuyo valor del 12% corresponde al pago mínimo que se pidió originalmente al proyecto; sin embargo, el índice de rentabilidad (IR) es sólo del 0.17, lo que representa una relación muy baja entre el valor presente neto y la inversión total, indicando que la ejecución del proyecto puede ser muy riesgosa si se altera alguna de nuestras premisas económicas indicadas anteriormente.



El tiempo de retorno de la inversión es mayor a diez años respecto a un proyecto de 20 años de vida, lo que representa, en términos económicos una inversión poco interesante, ya que para la mayoría de los posibles inversionistas es un tiempo demasiado largo para el retorno de la inversión.

Por otro lado, es evidente que este tipo de proyectos tienen muchos beneficios adicionales al económico, tales beneficios son los sociales y ambientales principalmente, aunque existen otras externalidades positivas como el beneficio asociado a microempresas dedicadas al reciclado de materiales, la creación de empleos indirectos alrededor de este proyecto y un beneficios por el incremento en el consumo de material aprovechable.

Análisis de sensibilidad

Después de realizar la evaluación de los principales indicadores financieros, es importante percatarse de las implicaciones inherentes a la inversión. Para ello es recomendable llevar a cabo un análisis de sensibilidad que permita conocer la evolución financiera del proyecto ante cambios en sus diversas variables económicas y decidir la estrategia para minimizar los posibles riesgos.

En la realización de un análisis de sensibilidad se requiere plantear un caso base, el más probable. Posteriormente se inducen cambios en las variables económicas y financieras más representativas, observando las desviaciones respecto del caso base, las cuales deben tener una probabilidad razonable de cumplimiento para tomar una adecuada decisión.

El análisis particular de sensibilidad fue realizado considerando como variable financiera y caso base al VPN, mientras que la *inversión, el tiempo de construcción, los costos de operación, los beneficios y los insumos* fueron considerados como las variables económicas más representativas que al ser modificadas pueden afectar la rentabilidad del proyecto. Dos escenarios fueron propuestos para evaluar el comportamiento de tales variables. Primeramente se planteó un incremento del 20% (valor dado aleatoriamente) sobre las variables



económicas, observando la variación del VPN proveniente de la evaluación financiera original. La

Tabla 19 condensa los resultados obtenidos para este escenario, donde se observa que la ejecución del proyecto es muy sensible a las variables críticas: inversión, beneficios y ventas. Es decir, si hay un incremento del 20% en el costo de la inversión el VPN adquiere valores negativos incurriéndose en pérdida si se lleva a cabo el proyecto. Asimismo, si se origina una disminución del 20% en los beneficios ligados al proyecto de inversión, el VPN tiene una cuantía negativa y la TIR se ubica por debajo de la tasa mínima requerida; así que, en situaciones como ésta conviene continuar confinando los residuos y no ejecutar el proyecto. Por otra parte, incrementar hasta en un 20% el tiempo de construcción, los costos de operación y el precio de los insumos principales, no representa un impacto negativo considerable para la inversión de la PRM, ya que hace positivo el valor del VPN y la TIR se mantiene por encima de la tasa mínima solicitada. En la figura 22 se presenta un panorama gráfico del comportamiento de la variable financiera VPN susceptible a un incremento o disminución del 1 al 20% en alguna de las variables económicas consideradas, observándose que la línea correspondiente a la inversión presenta una pendiente negativa, es decir, el VPN decrece drásticamente si se aumentan los costos de la inversión. Por otra parte, si disminuyen los beneficios tan solo en un 5%, el VPN disminuye marcadamente alrededor de un 50%, lo que demuestra la inestabilidad del proyecto de inversión con esta variable. Para las líneas de las variables económicas restantes, el intervalo de incremento propuesto no provoca reacciones determinantes en el valor del VPN, puesto que sus pendientes no presentan inclinación de gran magnitud.



Tabla 19. Cambio de las variables económicas con respecto al caso base

	VPN	TIR	Δ VPN	Δ TIR
	USD	%	USD	%
Caso base	319,441	14.64%	0	0.00%
<i>Incremento del 20 % en el costo de la inversión</i>	<i>-49,001</i>	<i>11.65%</i>	<i>368,442</i>	<i>2.99%</i>
Incremento del 20 % en el lapso de construcción	305,910	14.53%	13,531	0.11%
Incremento de 20% en costos de operación y mantenimiento.	165,767	13.39%	153,674	1.25%
<i>Disminución de 20% en beneficios y ventas</i>	<i>-357,907</i>	<i>8.84%</i>	<i>677,348</i>	<i>5.80%</i>
Incremento de 20% Precio de insumos	244,394	14.03%	75,047	0.61%

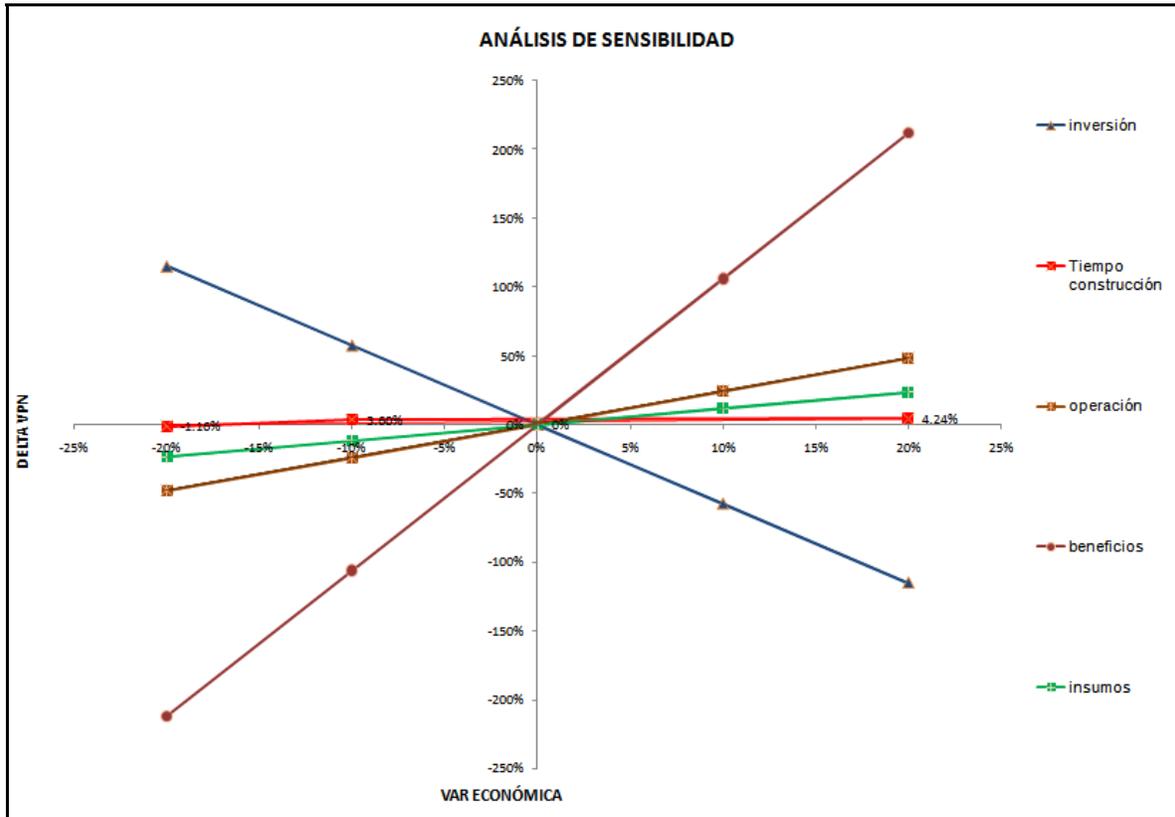


Figura 22. Análisis de sensibilidad proyecto de recuperación de RSU



El segundo escenario planteado corresponde a determinar el valor de las variables económicas que hagan al VPN igual a cero, es decir, encontrar el valor máximo de rentabilidad del proyecto, tal y como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Cambio de la variable económica para hacer el VPN igual a cero

