



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

INGENIERÍA INDUSTRIAL

DINÁMICA DE SISTEMAS  
APLICADA A UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA  
DE TRES TIPOS DE BOLSAS

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:  
RODRÍGUEZ FLORES DANIEL

DIRIGE  
DRA. EN I. NELLY RIGAUD TÉLLEZ



2015

CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, EDO. DE MÉXICO



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.

## Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres y hermano  
por ser mi guía y mí ejemplo, mi apoyo incondicional  
gracias al esfuerzo que han hecho día con día para verme crecer  
porque a pesar de los problemas siempre nos hemos mantenido fuertes y unidos.

Gracias Dra en I. Nelly Rigaud Téllez  
Por el tiempo concedido y su ayuda incondicional  
No solo para la realización de esta tesis si no de una mejor persona.

Y por último pero no menos importante a esta institución, a la UNAM y a la Facultad de estudios  
Superiores Aragón que me han brindado las herramientas para ser un digno Ingeniero.

## Contenido

Introducción.....	14
Capítulo 1 .....	16
1 Contexto de las bolsas de plástico y su impacto en la sustentabilidad .....	16
1.2 Desarrollo Sustentable.....	18
1.3 Objetivo de la Tesis.....	32
1.4 Hipótesis.....	33
Capítulo 2 .....	34
2 Caracterización química de los plásticos.....	34
2.1 Introducción.....	34
2.2 Polímeros .....	34
2.3 Plástico .....	34
2.4 Termoplásticos .....	35
2.5 Plásticos Termoestables .....	35
2.6 Polimerización .....	37
2.7 Principales materiales utilizados en el mercado .....	38
Capítulo 3 .....	46
3 Marco teórico: Dinámica de sistemas, ciclo de vida y métodos .....	46
3.1 Dinámica de Sistemas.....	46
3.2 Existencia de bucles de realimentación.....	48
3.3 Insensibilidad.....	48
3.4 Diagramas Causales.....	49
3.5 Tipos de Realimentación.....	51
3.6 Diagramas de Forrester .....	53
3.6.1 Analogía Hidrodinámica .....	53
3.6.2 Variables de Nivel.....	55
3.6.3 Variables de Flujo .....	57
3.6.4 Variables auxiliares .....	59
3.6.5 Otros elementos.....	60
3.6.6 Retrasos.....	60
3.7 Análisis de ciclo de vida .....	61
3.8 Mapas Conceptuales.....	63
3.7.1 Mapas conceptuales (Novak y Gowin).....	63

3.7.2 Mapas cognitivos (Eden, Jones y Sims).....	64
Capítulo 4 .....	66
4 Dinámica de sistemas aplicado al caso de estudio.....	66
4.1 Evaluación del ciclo de vida (LCA) para tres tipos de bolsas de supermercado bolsa de plástico reciclable; plástico biodegradable; y bolsa de papel reciclable elaborado por ( <i>Bousted Consulting and associates</i> ). .....	66
4.2.1 Objetivo del Estudio .....	67
4.2.2 Alcance .....	67
4.2.3 La presentación de datos .....	71
4.2.4 Tablas de resultados del LCA.....	73
4.2.5 Opciones de disposición final de residuos sólidos: Reciclaje, combustión con recuperación de energía, vertedero y compostaje.....	116
4.2.6 Los cálculos de LCA de Impactos Ambientales.....	122
4.2.7 Uso local y regional de la red eléctrica .....	132
4.2.8 El uso del agua y el suministro público.....	133
4.3 Resultados de simulación .....	134
4.3.1 Simulación del sistema de bolsas de papel.....	134
4.3.2 Simulación del sistema de bolsas de plástico.....	143
4.3.3 Simulación del sistema de bolsas de plástico biodegradables.....	151
Conclusiones y recomendaciones.....	160
Conclusiones .....	160
Recomendaciones.....	162
Referencias bibliográficas.....	164

## Índice de figuras

Figura 1.1.1 Tipología usada en las bolsas de plástico.	17
Figura 1.1.2 Desarrollo sustentable (Bruntland).	18
Figura 1.2.1 Categorías del Desarrollo Sustentable.	19
Figura 1.2.2 Diagrama de ciclo de vida de una bolsa de plástico.	21
Figura 1.2.3 Situación de los desperdicios plásticos en los océanos del mundo.	22
Figura 1.2.4 Situación de los desperdicios plásticos en los océanos del mundo.	22
Figura 1.2.5 Biodegradación.	27
Figura 1.2.6 Procesos de Biodegradación.	28
Figura 2.5.1 Estructura de enlace covalente de una molécula de etileno activada.	36
Figura 2.6.1 Proceso de Iniciación de una cadena de polipropileno.	37
Figura. 2.7.2.1 Tendencias en el desarrollo de los polímeros a través de la historia.	41
Figura. 2.7.2.2 Familia del Poliéster Biodegradable.	43
Figura 3.2.1 Bucle de realimentación de un sistema poblacional.	48
Figura 3.4.1 Bucle de realimentación de un sistema poblacional.	50
Figura 3.4.2 Diagramas abiertos, de estructura simple.	50
Figura 3.4.3 Diagramas cerrados, de estructura compleja o bucles de realimentación.	51
Figura 3.5.1 Ejemplo de bucle de realimentación negativa.	52
Figura 3.5.2 Comportamiento en S.	53
Figura 3.6.1.1 Analogía de un diagrama de hidrodinámica con los diagramas de Forrester.	54
Figura. 3.6.1.2 Símbolos del diagrama de Forrester.	55
Figura 3.6.2.1 Diagrama de Forrester de la ecuación de nivel.	56
Figura 3.6.2.2 Ejemplo de diagramas de flujos en Vensim.	56
Figura 3.6.2.3 Ejemplo de diagrama de flujo en Vensim sobre emisiones de CO <sub>2</sub> .	57
Figura 3.6.3.1 Variable de flujo.	58
Figura 3.6.4.1 Variable auxiliar (A1, A2).	59
Figura 3.7.2.1 Ejemplo de un mapa cognitivo asociado con signos (+,-).	65
Figura 4.3.1 Diagramas causales que forman el modelo 4.3.1.	140
Figura 4.3.2.1 Se muestran las relaciones que existen en el modelo 4.3.2.1.	145
Figura 4.3.2.2 Relaciones existentes con el modelo 4.3.2.1.	148
Figura 4.3.3.1 Relaciones en forma de diagrama de árbol de las relaciones existentes en el modelo de las bolsas de plástico biodegradables.	153
Figura 4.3.3.2 Relaciones en forma de diagrama de árbol de las relaciones del modelo de las bolsas biodegradables.	157

## Índice de gráficas

Gráfica 1.2.1 Comparativo de cargas ambientales.	23
Gráfica 1.2.2, Crecimiento en la producción de plástico desde 1950 hasta 2012.	25
Gráfica 1.2.3 Principales productores de plástico en el Mundo.	25
Gráfica 1.2.4 Sectores de aplicaciones para la industria del plástico.	26
Gráfica 4.2.4.1.1 Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados como masa.	75
Gráfica 4.2.4.1.2 Porcentajes de agua utilizada en el proceso o para ser utilizada en la refrigeración cada una identificada dependiendo de su procedencia.	76
Gráfica 4.2.4.2.1 Cantidad de energía eléctrica requerida para cada proceso para el sistema de las bolsas de plástico reciclable.	82
Gráfica 4.2.4.2.2 Cantidad de petróleo requiero para cada uno de los procesos que involucran la creación de las bolsas de plástico reciclable.	82
Gráfica 4.2.4.2.3 Cantidad de otras materias requeridas para cada uno de los procesos que involucran la creación de las bolsas de plástico reciclable.	83
Gráfica 4.2.4.2.4 Principales Combustibles y materias primas fósiles para la creación de la bolsa de plástico reciclable.	85
Gráfica 4.2.4.2.5 Principales primarios brutos necesarios para la bolsa de plástico reciclable.	87
Gráfica 4.2.4.2.6 Principales primarios brutos necesarios para la bolsa de plástico reciclable (1500 bolsas).	88
Gráfica 4.2.4.2.7 Porcentajes de agua requeridos tanto para el proceso como la refrigeración dependiendo de su origen.	89
Gráfica 4.2.4.2.8 Porcentajes de agua requeridos tanto para el proceso como la refrigeración dependiendo de su origen (1500 bolsas).	90
Gráfica 4.2.4.3.1 Porcentajes de agua requeridos tanto para el proceso como la refrigeración dependiendo de su origen para la bolsa de plástico biodegradable.	105
Gráfica 4.2.4.3.2 Porcentajes de agua requeridos tanto para el proceso como la refrigeración dependiendo de su origen para la bolsa de plástico biodegradable.	106
Gráfica 4.3.1 Cantidad de energía requerida para el sistema de bolsas de papel.	141
Gráfica 4.3.2 Materias primas necesarias en miligramos para el sistema de las bolsas de papel.	142
Gráfica 4.3.3 Emisiones de aire brutas en miligramos como resultado del sistema de bolsas de papel reciclable.	143
Gráfica 4.3.2.1 Emisiones brutas de aire como resultado del sistema de las bolsas de plástico.	146

Gráfica 4.3.2.2 energía requerida en (MJ) para el sistema de las bolsas de plástico.	149
Gráfica 4.3.3.1 Energía requerida en (MJ) para el sistema de las bolsas de plástico biodegradables.	154
Gráfica 4.3.3.2 Emisiones brutas de aire a la atmosfera para el sistema de las bolsas de plástico biodegradables.	158



## Índice de tablas

Tabla 1.2.1 Mediciones por tipo de bolsa.	29
Tabla 1.2.2 Comparativo científica entre el polietileno y el papel.	30
Tabla 1.2.3 Comparativo científico entre las bolsas de jute y las bolsas de plástico.	31
Tabla 2.7.2.1 Algunos de los polímeros biodegradables más comunes en el mercado.	44
Tabla 4.2.2.3.1 Especificaciones detalladas para el estudio del LCA.	70
Tabla 4.2.4.1.1 Energía bruta (en MJ), necesaria para la creación de la bolsa de papel reciclable.	73
Tabla 4.2.4.1.2 Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresadas en forma de energía, necesarias para la creación de la bolsa de papel reciclable.	74
Tabla 4.2.4.1.3 Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados como masa, para la creación de la bolsa de papel reciclable.	74
Tabla 4.2.4.1.4 Recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la creación de la bolsa de papel reciclable.	75
Tabla 4.2.4.1.5 Materias primas brutas (en miligramos) necesarios para la creación de la bolsa de papel reciclable.	77
Tabla 4.2.4.1.6 Emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la creación de la bolsa de papel reciclable.	78
Tabla 4.2.4.1.6B Equivalentes de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones brutas de aire (en miligramos) resultantes de la creación de la bolsa de papel reciclable.	79
Tabla 4.2.4.1.7 Emisiones de agua brutas (en miligramos), que resultan de la creación de la bolsa de papel reciclable.	79
Tabla 4.2.4.1.8 Generación de residuos sólidos (miligramos) resultantes de la bolsa de papel reciclable.	80
Tabla 4.2.4.2.1 A. Energía bruta (en MJ), necesaria para la bolsa de plástico Reciclable.	81
Tabla 4.2.4.2.1B. Energía bruta (en MJ), requerida para la bolsa de plástico reciclable.	83
Tabla 4.2.4.2.2 A. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles. Expresados en forma de energía (en MJ), necesarios para la bolsa de plástico reciclable.	84
Tabla 4.2.4.2.2 B. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresadas en forma de energía (en MJ), necesarias para la bolsa de plástico reciclable.	85
Tabla 4.2.4.2.3 A. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados como masa, que requiere la bolsa de plástico reciclable bolsa de plástico reciclable.	86
Tabla 4.2.4.2.3 B. Muestra los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados en forma de masa (en miligramos), que se requieren	87