Variable económica	%
<i>Incremento en el costo de la inversión</i>	16.40%
Incremento en el tiempo de construcción	mayor al 100%
Incremento en costos de operación y mantenimiento.	mayor al 100%
<i>Disminución en beneficios y ventas</i>	9.40%
Incremento de Precio de insumos	mayor al 100%

Los resultados de este segundo escenario indican que la inversión neta no debe exceder más allá del 16% dado que si esto ocurre se tienen que buscar otras alternativas de solución para el problema de los RSU de la Ciudad Universitaria. De la misma manera, la máxima disminución en los beneficios que puede aceptarse es no más del 9%. Como se ha mencionado con anterioridad, el resto de las variables económicas evaluadas pueden tener un incremento mayor al 100% y el proyecto de recuperación de RSU sigue siendo económicamente viable.

Medidas para minimizar las adversidades en la rentabilidad del proyecto

Como se ha demostrado existen al menos dos variables económicas principales que al sufrir modificación alguna pueden afectar la rentabilidad del proyecto: *inversión* y *beneficios*. Por esta razón se tiene la necesidad de implementar estrategias, como se muestra en la Tabla 21, que minimicen ciertos riesgos al invertir en este proyecto si por alguna razón se ven afectadas tales variables.



Tabla 21. Posibles estrategias a implementar para minimizar los riesgos de inversión

VAR ECONÓMICA	ACCIONES
Inversión	<ul style="list-style-type: none">• Garantizar que la inversión neta se va a mantener fija durante un periodo de tiempo considerable, dado que este es un proyecto del tipo IPC.
Beneficios	<ul style="list-style-type: none">• Se tiene que garantizar que los precios de venta del material separado no van a presentar variaciones considerables que afecten negativamente a la inversión neta. Asimismo, se debe garantizar el suministro mínimo de las 16 toneladas de materia prima diariamente.• Se tiene que lograr la mayor recuperación posible de material aprovechable, desde la fuente hasta la PRM, dado que esto garantiza un incremento en los beneficios y por lo tanto, aumenta la rentabilidad del proyecto. Principalmente se sugiere la implementación e impulso a programas de separación y recuperación de papel, cartón y metales dentro de las dependencias del campus universitario, dado que estos materiales son los más representativos dentro de los beneficios.
Otras variables	<ul style="list-style-type: none">• Los insumos principales y el tiempo de construcción de la PRM no afectan a la inversión neta notablemente; no obstante lo anterior, se debe asegurar que los costos de operación no tendrán incrementos considerables que afecten a la ejecución del proyecto.



Riesgos en el proyecto de inversión

La guía para la gestión de proyectos Project Management Body of Knowledge, define al *riesgo del proyecto* como un evento o condición inciertos que, si ocurriera, tiene un efecto positivo o bien uno negativo en un objetivo del proyecto. Es el efecto acumulativo de cambios en la incertidumbre de ocurrencia que afecta adversamente a los objetivos del proyecto. El riesgo del proyecto incluye tanto las amenazas para con los objetivos del mismo como las oportunidades para mejorar aquellos objetivos. Esto tiene su origen en la incertidumbre que tienen incorporadas todos los proyectos. Los riesgos conocidos son aquellos que han sido identificados y analizados, y para los que puede ser posible contar con un plan de mitigación. Los riesgos desconocidos no se pueden controlar, pero se pueden abordar. La *identificación del riesgo* determina qué riesgos tienen probabilidad de afectar el proyecto y documentar sus características.

En este apartado se realizará un análisis cualitativo de los riesgos identificados que puedan afectar este proyecto, evaluando su impacto y su probabilidad de ocurrencia. Para ello, se utilizará una matriz de ponderación de probabilidad/impacto del riesgo como herramienta de evaluación, donde se asigne un valor a los riesgos (bajo, medio y alto) sobre la base de combinar escalas de probabilidad e impacto. La evaluación de la probabilidad puede ser difícil dado que utiliza el juicio experto del evaluador. Se puede utilizar una escala ordinal, que represente valores de probabilidad relativa desde muy probable a casi cierto. La escala del impacto del riesgo refleja la gravedad de su efecto en el objetivo del proyecto. Su escala son simplemente valores ordenados por rangos: muy bajo, moderado, alto y muy alto.

La Figura 23 es una gráfica que permite evaluar el riesgo del proyecto cualitativamente y, por ende, ponderar la probabilidad de ocurrencia del mismo. En los ejes del mencionado gráfico se ubican los parámetros que determinarán el valor del riesgo: el impacto, la tolerancia y la probabilidad; cuyas escalas presentan valores por rango bajo-alto. Para determinar el valor del riesgo se hace



una pregunta común a cada uno de los parámetros mencionados (marcador), se desplaza a lo largo de cada uno de los ejes de acuerdo a la respuesta dada y se determina el valor del riesgo de acuerdo a la región de ocurrencia (identificada por los colores rojo, verde y azul).

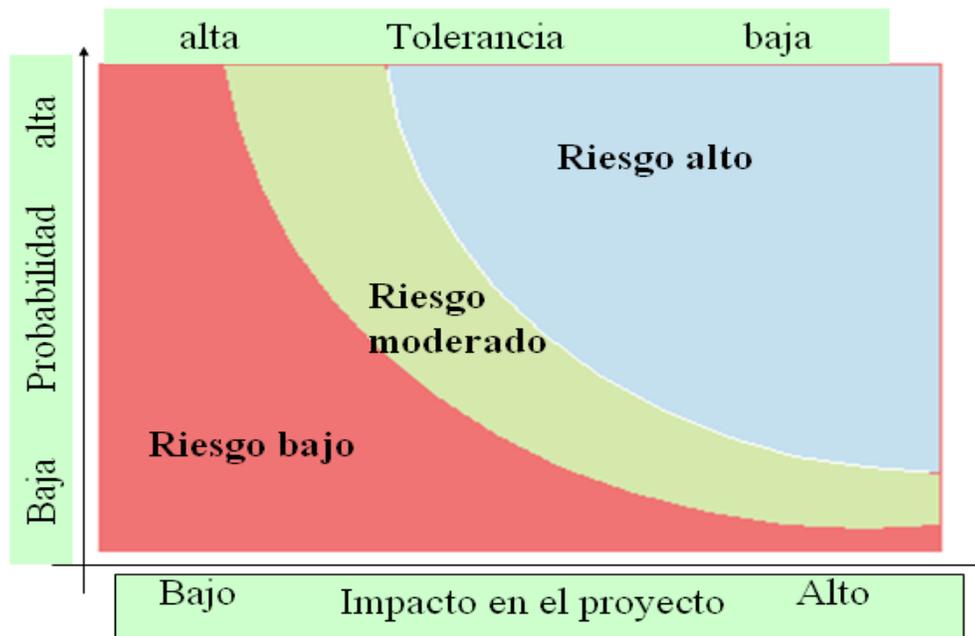


Figura 23. Gráfica para determinar el valor del riesgo, considerando los parámetros: probabilidad, impacto y tolerancia (Fuente: Elaboración propia a partir de la guía Project Management Body of Knowledge)

Resultados de la evaluación de los riesgos del proyecto

A continuación se muestra una matriz resumen que condensa los tipos de riesgo más potenciales que puedan afectar al proyecto, su valor y su probabilidad de ocurrencia. La evaluación cualitativa de los mismos se realizó considerando un horizonte de 13 años que corresponde al tiempo de retorno de la inversión, ya que es un periodo de tiempo considerable y puede haber muchas repercusiones adversas sobre el proyecto. Los tipos de riesgos citados en la matriz, identificados y evaluados para este proyecto, presentan un impacto alto con una probabilidad de ocurrencia baja-media. Además se encontró que el riesgo legal no funge como tal, sino que representa una oportunidad para mejorar los objetivos del proyecto.



Tipo de riesgo	Indicadores	Impacto		Probabilidad		Valor del riesgo		
		Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Medio	Alto
Tecnológico	Obsolescencia, fallas técnicas		■	■			■	
Político	Restricciones por reglamentos internos		■	■		■		
Legal	Leyes y reglamentos, grupos ecologistas	Oportunidad						
Económico	Demanda de productos o servicios (beneficios), contratos UNAM y empresas comercializadoras.		■		■			■
Riesgo cambiario	Paridad peso/dólar		■	■		■		
Materias primas	Disponibilidad y productividad, presencia de pepenadores.		■	■		■		
Financiero	Respaldo de asignación de recursos presupuestales de la UNAM.		■	■		■		

Figura 24. Matriz de evaluación de riesgos del proyecto de inversión



6.4 FACTIBILIDAD SOCIAL

La evaluación social tiene como finalidad la detección de las ventajas e inconvenientes asociados a la implementación del Plan de Manejo Integral de RSU dentro del campus universitario, visualizando para este fin aquellos aspectos que puedan interferir con el manejo de los mismos, desde su recolección hasta su reincorporación como materia prima.

La información recopilada durante los reconocimientos en campo y de las entrevistas con las autoridades competentes, derivó en la obtención de datos que permitieran obtener un panorama de las posibles problemáticas sociales en el manejo de los RSU en función de:

- Fuentes generadoras
- Recolectores
- Características del sitio de disposición final
- Sistemas y prácticas de transporte

La implementación del plan requiere para su éxito de un interés comunitario, proceso en el que se pretende estén activamente involucrados cada individuo que forme parte de un sector universitario y aquellos que hacen uso de las instalaciones del campus para fines recreativos. Como es reconocido, para que un proyecto de esta índole sea socialmente aceptable por las fuentes generadoras requiere de cierto tiempo, durante el cual paulatinamente incorporen en sus conductas la separación adecuada de los residuos previa a su disposición específica siguiendo pautas determinadas, la minimización continua de los mismos, el conocimiento y acatamiento de marcos normativos que puedan surgir para regular el sistema a implementar, y el entendimiento de que se pueden aplicar sanciones como una respuesta a la trasgresión de tales normas (en caso extremo). Lo antedicho es aplicable para la totalidad de los que de una u otra forma están involucrados con la C.U. En el caso particular de los comerciantes y productores de bienes y servicios, una de las principales fuentes generadoras de



RSU dentro del campus, es necesario que actúen de manera responsable para disminuir la generación de residuos excesivos e innecesarios, reemplazando aquellos materiales de difícil reciclado por aquellos que sean más amigables con el ambiente; así como también participen colocando adecuadamente sus residuos en las artesas correspondientes para mejorar la calidad de los mismos y minimizar los costos de operación de la PRM con el simple hecho de llevar a la práctica hábitos como éste.

Otro actor primordial a considerar en este estudio son los *recolectores y personal a fin del sistema de limpia y transportes*, quienes tendrían que acatar y adaptarse al nuevo sistema de gestión integral de los residuos. Llevar a cabo este proyecto tiene como consecuencia una reestructuración de la infraestructura actual y de sus recursos humanos involucrados. Considerando que la planta laboral de la Universidad es sindicalizada, se tiene que ser cauteloso durante la ejecución del proyecto para evitar conflictos que se puedan derivar de dicha acción. Actualmente se desarrollan actividades de recuperación de ciertos materiales aprovechables en algunas dependencias de la UNAM, lo cual se recomienda seguir realizando como una actividad primordial dentro del plan a implementar, e incluso escalarlo en su totalidad a cada una de sus dependencias con la finalidad de tener un producto con mayor valor comercial. Aunado a esto están implícitos beneficios en el sistema de transporte y recolección, los cuales harían más atractivo y factible implementar dichas acciones. Por un lado los sitios conocidos como artesas se encontrarían más limpios, disminuyendo así los riesgos de afección para la salud tanto del personal de recolección como de la comunidad en general. También se minimizarían los tiempos muertos resultantes de prácticas irresponsables durante la recolección de los residuos favoreciendo con ello una disminución de las situaciones no deseadas a las que diariamente se ve expuesto el personal a cargo de esta actividad.

Un actor que es crítico de consideración en este estudio son los *pepenadores* que con gran frecuencia son vistos seleccionando materiales valorizables en las



instalaciones dispuestas para el almacenamiento de los RSU dentro del campus universitario para después comercializarlos. Este sector se extiende en todos los niveles de la sociedad y en forma creciente se deja manipular por el sector informal que no cuenta con un marco legal específico de aplicación a estas prácticas. Entre los pepenadores encontrados dentro de la Ciudad Universitaria se cuentan niños, ancianos y principalmente familias que no desean trabajar en empresas debido a que consiguen un ingreso mayor en la pepena del que podrían ganar en el sector formal. Esta actividad, aunque menospreciada por muchos, es importante para la sociedad, ya que evita que toneladas de RSU aumenten en los basureros, y suministra casi en su totalidad las materias primas que deben ser recicladas en las industrias de papel, plástico, aluminio, fierro y vidrio. Además de reducir costos de recolección y transporte derivados de la cantidad de RSU a manejar. Una vez conociendo esto, resulta difícil establecer una decisión sobre si permitir o no la presencia de pepenadores en el campus. Si se continúa con esta práctica tal y como se hace actualmente, la gestión integral de los RSU no sería del todo exitosa. Es decir, habría una minimización de los residuos enviados a la PRM pero más de aquél material en el cual se fundamenta la razón de ser de la misma, lo cual no sería muy viable. Por otro lado, se continuaría con las condiciones insalubres e inseguras que prevalecen tanto en los contenedores peatonales como en las artesas, debido al vaciado irresponsable de los mismos por los pepenadores en busca de material valorable y que al final de su búsqueda favorecen el mezclado indeseable de los residuos.