para la bolsa de plástico reciclable.	
Tabla 4.2.4.2.4 A. Se muestran los recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la bolsa de plástico reciclable.	88
Tabla 4.2.4.2.4 B. Como en la tabla anterior se muestran los recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la bolsa de plástico reciclable.	89
Tabla 4.2.4.2.5 A. Se pueden apreciar algunas otras materias primas brutas (en miligramos) necesarias para la bolsa de plástico reciclable.	91
Tabla 4.2.4.2.5 B. Como en la anterior se muestran algunos otras materias primas brutas en forma de masa (en miligramos) que son necesarias para la bolsa de plástico reciclable.	91
Tabla 4.2.4.2.6 A. Se muestran las emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable.	93
Tabla 4.2.4.2.6 B. Equivalentes brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones generadas hacia la atmósfera expresadas en forma de masa (miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable.	94
Tabla 4.2.4.2.6 C. Muestra las emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable.	95
Tabla 4.2.4.2.6 D. Se aprecian las emisiones brutas de aire (en miligramos) resultantes de la bolsa de plástico reciclable.	96
Tabla 4.2.4.2.7 A. Se muestran las emisiones brutas de agua en forma de masa (miligramos), que resultan de la bolsa de plástico reciclable.	97
Tabla 4.2.4.2.7 B. Se muestran las emisiones brutas de agua en forma de masa (miligramos), que resultan de la bolsa de plástico reciclable.	98
Tabla 4.2.4.2.8 A. se aprecia la generación de residuos sólidos en forma de masa (miligramos) como resultado de la bolsa de plástico reciclable.	99
Tabla 4.2.4.2.8 B. Se muestra la cantidad de residuos sólidos generados (en miligramos) como resultado de la bolsa de plástico reciclable.	101
Tabla 4.2.4.3.1 A. Se puede apreciar la cantidad de energía bruta (MJ), necesario para la bolsa de plástico biodegradable.	101
Tabla 4.2.4.3.1 B. Se observa la energía bruta (MJ), necesario para la bolsa de plástico biodegradable.	102
Tabla 4.2.4.3.2 A. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresado en forma de energía (MJ), necesarios para la bolsa de plástico biodegradable.	102
Tabla 4.2.4.3.2 B. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresadas en forma de energía (MJ), necesarias para la bolsa de plástico biodegradable.	103
Tabla 4.2.4.3.3 A. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresado en forma de masa (miligramos), que requiere la bolsa de plástico biodegradable.	104
Tabla 4.2.4.3.3 B. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles,	104

expresado en forma de masa (miligramos), que requiere la bolsa de plástico biodegradable.	
Tabla 4.2.4.3.4 A. Recursos de agua bruta necesarias para la bolsa de plástico Biodegradable (1000 bolsas).	105
Tabla 4.2.4.3.4 B. Recursos de agua bruta necesarias para la bolsa de plástico biodegradable para (1500 bolsas).	106
Tabla 4.2.4.3.5 A. Materias primas brutas en forma de masa (miligramos) que son necesarias para la bolsa de plástico biodegradable	107
Tabla 4.2.4.3.5 B. Materias primas brutas (miligramos) necesarias para la bolsa de plástico biodegradable.	108
Tabla 4.2.4.3.6 A. Emisiones brutas de aire (miligramos) resultantes de la bolsa de plástico biodegradable.	109
Tabla 4.2.4.3.6 B. Equivalentes brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones a la atmósfera de la bolsa de plástico biodegradable.	110
Tabla 4.2.4.3.6 C. Emisiones brutas de aire resultantes de la bolsa de plástico biodegradable.	111
Tabla 4.2.4.3.6 D. Brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones en la atmósfera de la bolsa de plástico biodegradable.	112
Tabla 4.2.4.3.7 A. Emisiones brutas de agua, que resultan de la bolsa de plástico biodegradable.	113
Tabla 4.2.4.3.7 B. Emisiones brutas de agua, que resultan de la bolsa de plástico Biodegradable.	114
Tabla 4.2.4.3.8 A. Generación de residuos sólidos como resultado de la bolsa de plástico biodegradable (1000 bolsas).	115
Tabla 4.2.4.3.8 B. Generación de residuos sólidos como resultado de la bolsa de plástico degradable (1500 bolsas).	116
Tabla 4.2.5.2.1. Energía recuperada y las emisiones de dióxido de carbono resultantes al 13,6% de las 1.000 bolsas de supermercado se queman con recuperación de energía.	119
Tabla 4.2.6.1.1 A. Emisiones de gases de efecto invernadero. Equivalentes a 20 años de dióxido de carbono (1000 bolsas).	124
Tabla 4.2.6.1.1 B. Emisiones de gases de efecto invernadero. Equivalentes de dióxido de carbono de 20 años (1500 bolsas).	125
Tabla 4.2.6.1.2 A. Equivalentes de dióxido de carbono.	126
Tabla 4.2.6.1.2 B. Equivalentes de dióxido de carbono (miligramos) como resultado de todas las operaciones justo antes de la disposición final.	126
de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico biodegradable y reciclable	
Tabla 4.2.6.1.3. Cantidad de CO <sub>2</sub> (miligramos) para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.	127
Tabla 4.2.6.1.3B. LCA Totales equivalentes de la cuna a la tumba de CO <sub>2</sub> (en miligramos) para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 plástico reciclable y bolsas de plástico degradables.	128
Tabla 4.2.6.3.1 A. Emisiones de lluvia ácida (en miligramos de SO <sub>2</sub> y NO <sub>2</sub> )	129

como resultado de todas las operaciones justo antes de su eliminación dicho estudio está realizado sobre una base de 1.000 bolsas de supermercado.	
Tabla 4.2.6.3.1 B. Emisiones de la lluvia ácida (en miligramos de SO <sub>2</sub> y NO <sub>2</sub> ) resultantes de todas las operaciones justo antes de su eliminación para un estudio de 1500 bolsas de supermercado, (bolsas de papel, plástico reciclable y bolsas de plástico biodegradables).	129
Tabla 4.2.6.5.1 A. Residuos sólidos urbanos (miligramos) como resultado de la disposición de bolsas de supermercado en el relleno sanitario. Sobre la base de 1.000 bolsas de supermercado, pero sólo el 65,4% de las bolsas de papel se depositan en vertederos y el 81,2% de las bolsas de plástico se depositan en vertederos.	130
Tabla 4.2.6.5.1 B. Muestra la cantidad de residuos sólidos urbanos (en mg) como resultado de única y exclusivamente la disposición de bolsas de supermercado en el relleno sanitario.	131
Tabla 4.2.6.6.1 A. Combustibles fósiles brutos y materias primas, expresados en forma de energía (MJ) necesarios para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.	131
Tabla 4.2.6.6.1 B. se muestra al igual que en la tabla anterior los combustibles, fósiles brutos y materias primas, expresados en forma de energía (MJ) necesarios para la producción, uso y disposición pero en una relación de 1000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico biodegradables y reciclable.	132
Tabla 4.2.7.1 A. Cantidad de energía eléctrica (MJ) necesaria para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.	132
Tabla 4.2.7.1 B. Cantidad de energía eléctrica (MJ) requerida para la producción, uso y disposición de las bolsas de supermercado pero con una relación de; 1000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico biodegradables, y reciclables.	133
Tabla 4.2.8.1 A Cantidad de agua proveniente del suministro público (mg) se utiliza para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.	133
Tabla 4.2.8.1 B. Cantidad de agua proveniente del suministro público (mg) que se utiliza para la producción, uso y eliminación de las bolsas de supermercado pero con una relación de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico degradables y reciclables.	134
Tabla 4.3.1.1 Energía requerida en MJ para la creación de la bolsa de papel. lleva el escenario comprendido entre el 2010 al 2030 con los valores proporcionadas por la Bousted Consulting (BCAL), mostrados en las tablas 4.2.4.1.1 y 4.2.4.1.2.	137

Tabla 4.3.2.1 Datos obtenidos después de la simulación del sistema de las bolsas de plástico.	147
Tabla 4.3.2.2 Resultados obtenidos de la simulación del modelo del sistema de las bolsas de plástico biodegradables.	150
Tabla 4.3.3.1 Datos obtenidos de la simulación sobre la energía requerida en (MJ) necesaria para el sistema de la bolsa de plástico biodegradable	156
Tabla 4.3.3.1 Datos obtenidos de la simulación sobre la energía requerida en (MJ) necesaria para el sistema de la bolsa de plástico biodegradable.	159

## Índice de modelos

Modelo 4.3.2.1 Elaborado en el programa Vensim que representa el sistema de las bolsas de papel.	136
Modelo 4.3.2.1 Elaborado en el programa Vensim que representa el sistema de las bolsas de papel sobre las emisiones brutas de aire que estas producen.	139
Modelo 4.3.2.1 Elaborado en el programa Vensim que representa el sistema de las bolsas de plástico.	144
Modelo 4.3.2.2 Elaborado en el programa Vensim que representa el sistema de las bolsas de plástico biodegradable.	152

## Introducción

Esta tesis está enfocada en el concepto de la bolsa de plástico o también conocida como (plastic carry bag), su historia y como ha ido aumentando su consumo a través de los años hasta afianzarse como uno de los principales objetos de uso diario para la población en nuestro país y el mundo.

La bolsa de plástico, es un objeto utilizado día a día para transportar pequeñas cantidades u objetos de toda clase, víveres, comida, papelería, etc. Estas alcanzaron un auge en los años setenta, al ser introducidas por las cadenas de supermercados y centros comerciales, pues no solo eran un medio útil para cargar y proteger los materiales, también sirvieron como un medio de marketing, reducían el volumen de los desechos que se producían además reducían el stock en más del doble.

Al elevarse la producción de manera exponencial se volvió cada vez más importante entender y atender los aspectos ecológicos, sociales y económicos que estas generan, analizar su reciente cambio a nuevos materiales biodegradables para su producción y poder ejercer un punto neutral en el presente debate.

Las bolsas plásticas, inicialmente, fueron elaboradas con polietileno de baja y alta densidad o también a base de polipropileno, que también es usado para paquetes de comida, farmacéuticos y botellas de agua. Así como en los metales, en los plásticos también existe toda una gama de propiedades tanto físicas como químicas únicas, las cuales los hacen tan especiales y por ende tan versátiles.

Para determinar las retroalimentaciones positivas o negativas que se pueden generar en el comportamiento del uso de bolsas de plástico sometidos a condiciones variables se ha generado un modelo de dinámica de sistemas, con el fin de obtener las transiciones tecnológicas a mediano plazo, de acuerdo a las interacciones de flujos, reglas de decisión y stocks de los factores más relevantes.