Una propuesta de mitigación para esta situación sería cuantificar el número de pepenadores presentes dentro del campus y organizar parte de este sector informal para ser empleado dentro de las actividades de selección en la PRM. Esto resultaría conveniente debido a que la cultura, en general, de la población obrera de la universidad está dirigida a un rechazo inminente para la realización de esta actividad, por lo que emplear a personas que inconscientemente conocen el tipo y características que debe cumplir el material a separar como son los



pepenadores sería una buena alternativa. Uno de los impactos positivos de la propuesta a implementar, sería la generación de aproximadamente 8 puestos de trabajo en la PRM, valorizando con ello el trabajo de los “recuperadores” al darles la posibilidad de integrarse a las actividades derivadas de la misma y brindarles la oportunidad de mejorar su calidad de vida.

Otro aspecto social positivo que justifica la ejecución de este proyecto es sin duda las retribuciones económicas que en su momento fuesen destinadas para la mejora de la infraestructura y servicios requeridos en el campus universitario; así como, para impulsar el desarrollo de actividades académicas, científicas, sociales, culturales y deportivas. Motivando con ello el espíritu de lucha constante característico de las personas que se forman dentro de nuestra Universidad.

Por último, es necesario hacer hincapié en que el presente proyecto es una propuesta con fines académicos, de investigación y de difusión. Dadas sus características, no sólo se espera tenga un impacto social interno, sino por lo que representa la universidad su impacto trascendería fronteras. Es decir, se pretende a que sea un modelo a seguir por cualquier entidad gracias a su responsabilidad y compromiso con la preservación del medio ambiente y mejora de la calidad de vida de las personas.



6.5 IMPACTO AMBIENTAL

Una evaluación de impacto ambiental es un conjunto de análisis técnico-científico, sistemático, interrelacionados entre sí, cuyo objetivo es la identificación y ponderación de los impactos significativos positivos y/o negativos, que pueden producir un conjunto de acciones de origen antropogénico sobre el ambiente físico, biológico y humano. Para la evaluación de impactos generados por cada actividad en las distintas etapas del proyecto, se consideró como marco de referencia la descripción general del mismo. A partir de dicha información se procedió a la identificación y evaluación de los impactos ambientales positivos y negativos que se generarán como consecuencia de la ejecución de cada una de las etapas. Asimismo, se destacaron las principales medidas de mitigación que permitan reducir al mínimo los impactos ambientales negativos, de tal forma que el proyecto cumpla con lo establecido en la normatividad ambiental nacional vigente que aplique.

Para la construcción de la PRM se propone utilizar parte de las instalaciones de la Planta de Composta de la UNAM, en la Figura 25 se presenta su ubicación en el plano, localizada geográficamente en 19°18'35" Norte y 99°11'07" Oeste.



Figura 25. Posible ubicación de la PRM

La zona del terreno cuenta con los servicios: suministro de agua potable, energía eléctrica, drenaje, línea telefónica.

En este trabajo, la cuantificación de los impactos ambientales es realizada mediante la aplicación y adecuación de la técnica matricial de *Leopold (1971)*, acorde a las condiciones ambientales del sitio, a las actividades del proceso y a las áreas susceptibles de sufrir efectos ambientales. Para la valorización del impacto se consideraron cuatro valores de importancia, donde el de mayor magnitud representa una destrucción total o muy alta del factor en el área en el que se produce el efecto: (1) importancia baja, (2) media, (3) alta y (4) muy alta. Asimismo, la naturaleza del impacto fue considerada benéfico (+) o adverso (-) para determinar las alteraciones sobre el ambiente. El desarrollo, análisis y uso de esta matriz de interacción proyecto-ambiente facilita el manejo de las acciones de la obra con respecto a los diferentes componentes ambientales del sitio del proyecto, identificando adecuadamente las interacciones resultantes y por lo tanto,



determinar cualitativa y cuantitativamente los impactos ambientales significativos mediante un análisis de tales interacciones. En el anexo B se incluye la matriz de Leopold que resultó de la identificación y evaluación de los impactos ambientales de este proyecto.

Resultados de la evaluación

En este apartado se hace un resumen y explicación de los impactos más significativos de la matriz de Leopold del anexo B.

ETAPA DE PREPARACIÓN DEL SITIO

Factores ambientales afectados	Actividades	Impactos	
		(-)	(+)
Aire	Desmante y despalme Trazo, nivelación y excavación; transporte de material, equipo y personal; relleno y compactación; generación de residuos; funcionamiento de maquinaria y equipo.	5	0
Suelo		6	0
Agua		0	0
Ruido		4	0
Vegetación		4	0
Paisaje		4	0
Residuos		1	0
Socioeconómicos		0	1

Repercusiones:

Los impactos adversos y benéficos que se generarán en esta etapa son de importancia baja, de alcance puntual y parcial, con una persistencia instantánea y temporal, afectándose sólo permanentemente el suelo y vegetación.

Aire

Los impactos al aire sólo afectarán a la calidad y visibilidad de éste por el aumento de partículas suspendidas en el aire al momento de la remoción de la vegetación, la reubicación de las pilas de composteo, el relleno y compactación y por los



gases de la maquinaria utilizada, pero de una importancia baja. La duración de las acciones será de manera instantánea ya que la generación de los gases contaminantes será solamente durante la realización de las actividades de preparación del sitio, puesto que al finalizar éstas la calidad del aire volverá a su estado original, por lo que se considera que este factor ambiental afectado es reversible a corto plazo, ya que tiene la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales en un plazo corto. El alcance de estos impactos será puntual y parcial, ya que la generación de las partículas contaminantes será dentro del sitio asignado para la construcción de la nueva planta de recuperación de materiales y en las colindancias de éste.

Ruido

Se alterarán los niveles sonoros habituales debido a las actividades que se llevarán a cabo en esta etapa, causando molestias auditivas a los trabajadores del proyecto y a las zonas colindantes a la obra. Sin embargo, la persistencia de los impactos será instantánea, puesto que cuando se concluyan las actividades de esta etapa, el ruido regresará a su nivel normal.

Suelo

Los impactos que se generarán sobre este factor, serán de importancia baja ya que el lugar donde se llevarán a cabo las actividades, ya ha sido impactado anteriormente por ser parte de una reserva ecológica y el área nueva a afectarse será de una superficie menor. Sin embargo la persistencia de estos impactos será permanente e irreversible. Dichos impactos se producirán por la alteración total del suelo al remover una parte de la vegetación del sitio, al realizar los movimientos de tierra para posteriormente rellenarse y compactarse, alterando sus características físicas, químicas y biológicas. El alcance de estos impactos será puntual ya que los efectos de éstos sólo se manifestarán dentro del sitio de obra.



Vegetación

Las áreas verdes en donde se llevarán a cabo las actividades de preparación del sitio se retirarán por completo afectando de manera permanente e irreversible. Sin embargo, su importancia es baja debido a que la zona donde se afectará ya ha sido impactada anteriormente y el área requerida para la instalación de la PRM no es de gran magnitud, teniendo un alcance puntual ya que sólo se afectará dentro del sitio de construcción. Dichos impactos se producirán por la remoción total de la vegetación en el sitio del proyecto durante el desmonte y despalme.

Paisaje

Dado que las obras se realizarán dentro de un área circundante a la reserva ecológica de la Ciudad Universitaria, parte del paisaje se verá afectado permanentemente. Aunque con aplicación de la ingeniería y arquitectura, se puede lograr una estética de la obra en equilibrio con sus alrededores.

Residuos

Este factor será afectado por la generación de residuos sólidos vegetales y de construcción principalmente, originados por las tareas de acondicionamiento del sitio. Los impactos son de baja importancia, puntuales y de carácter instantáneo, de esta manera no se generan situaciones de riesgo ambiental y los impactos son reversibles si se aplican las medidas de mitigación adecuadas.



ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Factores ambientales afectados	Actividades	Impactos	
		(-)	(+)
Aire	Traslado de materiales, equipo y personal; trazo, nivelación y excavación, construcción de nave industrial, bodegas y oficinas provisionales, instalaciones hidráulicas y eléctricas; funcionamiento de maquinaria y equipo.	4	0
Suelo		3	0
Agua		1	0
Ruido		5	0
Vegetación		4	0
Paisaje		3	0
Residuos		4	0
Socioeconómicos		0	1

Repercusiones:

Durante esta etapa se generarán impactos de naturaleza adversa principalmente, cuya importancia será baja y media, de alcance puntual y parcial, con una persistencia instantánea, temporal y permanente.

Aire

En esta etapa se podrán generarán tolveneras por el aumento de partículas suspendidas en el aire al momento de la excavación, del transporte de materiales y recursos, y por las emisiones contaminantes de la maquinaria, afectando así la calidad y la visibilidad del aire. El alcance de los impactos es puntual y parcial, es decir afectan dentro del sitio de obra y en sus colindancias, la importancia de estos efectos es baja y su persistencia es instantánea.



Ruido

Los niveles de ruido aumentarán, ocasionando afectaciones auditivas dentro del sitio de obra y de sus colindancias. Sin embargo, estos impactos tendrán una persistencia instantánea y temporal, ya que cesarán en el momento en que finalicen las actividades de construcción.

Suelo

Durante las actividades de excavación, relleno y cimentación, pavimentación y tendido de concreto, se generarán impactos de baja importancia, pero permanentes e irreversibles, ya que el tendido del concreto impedirá la posibilidad de que el suelo regrese a su uso inicial, tomándose en cuenta que el terreno ya ha sido impactado por las anteriores obras que conforman la actual planta de composta, por lo que su importancia es baja. Asimismo los impactos por la generación de residuos sólidos y de aguas residuales, así como del almacenamiento de materiales y de servicios al personal, serán temporales, mientras duren estas actividades, generándose sólo dentro del sitio de construcción.

Agua

Este factor ambiental se verá afectado por la generación de aguas residuales producidas por las obras y por los servicios al personal. Sin embargo su importancia es baja y sólo tendrá una duración temporal, repercutiendo únicamente de manera puntual.

Paisaje

Este factor será afectado con una importancia media en las cualidades estéticas del paisaje debido a que se sustituirá una mínima parte de las áreas verdes presentes, por obras civiles. Sin embargo, las actividades de almacenamiento de materiales y servicios al personal sólo tendrán una duración temporal, con un alcance puntual dentro del sitio de obra, cesando una vez que terminen las actividades de construcción.



Residuos

Las actividades de construcción implican la generación de residuos sólidos no peligrosos. Los impactos que se generarán serán de baja importancia, puntuales e instantáneos, por lo que su reversibilidad es a corto plazo.

ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Factores ambientales afectados	Actividades	Impactos	
		(-)	(+)
Aire	Almacenamiento de materiales, equipo y herramienta; operación de maquinaria y equipo; generación de residuos; transporte de materia prima y producto terminado; fuentes de empleo.	1	0
Suelo		0	0
Agua		0	0
Ruido		1	0
Vegetación		0	0
Paisaje		0	1
Residuos		0	1
Socioeconómicos		0	1

Repercusiones:

En esta etapa, se generarán más impactos benéficos que adversos, en materia de residuos sólidos, debido al mejor tratamiento, reuso y reciclaje de la basura urbana generada dentro del campus universitario. No obstante durante la operación y mantenimiento de PRM se generarán impactos negativos, pero estos serán de importancia baja, con un alcance puntual y de permanencia instantánea. En cuanto a los impactos positivos estos serán en su mayoría permanentes, con un alcance puntual, parcial y extenso.



Ruido

La importancia de afectación en este factor será media, con un alcance puntual y parcial y con una persistencia permanente, debido a la operación de todos los equipos que integran la PRM.

Agua

Ésta se verá afectada por la generación de agua residual proveniente del proceso de selección de residuos; sin embargo, el impacto será puntual y parcial si se emplea un correcto programa de tratamiento.

Residuos

En principio no se generarán residuos puesto que el objetivo de esta planta es reincorporarlos a proceso productivos, por lo que este factor será afectado de manera positiva. Sin embargo, se deben tener las precauciones pertinentes para evitar la generación de vectores y asegurar que el impacto que eventualmente se genere sea de baja importancia, con un alcance puntual e instantáneo.



Medidas de Prevención y Mitigación de Impactos

En este apartado se sugieren algunas acciones de prevención y mitigación a llevar a cabo para minimizar los impactos adversos ocasionados sobre cada uno de los factores ambientales durante la ejecución de las diferentes etapas del proyecto (preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento), las cuales se indican a continuación.

Aire

Para evitar que ocurra una dispersión de partículas de polvo a la atmósfera durante la etapa de construcción y acondicionamiento del sitio, se deberá mantener húmedos los caminos de comunicación por donde circulen los vehículos y camiones que estén encargados de la transportación de los materiales, utilizando agua tratada. Sin en cambio, durante la etapa de operación de la PRM se deberán implementar dispositivos especializados para controlar la emisión de partículas dentro y fuera de la misma, por ejemplo, utilizar equipo ciclónico y filtros de partículas.

Ruido

Los tiempos de exposición a los niveles de ruido por parte de los trabajadores encargados de la operación y mantenimiento, así como de los equipos en las instalaciones, deberán ajustarse a lo establecido en las normas correspondientes, evitando la emisión de ruido por arriba de los límites máximos permisibles.

Suelo y residuos sólidos

Los residuos sólidos rechazados se dispondrán de acuerdo al Reglamento de Residuos Sólidos del Distrito Federal. En consecuencia deberán ser tratados y dispuestos, conforme a la normatividad existente que aplique.

Agua

No se prevé la afectación de este recurso como parte de las actividades de construcción, operación y mantenimiento de la nueva planta de recuperación de materiales, debido a que el agua residual que se generé será enviada al sistema de tratamiento de la Ciudad Universitaria, para su posterior reutilización.



En términos generales, durante las etapas preliminares el proyecto tendrá un efecto ambientalmente negativo dentro del campus universitario en el terreno dispuesto; sin embargo, dicho impacto es temporal. Durante la etapa de operación el efecto será positivo y definitivo con problemas de impacto mitigables. El impacto ambiental positivo de la implementación de esta planta se traduce principalmente en una disminución en el flujo de RSU enviado a la unidad de transferencia y por lo tanto al sitio de disposición final de la Ciudad de México.