Para lograr el objetivo de la tesis, ésta se ha estructurado de la siguiente manera, para comenzar se presentan las principales características que tienen los plásticos, por lo cual estos son elegidos para ser utilizados en la creación de las bolsas plásticas en vez de sus contrapartes: bolsas biodegradables, papel o el yute, ahora bien se abordará con mayor profundidad lo que es un polímero y un plástico, se hablará de su estructura química, como están formados y como es que se forman, la adición de diferentes químicos para la creación de diversos materiales degradables y sus procesos de degradación, para así comprender la diferencia entre un material degradable y uno biodegradable.

Las diferentes metodologías que existen para la planeación de un modelo, procedimientos y/o técnicas de planeación, la existencia de mapas conceptuales que permiten al creador estructurar dicho conocimiento entorno al problema a resolver.

El incremento en la consciencia por la protección ambiental y los posibles impactos asociados con la creación y el consumo de productos plásticos, ha conducido al aumento por el desarrollo de mejores métodos para comprender el impacto que estos tienen en el ambiente. Una de las principales técnicas desarrolladas con este propósito es el análisis de ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés). Siendo una herramienta que ayuda a identificar los efectos que un producto o servicio genera en el ambiente desde la obtención del material (crudo), hasta su disposición final.

Este proceso proporciona las bases tanto teóricas como metodológicas que sirvieron para la creación del modelo de dinámica de sistemas con base en el análisis de ciclo de vida proporcionado por la Bousted Consulting, éstos se apoyan en el pensamiento sistémico, permitiendo al individuo comprender el significado a partir de sus relaciones jerárquicas.

El objetivo básico de la Dinámica de Sistemas es comprender la base del comportamiento de un sistema, lo que implica, no solo tener un conocimiento sobre el conjunto, sino tener el conocimiento sobre el papel que ejerce cada elemento en dicho sistema, y ver como diferentes acciones, efectuadas sobre diferentes partes del sistema, acentúan o atenúan diversas tendencias de comportamiento del sistema y de cada una de las partes.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.



## Capítulo 1

### 1 Contexto de las bolsas de plástico y su impacto en la sustentabilidad

En este capítulo se presenta el concepto de la bolsa plástico o también conocida como (plastic carry bag), su historia y como ha ido aumentando su consumo a través de los años hasta afianzarse como uno de los principales objetos de uso diario para la población en nuestro país y el mundo, visualizar su impacto para entender y atender los aspectos ecológicos, sociales y económicos que estas generan así como su posible cambio a nuevos materiales biodegradables.

La bolsa de plástico, es un objeto utilizado día a día para transportar pequeñas cantidades u objetos de toda clase, víveres, comida, papelería, etc. Estas alcanzaron un auge en los años setenta, al ser introducidas por las cadenas de supermercados y centros comerciales, pues no solo eran un medio útil para cargar y proteger los materiales, también sirvieron como un medio de marketing y reducían el volumen de desechos que producían las bolsas de papel, además de reducir su almacenamiento en más del doble.

En sus inicios las bolsas plásticas fueron elaboradas principalmente con polietileno, poco después empezaron a existir variaciones del mismo que fueron adaptándose a las necesidades que exigían cada uno de los productos como son los paquetes para comida, las botellas de agua o productos para farmacia.

Así como en los metales existe toda una gama de propiedades tanto, físicas como químicas únicas, en cada uno de estos derivados plásticos (polietileno, polipropileno de alta y baja densidad), también se manifiestan propiedades únicas.

Por ejemplo dentro de la tipología dedicada al uso de plásticos se tienen seis grandes familias, como se muestra en la figura 1.1.1

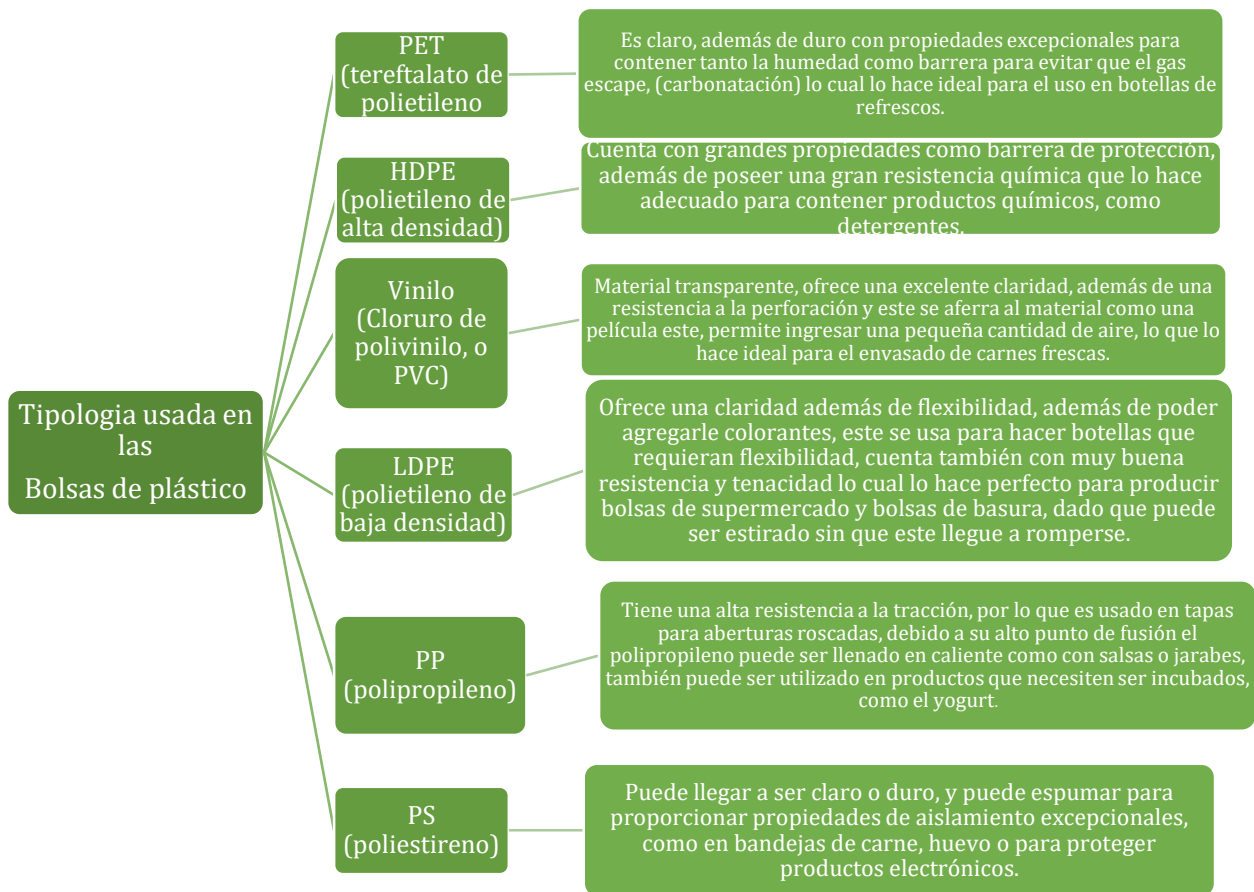


Figura 1.1.1 Tipología usada en las bolsas de plástico (Material on plastic waste management, 2012).

El gran éxito en la producción comercialización y empleo de los plásticos se debe en gran parte a los costos de producción, transporte y a su posibilidad de reciclaje físico. Por ello es que en sitios como son los centros comerciales se inclinan por ellas, he ahí el auge de estas bolsas plásticas, convirtiéndolas en un objeto muy útil para las cadenas de supermercados a través de los años.

En consecuencia, diversas organizaciones, países, asociaciones, organizaciones no gubernamentales y sin fines de lucro, se han preocupado por la determinación y/o el mejoramiento de políticas de dirección y de mejores estructuras relacionadas, en general, con el ciclo de vida de los plásticos. Con base en este planteamiento, el tratado de Tokio y Montreal (1997), se ubicó que el concepto de sustentabilidad de Brundtland, donde surgieron cuestionamientos acerca del papel de las bolsas de plástico respecto a la sustentabilidad, por sus impactos; social, económico ambiental y tecnológico.

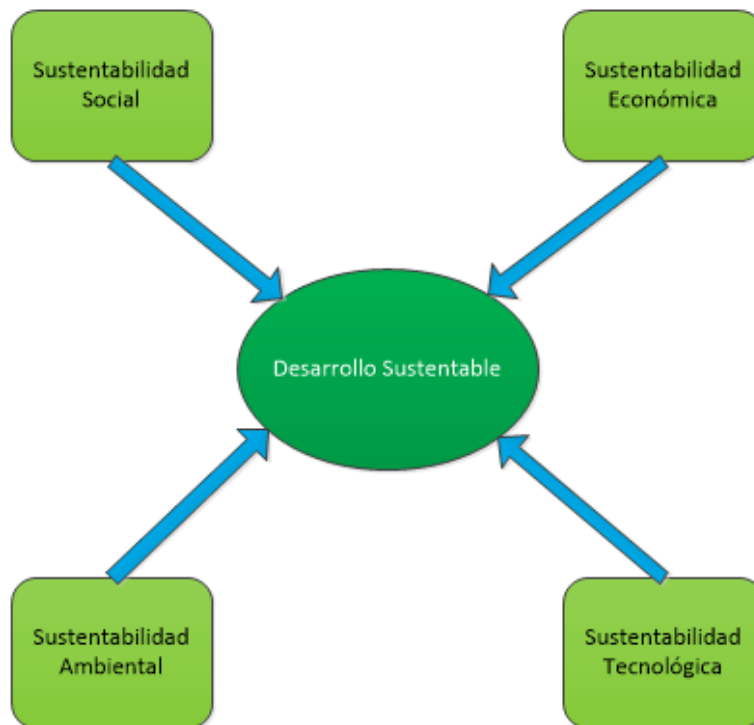


Figura 1.1.2 Desarrollo sustentable (Bruntland).

Como se puede apreciar en la figura 1.1.2 se muestran las áreas que incluye el desarrollo sustentable: sustentabilidad ambiental, social, económica y tecnológica pero antes de ahondar en cada una de ellas es necesario definir el concepto de "desarrollo sustentable" para así explicar cada una de ellas con más detalle.

## 1.2 Desarrollo Sustentable

El desarrollo sustentable es el despliegue que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generación para satisfacer sus propias necesidades en un futuro, donde se establecen estrechas vinculaciones entre aspectos económicos, sociales, ambientales y tecnológicos en un renovado marco, capaz de aprovechar las oportunidades para generar un avance simultáneo.

Desarrollo implica una transformación progresiva de la economía así como de la sociedad. Así la satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas es el principal objetivo del desarrollo sustentable pero éste, requiere la promoción de valores que fomenten los estándares de consumo que están dentro de los límites ambientales y de la misma sociedad para que cada individuo sea capaz de aspirar razonablemente de sus beneficios. Pero el crecimiento por sí solo no es posible, dado que los altos niveles de productividad y al mismo tiempo la pobreza ponen en peligro al medio ambiente. Es

aquí donde entra la problemática dado que el desarrollo sustentable también requiere que la sociedad cumpla con las necesidades humanas, tanto para el incremento productivo y la garantía de nuevas oportunidades (trabajo, vivienda comida), pero siempre con cautela y velando por cada una de estas características (social, ambiental, económico y tecnológico) puesto que puede aumentar la presión sobre los recursos y no solo frenar este crecimiento, por el contrario pondría en riesgo cada una de ellas alterando por completo el equilibrio que debe existir para que estas puedan coexistir.