7 CONCLUSIONES

Con base en la información recopilada durante los trabajos de campo se logró mostrar un panorama general del manejo de los RSU dentro del campus universitario, encontrándose que los puntos críticos en la logística de manejo son las etapas de almacenamiento y recolección de los residuos. También se determinó la línea base de la máxima cantidad de generación de RSU dentro del campus universitario que corresponde a 16 toneladas diarias. Conociendo su composición se identificó el potencial de aprovechamiento y recuperación de los mismos ya que están conformados principalmente por un 31% de residuos orgánicos y un 69% de residuos inorgánicos, los cuales en su mayoría son susceptibles de reciclarse.

Se elaboró una propuesta con base en los principios de sustentabilidad de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos (GIRS), entre los cuales se favorece la estrategia de las 3R's: Reducir, Reutilizar y Reciclar. Se propone una reducción en la generación de RSU desde su origen y se identifica indispensable que la comunidad universitaria adquiera el hábito de reutilizar al máximo antes de desechar los productos y, una vez generados los RSU, deberán ejecutarse acciones de completo reciclaje.

El Plan de Manejo Integral de RSU a aplicar dentro del campus universitario consiste en establecer programas de educación en materia de residuos para minimizar su generación. Paralelamente se propone llevar a cabo acciones de mejora en la logística actual del sistema de recolección, que conlleven a beneficios como aumento del tiempo de vida útil del parque vehicular, ahorros de combustible por la minimización de los tiempos de operación, reubicación de puntos estratégicos de disposición de residuos, mejora de la calidad de los residuos que facilite su tratamiento posterior, entre otros. Asimismo, considera la creación de un espacio cultural, un centro medioambiental conformado por la actual planta de composta, un edificio destinado a tareas de divulgación y la futura PRM. La construcción de esta planta es una respuesta a la valorización de los residuos



sólidos urbanos, al ser una etapa intermedia entre su recolección y disposición final se logra aprovechar gran parte de aquella fracción considerada como rechazo, generando múltiples impactos positivos. La implementación de este complejo medioambiental servirá para la puesta en marcha de programas educativos y de divulgación en el campo de la generación de residuos de una ciudad, dirigidos a todo tipo de público, que incluyan diversas actividades como recorridos con contenidos funcionales, investigación, desarrollo e incorporación de recursos humanos y tecnológicos. Asimismo, ofrecerá a los visitantes una visión general del medio ambiente urbano, sus problemas y soluciones, las infraestructuras ambientales que mejoran la calidad de vida en una ciudad y los sistemas de gestión de los residuos que preserven los valores ambientales fomentando el respeto por el medio ambiente entre los ciudadanos.

De la evaluación técnica se concluye que la implementación de tecnología cuyo proceso manual-mecánico es eficiente en la selección de los RSU, debe cumplir con un factor de recuperación no menor al 80% para lograr un total de 4,620 toneladas de subproductos recuperados anualmente, haciendo que el proyecto sea factible técnica y económicamente.

De los resultados obtenidos de la evaluación económico-financiera para la propuesta conceptual de el manejo de RSU se concluye que de implementarse la tecnología propuesta la inversión neta ascendería a US\$1,839,778, siendo apenas autosustentable la PRM según los indicadores financieros determinados. Para este proyecto en particular, se obtuvo una TIR del 14.64% con un VPN positivo, con lo cual se justifica su viabilidad económica si se ejecuta. Sin embargo, el tiempo de retorno de la inversión es de 13 años, período muy prolongado que hace, en términos económicos, riesgosa a la inversión. También se determinó que este proyecto es muy sensible principalmente a dos variables económicas: al incremento en la inversión y a la disminución de los beneficios, por lo que deben implementarse ciertas medidas que minimicen los riesgos de la inversión.



Desde el punto de vista social se encontró que este proyecto representa una posible fuente de empleos con adecuadas condiciones laborales, una mejora en la calidad de vida de los actores involucrados por la disminución de problemas asociados al manejo inadecuado de los RSU, una mejora en la salud pública por la disminución de vectores infecciosos relacionados con los RSU, un mejoramiento de la imagen urbana y estética de la universidad haciéndola socialmente aceptable. Por otra parte, el impacto ambiental se verá reflejado en una reducción significativa del volumen de RSU enviados a la unidad de transferencia y por ende, al sitio de disposición final. Asimismo, habrá una disminución de terrenos y áreas contaminadas debido al manejo inadecuado de los RSU. Sin duda alguna, además de los impactos positivos antes mencionados, el ámbito académico y científico universitario se verá igualmente beneficiado, dado que se pueden formar recursos humanos como profesionistas en el tema, se podrá utilizar a la PRM como una planta piloto a la cual se le pueden implementar desarrollos tecnológicos para su posterior aplicación en plantas de mayor capacidad y, finalmente elaborar publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales en tema de factibilidad técnica y económica para la implementación de planes de manejo de RSU.

Con todo lo anterior expuesto se puede concluir que la propuesta de implementar un plan de manejo integral de los RSU dentro del campus universitario es ambientalmente conveniente, técnicamente viable, económicamente factible y socialmente aceptable.

Como experiencia personal, puedo mencionar que al desarrollar este proyecto de investigación me di cuenta de la versatilidad de la carrera de ingeniería química, es decir, no sólo son complejos industriales como una refinería o una petroquímica, sino que también hay un mundo de oportunidades aún sin explorar y explotar dentro del campo ambiental, el cual está ávido de propuestas y respuestas inmediatas encaminadas a la minimización de daños al medio ambiente provocados por la irresponsabilidad del ser humano.



8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] AGUILAR-Rodríguez, E. 2007. *Diseño de Procesos en Ingeniería Química*. Ediciones IMP/IPN. México, D.F.
- [2] AHUJA, H.N. et.al. 1989. *Ingeniería de Costos y Administración de Proyectos*. Ed. Ediciones Alfaomega. México, D.F.
- [3] ANAYA-Durand, A. et.al. 2008. *Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina*. Rev. IMIQ. 23(1):31-39. México, D.F.
- [4] BACA-Urbina, G. 1999. *Fundamentos de Ingeniería Económica*. Ed. McGraw-Hill, México, D.F.
- [5] BLANCO-Sánchez, P. H. 2008. *Producción de Gas de Síntesis por Medio de la Tecnología de Gasificación por Arco de Plasma Térmico a partir de Residuos Sólidos Urbanos*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química. Facultad de Química, UNAM. México, D.F.
- [6] BRAVO, H. 1982. *Manejo de desechos sólidos en Ciudad Universitaria*. Reporte de investigación. Departamento de Contaminación Ambiental. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México, D.F.
- [7] CICERI-Silvenses, H. N. 2009. *Decisiones de Inversión en Plantas Químicas. Modelos y Criterios*. Facultad de Química, UNAM. México, D.F.
- [8] Comunicación oral con la Directora del Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA) de Ciudad Universitaria. UNAM, 2008. México, D.F.
- [9] Comunicación oral con el Coordinador de Servicios Urbanos en la Dirección General de Obras y Conservación (DGO) de Ciudad Universitaria. UNAM, 2008. México, D.F.
- [10] Comunicación oral con el Jefe de Planta de Composta de Ciudad Universitaria. UNAM, 2008. México, D.F.
- [11] CYMA (Programa de Competitividad y Medio Ambiente), 2007. *Manual para la Elaboración de Planes Municipales de Gestión de Residuos Sólidos en Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- [12] FEMISCA (2008). Apuntes del curso: *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. México, D.F., Julio 2008.
- [13] FORREST, D.C. et.al.1978. *Applied Cost Engineering*. Ed. Marcel Dekker Inc., E.E.U.U.
- [14] GTZ. 2003. *La Basura en el Limbo: Desempeño de gobiernos locales y participación privada en el manejo de los residuos sólidos*. México, D.F.
- [15] HERNÁNDEZ-Fernández, C. 2007. *Manejo de residuos sólidos en Ciudad Universitaria, México, D.F.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- [16] Instituto de Gestión de Proyectos. 2000. *Guía Fundamental para la Gestión de Proyectos (PMBOK® GUIDE)*. Pennsylvania, E.E.U.U.
- [17] JIMÉNEZ-Cisneros, B.E. 2001. *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Ed. Limusa, México, D.F.



-
- [18] KOKUSAI KOGYO CO., LTD. 1999. *Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos*. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). México, D.F.
- [19] Ley del Impuesto sobre la Renta. Diario Oficial de la Federación 31.12.2008. México.
- [20] LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente). Diario Oficial de la Federación 28.01.1988. México.
- [21] LGPGIR (Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos). Diario Oficial de la Federación 08.12.2003. México.
- [22] LRSDF (ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF)). Gaceta Oficial del Distrito Federal 22.04.2003. México.
- [23] LUNA, B. 1971. *A procedure for evaluating environmental impacts*. US Geological Survey Circular 645, Department of Interior.
- [24] NACIONES UNIDAS, 1998. *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- [25] NOM-083-SEMARNAT-2003. *Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*. Diario Oficial de la Federación. México.
- [26] PETERS, M.S. et.al. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineer*. 4a ed. Ed. McGraw-Hill, E.E.U.U.
- [27] Programa Universitario del Medio Ambiente, 2006. *Estudio de Generación de Residuos Sólidos en la Ciudad Universitaria*. UNAM, México, D.F.
- [28] Project Management Institute Standars Committee, 1996. *A guide to the Project Management body of knowledge*. PMI Publishing Division, 3th. ed. E.E.U.U.
- [29] REMER, D.S. et.al. August 1990. *Design Cost Factors for Scaling-up Engineering Equipment*. Rev. Chemical Engineering Progress. Pp. 77-82.
- [30] RHYNER, C. et.al. 1995. *Waste management and resource recovery*. Ed. Lewis, Florida, E.E.U.U.
- [31] SEDESOL-SEMARNAT, 2007. *Manual para Determinar la Factibilidad de Reducción y Reuso de Residuos Sólidos Municipales*. México, D.F.
- [32] SEGEM, 2003. *Estudio Básico sobre la Implementación de Tarifas para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos sólidos Urbanos*.
- [33] SEMARNAP, 1996. *Estaciones de Transferencia de Residuos Sólidos en Áreas Urbanas*. Primera Edición. México, D.F.
- [34] SEMARNAT, 2002. *Guía para la Presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental del Sector Industrial, Modalidad Particular*. México, D.F.
- [35] SEMARNAT, 2001. *Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales. Primera Edición. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental*. México, D.F.
- [36] SHCP, 2008. *Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria: Lineamientos para la elaboración y presentación de los análisis costo y*



beneficio de los programas y proyectos de inversión. Diario Oficial de la Federación 01.12.2007.

- [37]** SWARTZBAUGH, J.T., et.al. 1993. *Recycling Equipment and Technology for Municipal Solid Waste: Material Recovery Facilities.* Ed. William Andrew Inc. E.E.U.U.
- [38]** TCHOBANOGLIOUS, G. et.al. 1994. *Gestión Integral de Residuos Sólidos.* Ed. McGraw-Hill. España.
- [39]** VÁZQUEZ-Esquivel, R. 2008. *Estado del arte en el manejo de RSU: Tecnologías de Disposición Final.* Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.



Páginas electrónicas

- [40] Cámara del Papel. México. Disponible en línea en <http://www.camaradelpapel.org.mx>. Consulta realizada en agosto, 2008.
- [41] Comisión Federal de Electricidad. México. Tarifas. Disponible en <http://www.cfe.gob.mx>. Consulta realizada en enero, 2009.
- [42] Dirección General de Planeación. UNAM, México. Agenda Estadística. Disponible en línea en <http://www.planeación.unam.mx>. Consulta realizada en mayo, 2008.
- [43] Environmental Resources Management. Reino Unido. Información sobre residuos sólidos. Disponible en línea en <http://www.erm.com>. Consulta realizada en agosto, 2008.
- [44] Gestión Integral de Residuos Sólidos. Estado del Arte en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos: Tecnología de Disposición Final. Disponible en línea en <http://www.giresol.org/index.php>. Consulta realizada mayo 2009.
- [45] Grupo Vitro de México. México. Disponible en línea en <http://ww.vitro.com>. Consulta realizada en agosto, 2008.
- [46] Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes. México. Presentación: Sistema Intermunicipal del Estado de Aguascalientes para el manejo de residuos sólidos urbanos. Disponible en línea en http://www.ecologia.guanajuato.gob.mx/documentos/foro_residuos_2008. Consulta realizada en mayo, 2009.
- [47] Instituto Mexicano del Aluminio. México. Disponible en línea en <http://www.imedal.com.mx>. Consulta realizada en agosto, 2008.
- [48] Instituto Nacional de Recicladores. México, D.F. Disponible en línea en <http://www.inare.org.mx>. Consulta realizada en agosto, 2008.
- [49] Instituto Nacional de Ecología. México. Investigación en residuos y sitios contaminados. Disponible en línea en <http://www.ine.gob.mx>. Consulta realizada en mayo, 2008.
- [50] Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, México. Marco Normativo. Disponible en línea en <http://www.profepa.gob.mx/profepa>. Consulta realizada abril, 2009.



-
- [51] Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos. México. Normatividad. Disponible en línea en <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/inicio.aspx>. Consulta realizada en mayo, 2008.
- [52] Secretaría de Economía, México, D.F. Catálogo de normas. Disponible en línea en <http://www.economia.gob.mx>. Consulta realizada en agosto, 2008.
- [53] Sistemas Para Trituración. Guadalajara, Jalisco, México. Tecnologías. Disponible en línea en <http://www.rockdog.com.mx>. Consulta realizada en diciembre, 2008.
- [54] Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Estadísticas. Disponible en <http://www.unam.mx>. Consulta realizada en mayo, 2008.