A continuación en la figura 1.2.1 se explica en que debe centrarse cada una de estas categorías para que este sistema se mantenga como tal, en plena armonía y no solo sea un crecimiento individual (social, económico, etc.).

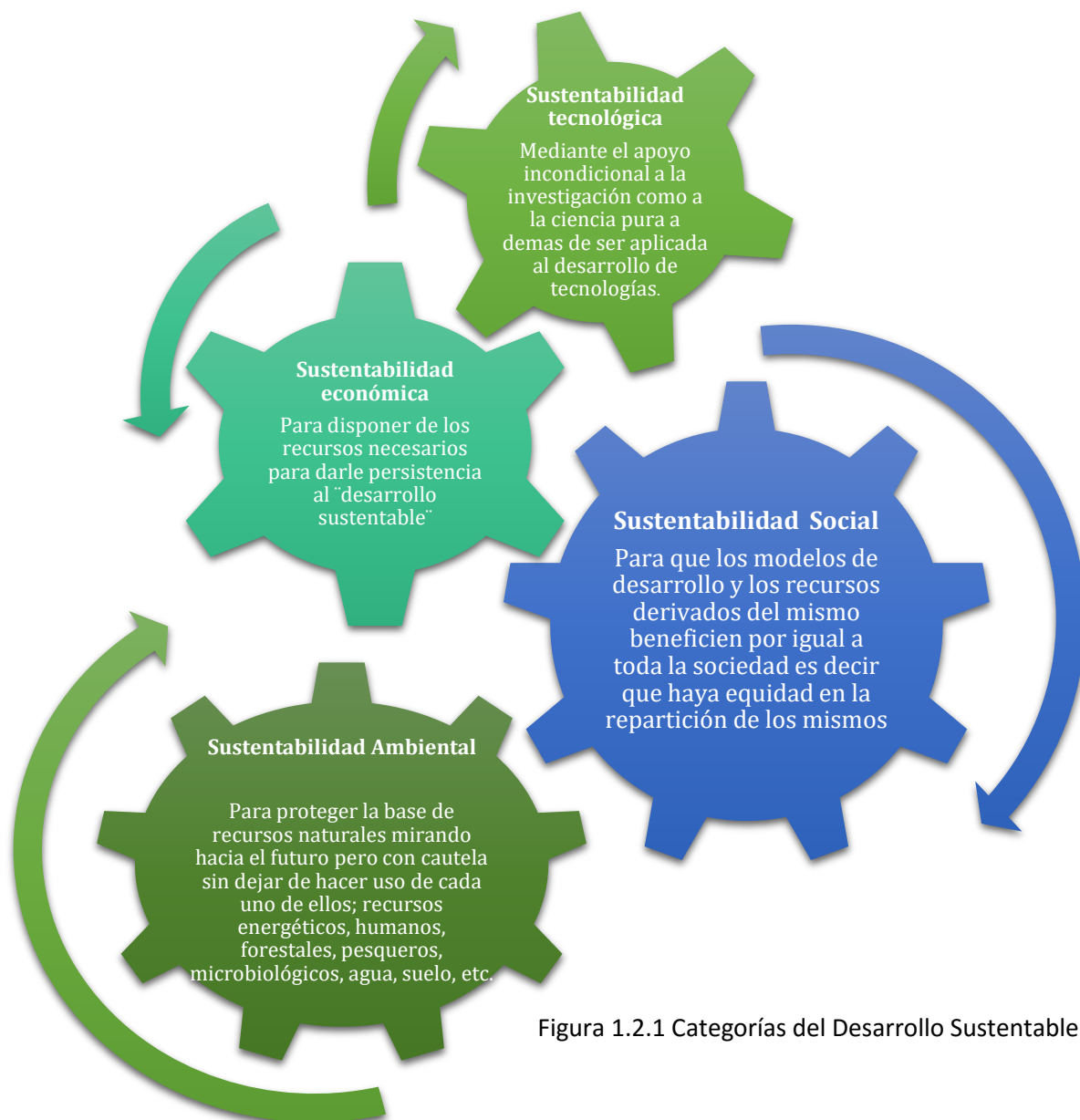


Figura 1.2.1 Categorías del Desarrollo Sustentable.

Solo en Australia, California, Bombay, Tokio, París y otras ciudades más, el consumo de bolsas de plástico ha disminuido en ocasiones hasta su prohibición no es el caso de México cuyo consumo de bolsas de polietileno (de alta y baja densidad) es de aproximadamente 600,000 ton/año, aproximadamente 106,000 millones de bolsas al año. En el 2009, 56% del consumo de polietileno de baja densidad y 33% del de alta densidad fue destinado a la manufactura de bolsas desechables (Centro empresarial del plástico de México (CEP), 2010).

Estas bolsas plásticas después de ser usadas son convertidas rápidamente en basura o también conocidos como "Residuos Sólidos Urbanos", en el año 2000 junto con el resto de los desechos plásticos constituyeron el 11% de la composición de la basura en México.

En la figura 1.2.2 se muestra un diagrama del ciclo de vida de una bolsa de plástico en nuestro país alrededor del 99% de estas después de ser utilizadas son enviadas a un relleno sanitario tan solo el 1 % es reciclada y dado que su desintegración promedia aproximadamente entre 150 y 500 años esta se va acumulando alcanzando niveles cada vez mayores (SEMARNAT, 2010).

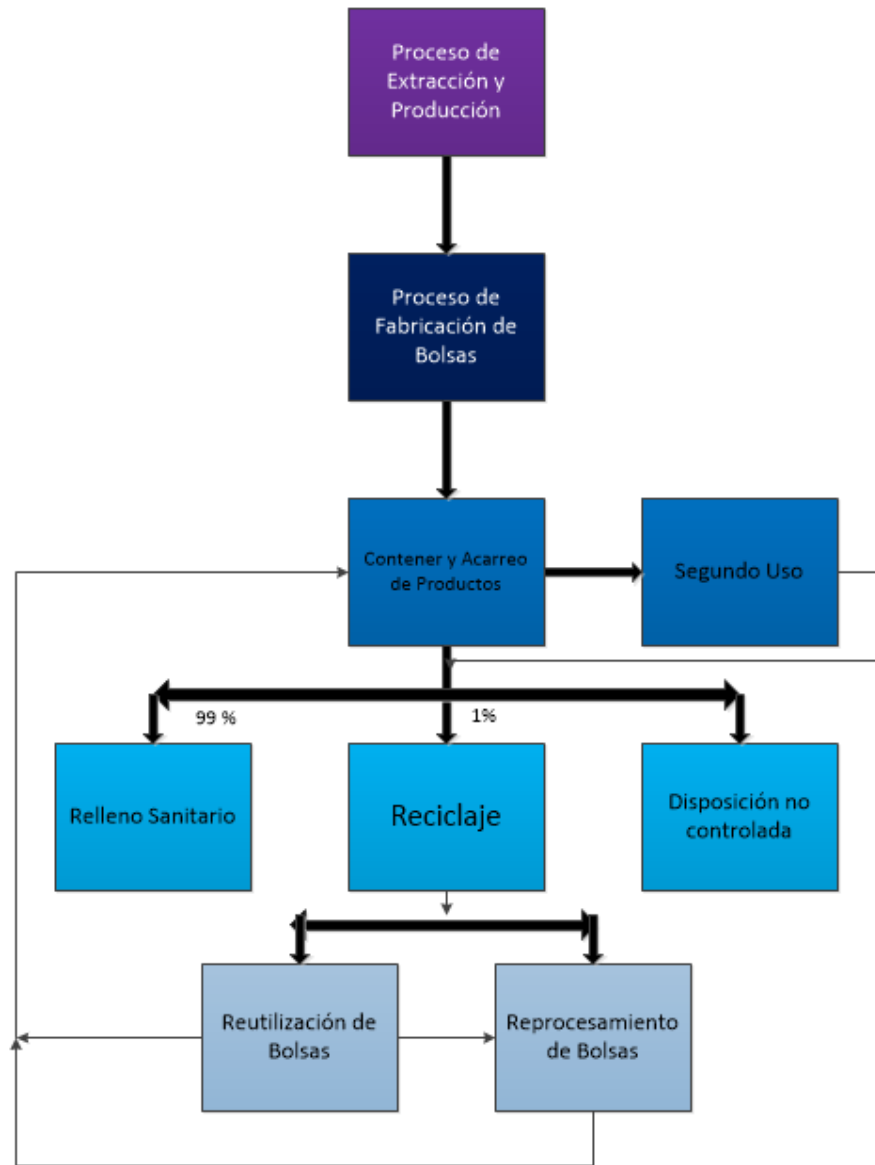


Figura 1.2.2 Diagrama de ciclo de vida de una bolsa de plástico.

A pesar que la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) se dedica a fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales, bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar el aprovechamiento y desarrollo sustentable (*Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Artículo 32bis reformada en el DOF del 26 de diciembre de 2013*), se ha demostrado que el 99% de las bolsas de plástico pasa a estar en los rellenos sanitarios (SEMARNAT,2010), pero a pesar de estos números es bien conocido que gran parte de

ellas es tirada en las calles, para así llegar a coladeras, drenaje, barrancas, lagos, ríos y mares de nuestro país y el mundo. La situación se ve agravada a nivel mundial debido a que las bolsas desechadas llegan al lecho marino viéndose reflejadas como islotes gracias las corrientes marinas como se puede apreciar en la figura 1.2.3 y 1.2.4

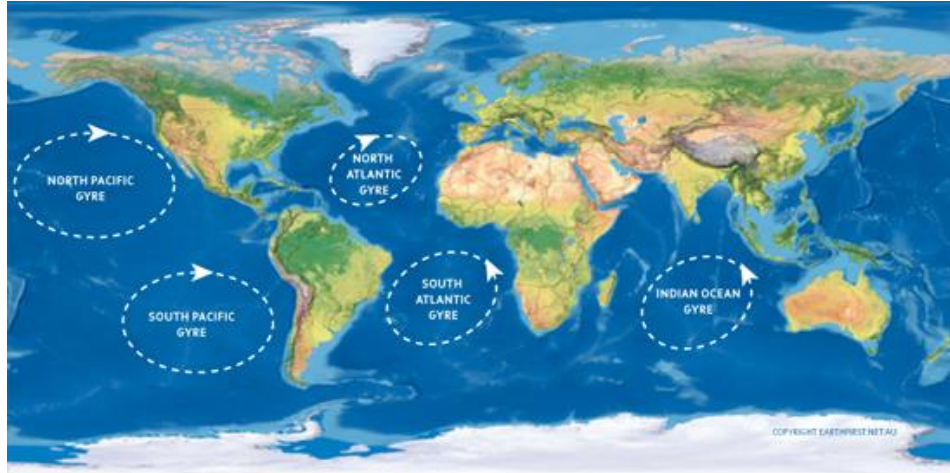


Figura 1.2.3 Situación de los desperdicios plásticos en los océanos del mundo.