9 ANEXOS

A. ACRÓNIMOS

C.U.	Ciudad Universitaria
CYMA	Programa de Competividad y Medio Ambiente
FEMISCA	Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales
GTZ	Agencia de Cooperación Técnica Alemana
IMAE	Instituto del Medio Ambiente del Estado de Aguascalientes
LFPA	Ley Federal de Protección al Ambiente
LFPPCA	Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
LRSDF	Ley de los Residuos Sólidos del Distrito Federal
PUMA	Programa Universitario del Medio Ambiente
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RS	Residuos Sólidos
RSM	Residuos Sólidos Municipales
PRM	Planta de Recuperación de Materiales
SEGEM	Secretaría de Ecología del Estado de México
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
REMEXMAR	Red Mexicana de Manejo Ambiental de Residuos
INE	Instituto Nacional de Ecología
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
LGS	Ley General de Salud
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público



B. MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Estructura de la Matriz

Este tipo de matriz proporciona resultados cualitativos y semicuantitativos. La evaluación se efectúa asignando criterios de significancia en función de la adversidad o beneficio que el proyecto representa para el ambiente en sus diversos componentes (medio natural y medio socioeconómico) considerando en general adversos a los daños y/o alteraciones que afecten al medio natural y reduzcan la producción o bienestar social del área donde se realizará el proyecto, ya sea de manera reversible o irreversible, mientras que los efectos benéficos de una acción serán aquellos que incrementen el desarrollo productivo y social del área, así como la preservación de los recursos naturales de la misma, también de manera reversible o irreversible. Dentro de los parámetros considerados para realizar la evaluación de impacto ambiental están: la naturaleza del impacto, importancia del impacto, alcance del impacto, persistencia del impacto y reversibilidad del mismo.

La matriz está organizada de la siguiente manera: dos listas interrelacionados en las cuales se identifica relaciones causa y efecto. En las filas se disponen los factores ambientales que pueden ser afectados (eje de las X) y en las columnas las acciones que vayan a tener lugar y que serán causa de los posibles impactos (eje de la Y). Cada cuadrícula de interacción será dividida mediante una línea diagonal de tal manera que exista una parte superior (triángulo superior) donde se colocará la ponderación correspondiente a la importancia y naturaleza del impacto; y una inferior (triángulo inferior) donde se colocará el número de impactos y su persistencia. La suma por filas indica las incidencias del conjunto de actividades sobre cada factor ambiental y por tanto, su fragilidad ante el proyecto. La suma por columnas da una valoración relativa del efecto que cada acción produciría en el medio y por tanto, su agresividad.



La simbología empleada para efectuar la evaluación de los impactos ambientales se indica a continuación, misma que permite elaborar un análisis descriptivo por etapas para las interacciones entre proyecto y ambiente, así como elaborar una evaluación global de los impactos debidos al proyecto, explicando sus alcances y los considerados para su clasificación.

NATURALEZA	
BENÉFICA	(+)
ADVERSA	(-)
IMPORTANCIA	
BAJA	(1)
MEDIA	(2)
ALTA	(3)
MUY ALTA	(4)
ALCANCE	
PUNTUAL	(1)
PARCIAL	(2)
EXTENSO	(3)
TOTAL	(4)
PERSISTENCIA	
INSTANTÁNEA	I
TEMPORAL	T
PERMANENTE	P
REVERSIBILIDAD	
CORTO PLAZO	
MEDIANO PLAZO	
IRREVERSIBLE	

A continuación se ilustra con un ejemplo la forma en que es usada la matriz de Leopold y la ubicación de la simbología.



FACTORES AMBIENTALES	ACTIVIDADES					NÚMERO PARCIAL DE IMPACTOS AL FACTOR AMBIENTAL		
	DESMONTE Y DESPALME	TRAZO, NIVELACIÓN y EXCAVACIÓN	TRANSPORTE DE MATERIAL, EQUIPO Y PERSONAL	RELLENO Y COMPACTACIÓN	GENERACIÓN DE RESIDUOS	FUNCIONAMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO	NEGATIVOS	POSITIVOS
SUELO	-1 1P	/	/	-1 1P	/			
	-1 1P	/	/	-1 1P	-1 1T			
	-1 1P	/	/	-1 1P	/			
	3 0	0 0	0 0	3 0	1 0			

IMPORTANCIA (puntero a -1)

ADVERSIDAD (puntero a -1)

NÚMERO PARCIAL DE IMPACTOS (puntero a 1P)

ALCANCE / PERSISTENCIA (puntero a 1T)

Figura 24. Localización de la simbología en la matriz de Leopold.



Matriz de Evaluación de Impactos

Etapa de preparación del sitio

FACTORES AMBIENTALES	ACTIVIDADES							NÚMERO PARCIAL DE IMPACTOS						
	DESMONTE Y DESPALME		TRAZO, NIVELACIÓN Y EXCAVACIÓN		TRANSPORTE DE MATERIAL, EQUIPO Y PERSONAL		RELLENO Y COMPACTACIÓN		GENERACIÓN DE RESIDUOS		FUNCIONAMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO		NEGATIVOS	POSITIVOS
AIRE	-1	1I	-1	1I	-1	1I	-1	1I			-1	1I	5	0
SUELO	-2	1P	-2	1P	-1	1I	-2	1P	-1	1I	-1	1I	6	0
AGUA													0	0
RUIDO	-1	1I	-1	1I			-1	1I			-1	1T	4	0
VEGETACIÓN	-2	1P	-2	1P			-1	1P	-1	1T			4	0
PAISAJE	-1	1P	-1	1P			-1	1P	-1	1T			4	0
RESIDUOS											-1	1T	1	0
SOCIOECONÓMICO													0	1



Etapa de construcción

FACTORES AMBIENTALES	ACTIVIDADES								NÚMERO PARCIAL DE IMPACTOS			
	TRASLADO DE MATERIALES, EQUIPO Y PERSONAL		TRAZO, NIVELACIÓN Y EXCAVACIÓN		CONSTRUCCIÓN DE NAVE INDUSTRIAL, BODEGAS Y OFICINAS		INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y ELÉCTRICAS		FUNCIONAMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO		NEGATIVOS	POSITIVOS
AIRE	-1	1I	-1	1I	-1	1I			-1	1I	4	0
SUELO			-1	1P	-1	1P	-1	1P			3	0
AGUA							-1	1I			1	0
RUIDO	-1	1I	-1	1I	-2	1T	-2	1T	-1	1T	5	0
VEGETACIÓN			-1	1P	-3	1P	-1	1P	-1	1T	4	0
PAISAJE			-1	1P	-1	1P	-1	1P			3	0
RESIDUOS			-1	1T	-1	1T	-1	1T	-1	1T	4	0
SOCIOECONÓMICO					2	1T					0	1



Etapa de operación y mantenimiento

FACTORES AMBIENTALES	ACTIVIDADES					NÚMERO PARCIAL DE IMPACTOS	
	ALMACENAMIENTO DE MATERIALES, EQUIPO Y HERRAMIENTA	OPERACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO	GENERACIÓN DE RESIDUOS	TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO TERMINADO	FUENTE DE EMPLEO	NEGATIVOS	POSITIVOS
AIRE		-1 1I				1	0
SUELO						0	0
AGUA						0	0
RUIDO		-1 1P				1	0
VEGETACIÓN						0	0
PAISAJE			+4 1P			0	1
RESIDUOS			+4 1P			0	1
SOCIOECONÓMICO					+4 1P	0	1