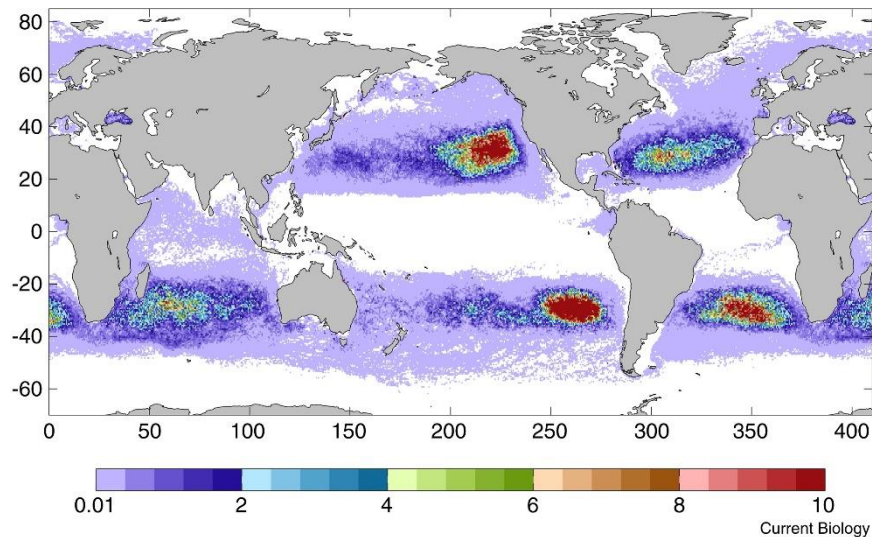


Figura 1.2.4 Situación de los desperdicios plásticos en los océanos del mundo.

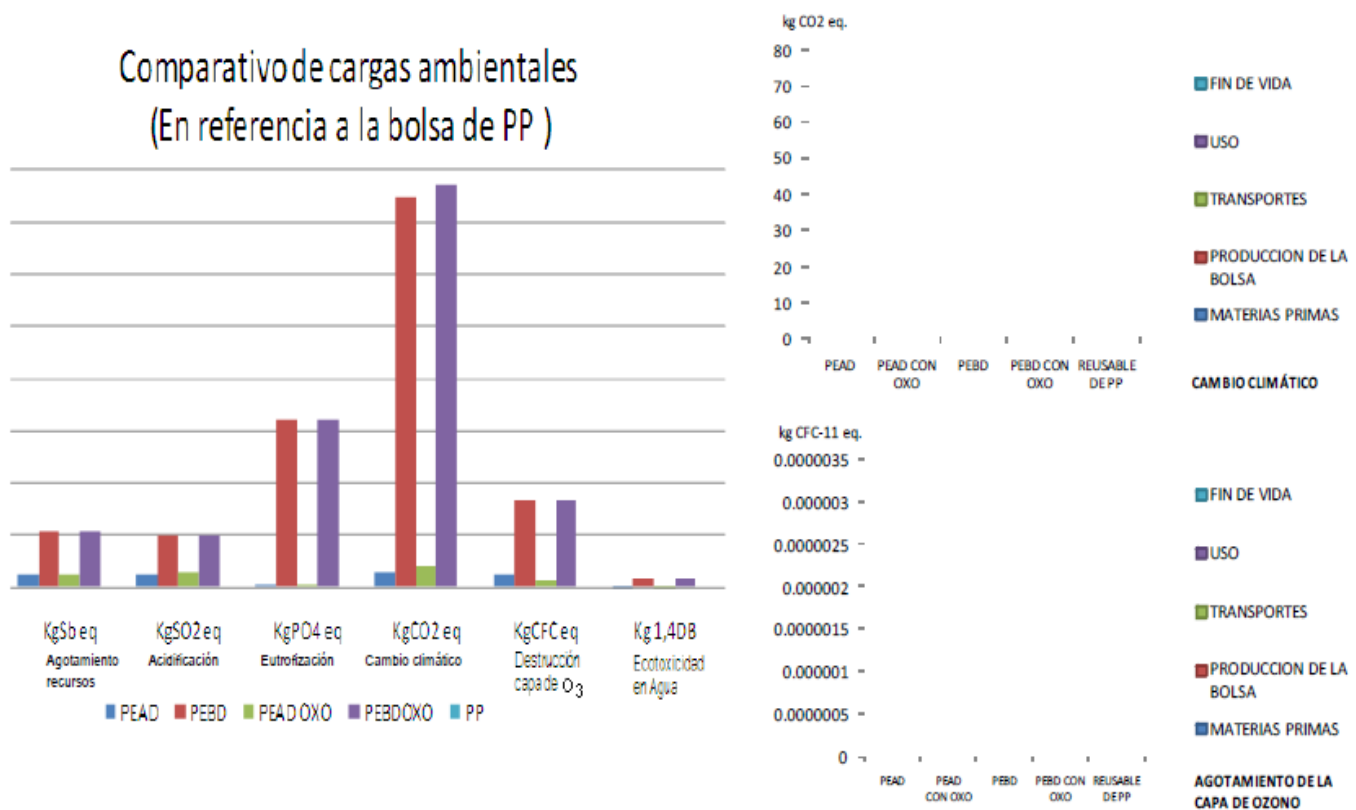
Las áreas de impacto propiciadas por el uso de bolsas de plástico son un factor conducente al cambio climático, agotamiento de recursos abióticos, agotamiento de la capa de ozono ecotoxicidad, eutrofización y acidificación<sup>1</sup>. El siguiente estudio fue

<sup>1</sup> Ecotoxicidad: Es la resultante de la variabilidades toxicas que actúan sobre el ambiente

Eutrofización: Proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total

Acidificación: Es la adición extrema de componentes tales como ácido carbónico ácido sulfhídrico y ozono en el ambiente.

aplicado a la Ciudad de México y su área metropolitana. En la Gráfica 1.2.1 se muestran algunos de los resultados que se obtuvieron.



Gráfica 1.2.1 Comparativo de cargas ambientales (SEMARNAT, 2010).

Con respecto a la gráfica 1.2.1, las bolsas de polipropileno reutilizable presentan menores cargas para el ambiente, en todo el ciclo de vida, en comparación al resto de los materiales utilizados, como podemos observar a continuación, se hace un énfasis en qué materiales generan una mayor o menor carga hacia el ambiente en comparación con otro material utilizado en el estudio, para ejemplificar esto tenemos el primer caso, donde el polipropileno (PP) tiene una menor carga ambiental esto es (agotamiento de recursos, acidificación, etc.) que las bolsas de polietileno de alta densidad (HDPE). Así podemos apreciar y entender los resultados que se muestran a continuación.

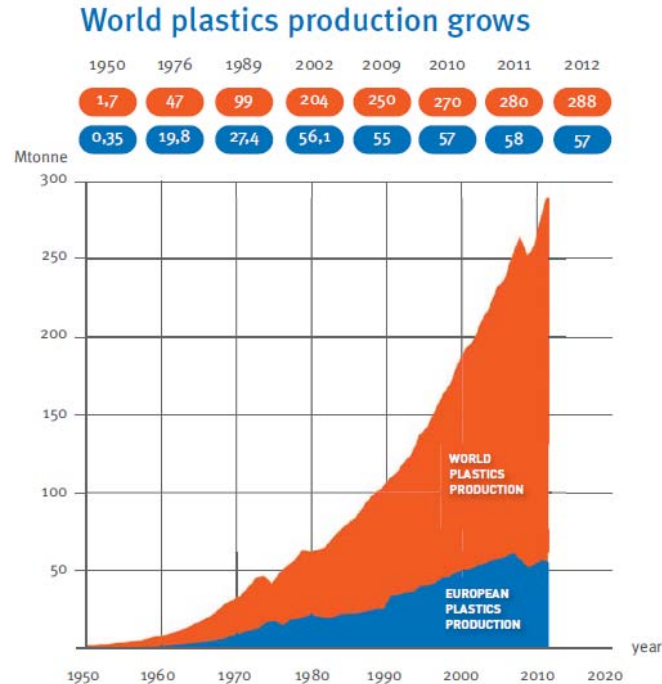
1. El Polipropileno (PP) genera < carga ambiental que el polietileno de alta densidad (HDPE).
2. Polietileno de alta densidad (HDPE) (Con y sin Oxodegradable (OXO)) genera menos carga ambiental que el polietileno de baja densidad (LDPE) (con y sin OXO).



3. Polietileno de baja densidad LDPE (Con y sin OXO) genera 150 veces más carga que el Polipropileno (PP) para el cambio climático.
4. Polietileno de alta densidad (HDPE) (Con y sin OXO) genera 7 veces menos carga que el Polipropileno (PP) hacia el cambio climático.
5. Polietileno de baja densidad (LDPE) (Con y sin OXO) genera 34 veces más carga que Polipropileno (PP) en la destrucción de la capa de ozono.
6. Polietileno de baja densidad (LDPE) emite aprox. 155 veces más Clorofluorocarburos (CFC) a la atmósfera en la fase de producción de materias primas que la opción menos impactante, que es el Polipropileno (PP).
7. Polietileno de baja densidad (LDPE) contribuye 3% más que el Polietileno de baja densidad (LDPE) (OXO) a esta categoría básicamente en la etapa de fin de vida.

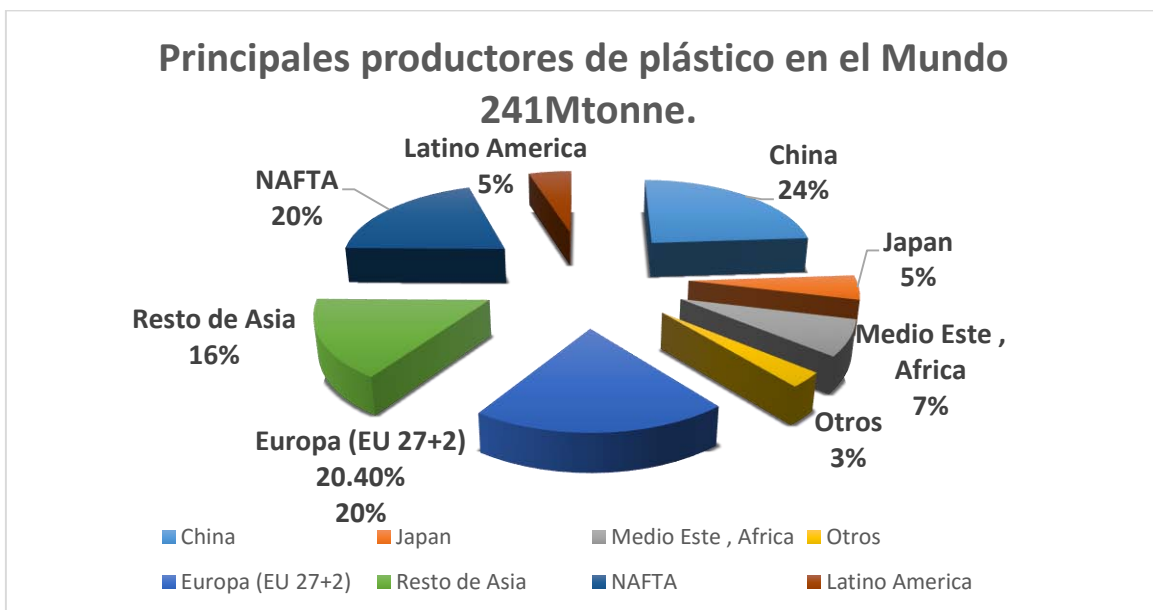
Otra manifestación de la problemática se canaliza en el crecimiento continuo de la producción de plásticos, al mismo tiempo con la pérdida de la confianza y, especialmente, la operacionalidad de tratados como el de Bruntland. Un ejemplo de esto se da en los años 70's donde iniciaron los programas de reciclaje a través de los Estados Unidos para así dar paso años después a nuestro país, pero actualmente se cree que el reciclaje no es la mejor opción dado que se libera mayor energía al ambiente, aunado a eso, la producción de bolsas plásticas no disminuyó por el contrario ha crecido paulatinamente con el paso de los años.

Otro caso más, en 2012, la Industria Europea de Plástico incluyó los productores de Plástico, convertidores de plástico y maquinaria, emplearon alrededor de 1.4 millones de personas. A continuación se muestra la gráfica 1.2.2, que muestra el crecimiento en la producción de plástico, que inicia desde 1950 hasta el 2012, alcanzando los 288 millones de toneladas, esta gráfica incluye termoplásticos, poliuretanos, elastómeros y adhesivos (PlasticsEurope, 2013).



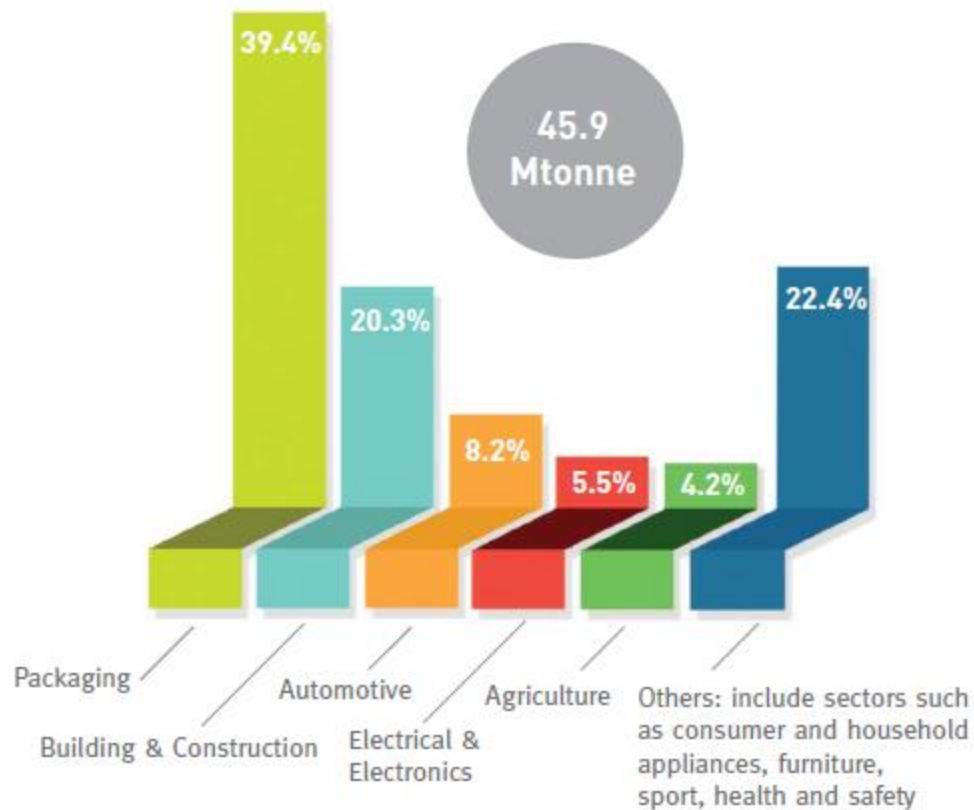
Gráfica 1.2.2 Crecimiento en la producción de plástico desde 1950 hasta 2012 (Plastics Europe, 2013).

A continuación se presenta una gráfica que muestra los principales productores de plástico a nivel mundial se observa que tanto los EU como Europa y China se encuentran a la cabeza. México se encuentra dentro del 19.9% Tratado de libre comercio de América del norte (NAFTA)



Gráfica 1.2.3 Principales productores de plástico en el Mundo.

La gráfica 1.2.2 en conjunto con la 1.2.3 muestran que la producción de plásticos mundial podría representar una condición estratégica ya sea desde la producción hasta su distribución. Esto, es claro en el caso de Europa, ya que la demanda total de plástico representa 45.9 MT (Véase gráfica 1.2.4). Nótese que de la misma grafica 1.2.4 el sector más grande de aplicaciones para la industria del plástico corresponde al empaque (packaging) entre ellas las bolsas, que representan el 39.4% de la demanda total de plásticos por encima de sectores de gran importancia como son el de la construcción y el automotriz.



Gráfica 1.2.4 Sectores de aplicaciones para la industria del plástico.

Una solución parcial y, posiblemente emergente fue la de desarrollar materias primas que permitiesen la coexistencia con materiales biodegradables. Por ello en la industria química se plantearon y se desarrollaron los plásticos biodegradables.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Polímero Biodegradable: Polímero que tiene la funcionalidad de ser biodegradable y cuyo residuo se puede valorizar por digestión anaeróbica o plantas de compostaje industrial. Los criterios que definen si un material es compostable están definidos por las normas: EN 13432, EN 14995, ASTM D6400 y la ISO 17088.

Cuando un plástico es biodegradable, significa que este puede llegar a descomponerse en diversas condiciones proporcionadas por la misma naturaleza, mediante la acción enzimática de microorganismos como son, bacterias, hongos y algas transformándose en nutrientes, dióxido de carbono, agua y biomasa. (Vigilancia tecnológica 2009)

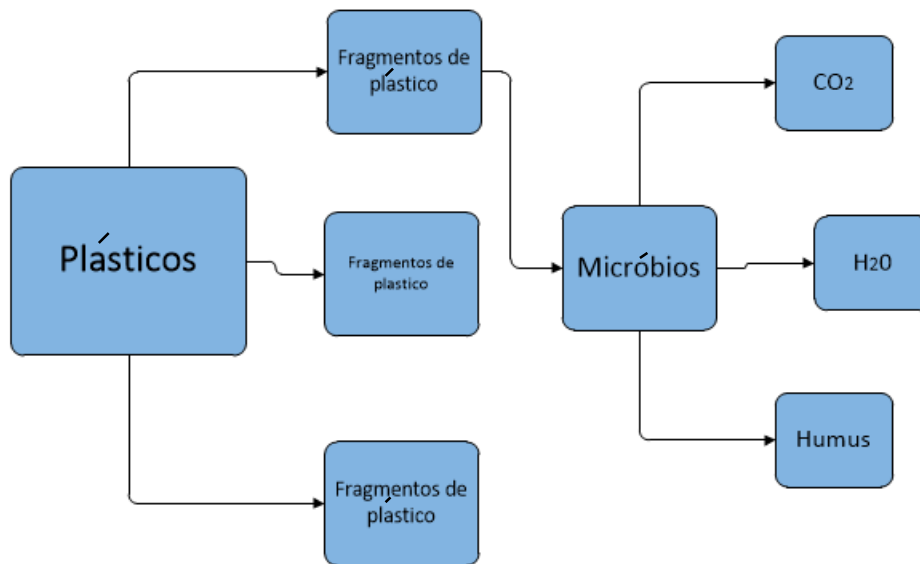


Figura 1.2.5 Biodegradación: Para que dicha biodegradación ocurra los fragmentos de la bolsa son consumidos por microorganismos como comida y fuente de energía, convirtiéndola en dióxido de carbono en un rango aceptable.

Proceso de Biodegradación. (Biodegradable Products Institute (BPI)).

En la figura 1.2.5 se presenta la fragmentación básica de plásticos biodegradables. Primero se tiene que dar una fragmentación para que después se dé la digestión anaeróbica y este se convierta en, dióxido de carbono, agua o biomasa.

Ahora bien, ¿Qué es un material degradable?, este es un material que se le han añadido ciertos aditivos, aditivos que aceleran su degradación física, esta degradación puede ser por medio de diversas vías, como es la luz ultravioleta o por la oxidación gracias al aire.

Existen diversos procesos de degradación como se puede apreciar en la figura 1.2.6

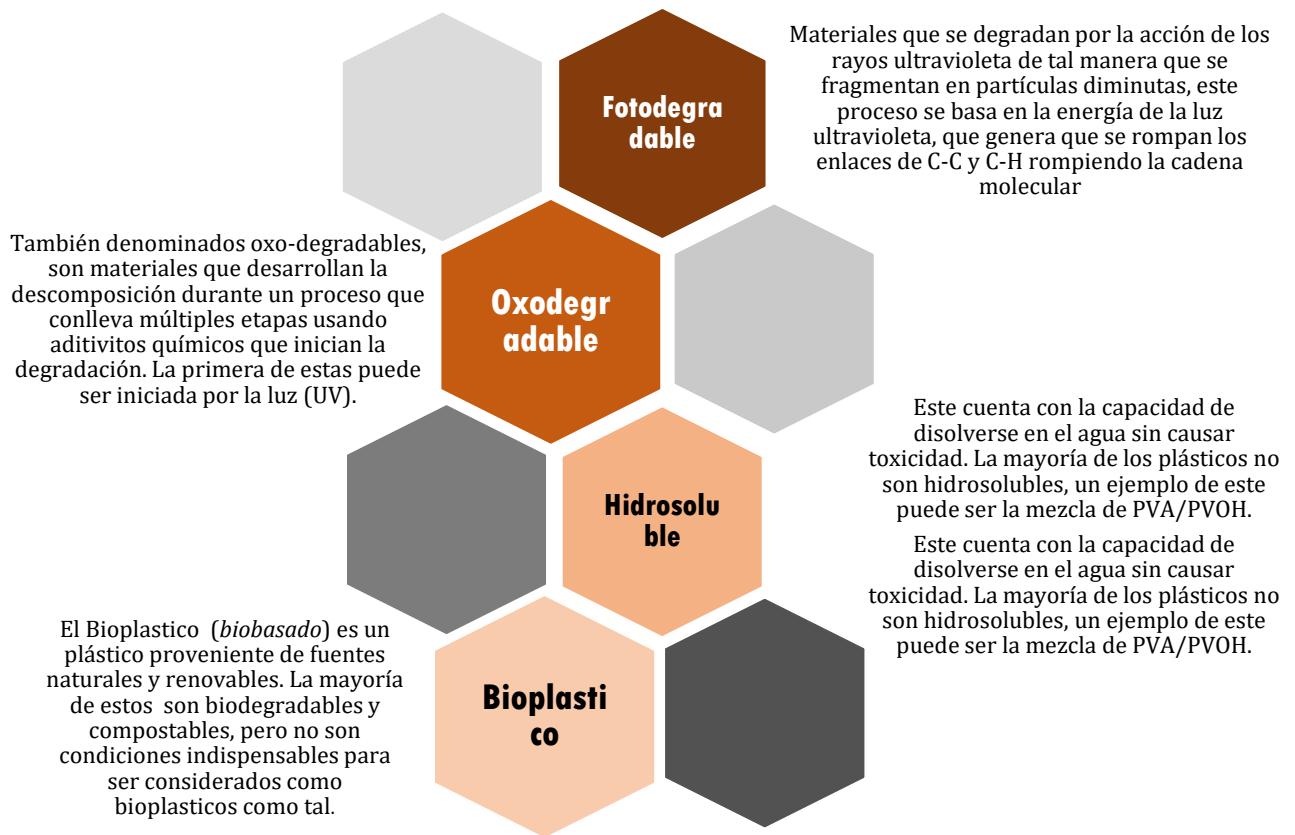


Figura 1.2.6 Procesos de degradación.

En principio, la situación resulta favorecedora por el concepto de sustentabilidad, sin embargo el presente tiene dudas de si realmente las bolsas biodegradables y degradables son buenas para el ambiente, dado el consumo energético requerido para su degradación y/o elaboración.

Para informar y tomar una mejor decisión en el debate ambiental de las bolsas de plástico en los Estados Unidos, la Progressive Bag Alliance contratada junto con Boustead Consulting & Associates (BCAL, US) iniciaron una evaluación del análisis de Ciclo de Vida<sup>3</sup> (*LCA*) por sus siglas en inglés de tres tipos de bolsas: la bolsa tradicional de plástico y comúnmente usada en supermercados, centros comerciales, tiendas etc, la bolsa de plástico compostable ó biodegradable (una mezcla de 65% EcoFlex, 10% de ácido poliláctico o PLA, y 25% de carbonato de calcio) y una bolsa de papel usando al menos 30% de fibras recicladas. (Véase tabla 1.2.1).

<sup>3</sup> Life Cycle Assessment (LCA).

La evaluación se realizó considerando criterios de manufactura, distribución y disposición. A continuación se presenta el resumen del impacto de los diferentes tipos de bolsa (BCAL, 2007).

	Papel	Plástico Compostable	Polietileno
Total de energía Usada (MJ)	2622	2070	763
Combustible Fósil Usado (Kg)	23.2	41.5	14.9
Emisiones de Gas Invernadero (CO2 Equiv. Tons)	0.08	0.18	0.04
Agua fresca Usada (Gal)	1004	1017	0.04
Residuos Sólidos Urbanos (Kg)	33.9	19.2	7.0

Tabla 1.2.1 Mediciones por tipo de bolsa (Equivalente por mil bolsas).

Como se puede apreciar en la tabla 1.2.1 se hizo un comparativo como se mencionó anteriormente entre estos tres materiales que son: papel, plástico compostable y polietileno donde podemos apreciar claramente que tanto el papel como el plástico compostable requieren de un mayor gasto energético tanto en energía usada como combustible, además de consumir una gran cantidad de agua en comparación con las bolsas de polietileno, no hay que olvidar que son las que comúnmente podemos encontrar en los centros comerciales y supermercados.

Otro punto importante y a tener en cuenta son las emisiones de gas invernadero (CO<sub>2</sub>), donde el papel produce el doble de emisiones que el polietileno, el plástico compostable produce casi 4 veces más emisiones generando una gran carga para el medio ambiente.

Estos datos claramente demuestran que se tiene que seguir produciendo únicamente bolsas de plástico gracias a los beneficios que aparentemente se dan, como se puede apreciar en los resultados obtenidos en dicho estudio.

Otra de sus contrapartes sugiere que se regrese a su antecesor natural el papel, pero algunos de los datos que se tienen nos dicen que las bolsas plásticas generan 60% menos emisiones de gas invernadero que las bolsas de papel incompostables (uncomposted paper bags) y 79% menos que las bolsas compostables de papel (composted paper bags) (Science and Engineering, IIT – Delhi).

Mientras que las bolsas de plástico generan 3097 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes a 100 millones de bolsas, sus contrapartes generan 7621 y 14558 toneladas respectivamente por millón de bolsas de papel. (Science and Engineering, IIT – Delhi).

Una bolsa de plástico consume 40% menos energía durante su producción y genera 80% menos de residuos sólidos que las bolsas de papel, a continuación en la tabla 1.2.2 se muestra un estudio realizado por el (Science and Engineering, IIT – Delhi) que hace un comparativo científico entre las bolsas de plástico elaboradas de polietileno contra el papel.

Carga ambiental	polietileno	Papel
Energía (GJ) por manufactura	29	67
Contaminación del Aire	-	-
SO <sub>2</sub>	9.9	28.1
NO <sub>X</sub>	6.8	10.8
CH <sub>X</sub>	3.8	1.5
CO	1	6.4
Polvo	0.5	3.8
COD	0.5	107.8
BOD	0.02	43.1

Tabla 1.2.2 Comparativo científico entre el polietileno y el papel.

Al igual que como se aprecia en la tabla 1.2.1, en la tabla 1.2.2 se muestra claramente que la carga ambiental que produce el papel es mucho mayor si la comparamos con la provocada por el polietileno, en esta tabla nos muestra la energía utilizada para su manufacturación donde el papel consume alrededor del doble de energía requerida para su elaboración, eso sin mencionar la contaminación que esta genera en el aire, como se puede apreciar en la tabla 1.2.2, se genera una mayor cantidad de contaminación en cada una de las categorías exceptuando los Hidrocarburos (CH<sub>X</sub>) donde las bolsas de polietileno generan un poco más del doble que su contra parte el papel.

Además, en un inicio ahorran gran cantidad de espacio tanto para su transportación como para su almacenamiento, por lo que ahorran costos extras, haciéndolo un motivo más por lo que las empresas se sigan inclinando por las bolsas de plástico como primera opción.

Otra de las opciones que se manejan son las bolsas de yute (*jute*), que es una de las fibras naturales más largas y usadas para diversas aplicaciones entre ellas las bolsas.

Esta es extraída de la corteza de la planta del yute blanco y rojo, esta es una fibra natural con un brillo sedoso dorado, este es un cultivo anual que se desarrolla en cerca de 120 días, florece en zonas de tierras bajas tropicales con una humedad del 60% al 90%, con poca necesidad de fertilizantes o plaguicidas, su rendimiento es de cerca de 2 toneladas por hectárea.

Entre sus beneficios ambientales destacan, la fibra de yute es 100% biodegradable y reciclable, por consiguiente, no daña al medio ambiente. Una hectárea de plantas de yute consume cerca de 15 toneladas de dióxido de carbono y libera 11 toneladas de oxígeno y su combustión no genera gases tóxicos, pero algunos opinan lo contrario por ejemplo (Science and Engineering, IIT – Delhi) en donde en algunos de los estudios que realizaron se menciona que la elaboración de dichas bolsas genera mayor carga para el ambiente en comparación con las bolsas de plástico, contaminando en mayor medida tanto agua como aire. Una muestra de ello se muestra en la tabla 1.2.3 que se muestra a continuación donde se hace un comparativo entre las bolsas de jute y las bolsas de plástico.

Carga Ambiental		Bolsa de Jute	Bolsa de Plástico
Emisiones de Aire			
CO	Kg	54.3	0.6
CO <sub>2</sub>	Kg	6610.2	760.0
SOX	Kg	134.8	5.2
NOX	Kg	68.1	4.8
CH <sub>4</sub>	Kg	39.5	3.2
HCl	Kg	5.3	0.0
Polvo	Kg	67.6	1.4
Sólidos suspendidos	Kg	352.3	0.2
Cloruros	kg	4535.5	0.1

Tabla 1.2.3 Comparativo científico entre las bolsas de jute y las bolsas de plástico.

Como se puede observar en la tabla 1.2.3 se muestra un comparativo que analiza la carga ambiental para producir tanto una bolsa de jute y una de plástico, mostrándonos la carga producida de los principales contaminantes primarios atmosféricos como son el CO, CO<sub>2</sub>, SOX, NOX y algunos sólidos suspendidos como también se muestra en la tabla 1.2.2. Como se puede vislumbrar claramente en la tabla 1.2.3 se producen en mayor medida emisiones de estos contaminantes (CO, CO<sub>2</sub>, SOX, NOX) para crear las bolsas de jute, que con su contraparte el plástico en cada una de las categorías, sobrepasando la carga ambiental que generan las bolsas de plástico en mayor cantidad.

La situación resulta problemática porque las técnicas actuales de balances energéticos aun no conducen a resultados satisfactorios, (Cornelissen, 1977) lo cual conduce a tener una parcialidad de entendimiento de las bolsas biodegradables, sus problemas de partida en su producción, su consumo energético y, más aun exergético (medición de la calidad energética) y el planteamiento de alternativas que permitan ser un fundamento para la toma de decisiones con respecto a los diferentes procesos químicos para la elaboración de bolsas biodegradables.



La tesis del presente proyecto de investigación considera que el contexto relacionado con las bolsas de plástico biodegradables es compleja por los factores asociados y además es plural por las decisiones involucradas en su producción y en su uso, agravado por los balances energéticos y las técnicas empleadas para su valoración aun presentan resultados parciales contradictorios y/o incongruentes he aquí una buena razón para considerar a la dinámica de sistemas para caracterizar el futuro de mediano a largo plazo y las transiciones tecnológicas que se puedan esperar en los escenarios que provienen de recursos renovables o de una combinación de entre ellos.

- Las bolsas biodegradables cumplen con los principios de sustentabilidad.
- Desde el punto de vista del gasto energético, las bolsas de plástico parecen ser más eficientes que las biodegradables, papel y yute (Jute).
- La fragmentación de las bolsas biodegradables genera más gases de efecto invernadero que las bolsas de plástico.

A continuación se presentan los objetivos que se pretenden alcanzar con el presente trabajo.

### 1.3 Objetivo de la Tesis

Determinar las retroalimentaciones positivas o negativas que se pueden generar en el comportamiento del uso de bolsas de plástico sometidos a condiciones variables en un modelo de dinámica de sistemas, con el fin de obtener las transiciones tecnológicas a mediano plazo, de acuerdo a las interacciones de flujos, reglas de decisión y stocks de los factores relevantes.

Objetivo 1. Establecer la caracterización química de los materiales utilizados para la creación y/o elaboración de las bolsas de plástico sintéticas y biodegradables.

Objetivo 2. Definir el marco teórico que define los medios para la elaboración, creación e interpretación de los mapas conceptuales y la dinámica de sistemas, con el fin de comprender la base del comportamiento del sistema de las bolsas de plástico.

Objetivo 3. Establecer los elementos, criterios, atributos, restricciones, lugar y tiempo así como el grado de sensibilidad para poder construir el modelo de simulación.

Objetivo 4. Realizar las conclusiones pertinentes en los resultados obtenidos del modelo de simulación.

## 1.4 Hipótesis

Las consecuencias positivas y negativas del uso de las bolsas de plástico pueden cuantificarse mediante la dinámica de sistemas, dado que la dinámica de sistemas puede aplicarse a una amplia gama de procesos, productos y servicios.

## Capítulo 2

### 2 Caracterización química de los plásticos

#### 2.1 Introducción

Como se observa en el primer capítulo del presente trabajo se presentan las principales características que tienen los plásticos, por lo cual son elegidos para ser utilizados en la creación de las bolsas plásticas en vez de sus contrapartes el papel o el jute, ahora bien se abordará con mayor profundidad lo que es un polímero y un plástico, se hablará de su estructura química, como están formados y como es que se forman, que es el polipropileno y las diferencias entre un polipropileno de baja y alta densidad así como las principales características, tanto físicas como químicas del polietileno que son dos de los principales materiales usados actualmente para la creación de las bolsas plásticas como se observó previamente en las Tablas 1.2.1, 1.2.2 y 1.2.3

#### 2.2 Polímeros

La palabra polímero que proviene del griego (muchas piezas), puede llegar a ser considerado como un material sólido y este está conformado por la unión de muchas moléculas de hidrógeno y carbono, químicamente enlazadas entre sí para formarlo (monómeros), estos monómeros, pueden darse tanto en productos sintéticos como en la naturaleza, frecuentemente se usa el término polímero como sinónimo de plástico, pero aunque todos los plásticos están basados en estas cadenas, no todos los polímeros se les considera como plásticos, como por ejemplo la seda, un polímero natural, el ámbar o la madera, por mencionar algunos de estos polímeros naturales.

El crecimiento de las aplicaciones de los polímeros sintéticos es en verdad impresionante. Sobre una base volumétrica, el uso anual de ellos supera incluso al metal, algunas de las razones por las que estos están ganando terreno a través de los años son, entre otras, que es posible dar forma a los plásticos en formas intrincadas sin necesidad de grandes procesamientos, poseen densidad baja, lo que tanto los cerámicos como los metales no poseen, además de una buena relación resistencia peso, no se corroen fácilmente y tienen baja conducción eléctrica y requieren menos energía que los metales para producirse (William F. Smith, 1999).

#### 2.3 Plástico

A partir del conocimiento generado a través de los años, tanto científico como técnico de los polímeros, han surgido un sin número de familias de polímeros sintéticos, conocidos como resinas a las cuales suele agregársele aditivos y el material resultante

es al que se le conoce como plástico, estos llegan a ofrecer excelentes propiedades térmicas, aislantes, resistencia a ácidos, bases y disolventes y de ratio (resistencia/peso).

Los plásticos pueden dividirse en dos clases, termoplásticos y termoestables, dependiendo de la estructura química de su enlace. Los elastómeros o cauchos pueden llegar a deformarse de forma elástica cuando se les aplica determinada fuerza sin llegar a fracturarse cuando se deja de aplicar dicha fuerza.

## 2.4 Termoplásticos

Estos necesitan calor para poder ser deformados y después al enfriarse estos mantienen la forma en la que fueron moldeados, estos materiales pueden volver a calentarse para ser remodelados varias veces sin que haya un cambio significativo en sus propiedades. La mayoría de los termoplásticos, consisten en cadenas principales muy largas de átomos de carbono enlazados entre sí. Algunas veces también se encuentran enlazados en la cadena principal de forma covalente átomos de nitrógeno, oxígeno o azufre.<sup>4</sup>

## 2.5 Plásticos Termoestables

Los plásticos termoestables que adquieren una forma permanente y son curados mediante una reacción química no pueden ser refundidos o remodelados dado que estos no mantienen sus propiedades químicas, por lo contrario estos se degradan al ser calentados.

Estos se componen de una red covalente de átomos de carbono enlazados entre sí para formar un sólido rígido. Algunas veces el nitrógeno, oxígeno y azufre se enlazan de forma covalente en la red de estructura reticular del plástico termoestable.

La mayoría de los termoplásticos se sintetizan mediante el proceso de crecimiento de la cadena de polimerización. En este proceso las moléculas se enlazan covalentemente para formar cadenas moleculares muy largas, estas cadenas largas se denominan **monómeros**. La molécula de cadena larga formada por monómeros se denomina **polímero**. Al proceso químico por el cual estos monómeros se combinan se llama **polimerización**.

La reacción general para la polimerización de los monómeros de etileno en polietileno que es uno de los principales materiales usados en la fabricación de bolsas junto a otros materiales que mencionaremos más adelante puede escribirse como se muestra en la figura 2.5.1 (William F. Smith, 1999).

---

<sup>4</sup> Enlace covalente: es la unión que se da como resultado de la unión entre átomos con pequeñas o nulas diferencias de electronegatividad que comparten uno o más pares de electrones para formar el octeto.



*forma covalente con los electrones libres de otras moléculas. Nótese que el doble enlace covalente entre los dos átomos de carbono ha sido reducido a un enlace sencillo. (b) Notación de línea. Los electrones libres creados en los extremos de la molécula se indican por medios enlaces que están enlazados a un átomo de carbono (William F. Smith, 1999).*

La subunidad repetida en la cadena de polímero se denomina un mero. El mero de polietileno es [-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-] y se indica en la ecuación de arriba. La n en la ecuación se conoce como el grado de polimerización (GP) de la cadena del polímero y es igual al número de subunidades de meros en la cadena del polímero molecular

El GP promedio para el polietileno varía de 3500 a 25000 g/mol, correspondiendo a masas moleculares promedio que varían de 100000 a 700000 g/mol (William F. Smith, 1999)

## 2.6 Polimerización

Así bien para formar el polietileno es necesario crear reacciones de polimerización en cadenas de monómeros, como mencionamos previamente, estas reacciones se pueden dividir en 3 etapas: iniciación, propagación y terminación.

### 2.6.1 Iniciación

Para la polimerización en la cadena de etileno pueden utilizarse diversos catalizadores que actúan como generadores de radicales libres. Esto es que cuentan con un electrón desapareado o (libre) que puede enlazarse de forma covalente para crear el octeto junto con otra molécula un ejemplo pudiera ser como se muestra en la figura 2.6.1

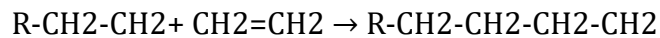


Figura 2.6.1 Proceso de Iniciación de una cadena de polipropileno.

Si H-O-O-H representa un peróxido de hidrogeno, este peróxido puede descomponerse en dos radicales libres, así uno de los radicales libres creados por esta descomposición del peróxido orgánico puede reaccionar con una molécula de etileno para formar un nuevo radical libre (William F. Smith, 1999).

## 2.6.2 Propagación

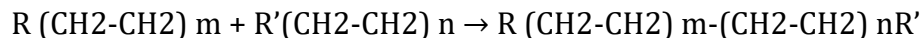
El proceso que consiste en aumentar la cadena del polímero por sucesivas adiciones de unidades de monómeros se denomina propagación. El doble enlace al final de la unidad de monómero de etileno puede ser abierto, y generar un radical libre para así, enlazarse de forma covalente. Entonces, la cadena polimérica se extiende por la reacción;



Las cadenas del polímero mantienen el crecimiento espontáneamente porque la energía del sistema químico disminuye por el proceso de polimerización. (Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tercera Edición)

## 2.6.3 Terminación

En la etapa de terminación puede concluir el crecimiento de la cadena por la adición de un radical libre de acabado o cuando dos cadenas en crecimiento se combinan, otra posibilidad es que trazas de impurezas puedan terminar la cadena polimérica.



Cuando un monómero tiene dos enlaces, pueden reaccionar con otros dos monómeros por repetición del enlace con otros monómeros del mismo tipo, estos pueden formar un polímero lineal de cadena larga.

Si examinamos microscópicamente una pequeña longitud de la cadena del polietileno, encontramos que tiene una configuración en zigzag, debido a que el ángulo del enlace covalente entre dos enlaces simples carbono-carbono es de unos  $109^\circ$ . El enlace entre las cadenas largas del polietileno consiste en enlaces permanentes dipolares secundarios débiles. Sin embargo, el enmarañado físico de las largas cadenas moleculares añade resistencia de este tipo de material polimérico (William F. Smith, 1999).

Ahora bien después de conocer las principales características tanto de los polímeros como de los plásticos vamos a pasar a los principales materiales utilizados en el mercado, cuales son, algunas de sus principales características y por qué están los han llevado a ser los elegidos para la fabricación de las bolsas plásticas.

## 2.7 Principales materiales utilizados en el mercado

Los cuatro principales materiales, utilizados son; el polietileno, policloruro de vinilo, polipropileno y poliestireno, estos representan cerca del 60% de las ventas totales en toneladas.

Estos materiales tienen un relativo precio, por lo cual es una de las principales causas del uso de estos en la industria y de su implementación a muchas de las aplicaciones en la ingeniería, como a la creación de productos elaborados con dichos materiales.

A continuación nos enfocaremos en el polietileno, polipropileno y polímeros biodegradables.

## 2.7.1 Introducción al polietileno y polipropileno

A continuación daremos una breve descripción de las características químicas como físicas del polietileno y el polipropileno que son dos de los principales materiales utilizados para la creación de las bolsas plásticas, donde conoceremos el porqué del uso de dichos materiales para la creación de estas.

### 2.7.1.1 Polietileno

El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino de transparente a traslucido que frecuentemente es fabricado en láminas y pueden llegar a aplicársele colorantes para así obtener una gran variedad de productos coloreados.

Tipos de polietileno: En general hay dos tipos de polietileno; (1) de baja densidad (LDPE) y (2) de alta densidad (HDPE). El de baja densidad tiene una estructura de cadena enmarañada, mientras que el polietileno de alta densidad tiene esencialmente una estructura de cadena recta.

El polietileno de baja densidad fue producido comercialmente por primera vez en el Reino Unido en 1939 mediante reactores autoclave (o tubular) necesitando presiones de 14500psi (100 Mpa) y una temperatura de unos 300°C. El polietileno de alta densidad fue producido comercialmente por primera vez en 1956-1959 mediante los procesos Philips y Ziegler utilizando un catalizador especial. En estos procesos la presión y temperatura para la reacción de conversión del etileno en polietileno fue considerablemente más baja. Por ejemplo, el proceso Philips opera de 100 a 150 °C y 290 a 580 psi (2 a 4 Mpa) de presión. (Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tercera Edición).

Años después en 1976 se desarrolló un nuevo proceso disminuyendo la presión para su producción, requiriendo únicamente de 100 a 300 psi (0.7 a 2 Mpa) y una temperatura de 100°C. (William F. Smith, 1999).

### 2.7.1.2 Polipropileno

El polipropileno pudiera entrar entre los plásticos más importantes si nos enfocáramos únicamente en cuestión de ventas, dado que es uno de los de más bajo coste.



Este es un material más duro y menos flexible, además de contar con temperaturas de fusión y de deformación por calor más altas que las del polietileno.

El polipropileno cuenta con un equilibrio interesante de sus propiedades gracias a esto pueden producirse una gran gama de productos manufacturados. Buena resistencia química, a la humedad y al calor, además de una baja densidad (0,900 a 0,910 g/cm<sup>3</sup>). Buena dureza superficial y estabilidad dimensional le permiten ello.

Las principales aplicaciones de estos dos materiales son los utensilios domésticos, piezas de dispositivos, botellas y empaquetados.

## 2.7.2 Polímeros Biodegradables

Gracias al constante crecimiento y desarrollo de nuevas tecnologías que han aumentado la efectividad de los procesos de polimerización, se ha generado con el paso de los años un aumento en la producción de bolsas plásticas a partir de polímeros como son el polietileno, polipropileno, poliestireno y policloruro de vinilo (PVC), sin mencionar que su producción es a muy bajo costo permitiendo a las empresas tener una buena rentabilidad.

Pero al mismo tiempo esto se ha convertido en un gran problema alrededor del mundo gracias a su uso inmoderado, por esto, la necesidad de desarrollar recursos renovables. Como son las bolsas biodegradables y/o degradables debido a la mejor degradabilidad de la biomasa sobre los plásticos convencionales, las mezclas de polímero de biomasa fueron el primer paso en la provisión de alternativas para ayudar a reducir los residuos plásticos.

En particular la lignocelulosa, que es biomasa que se puede encontrar en abundancia en el ambiente al igual que los almidones usados para la creación de las bolsas degradables, tanto la lignocelulosa como los almidones son mezclados con polímeros sintéticos, el resultado son estos polímeros que son parcialmente biodegradables puesto que solo son consumidas ciertas partes principalmente donde se centran los almidones y la lignocelulosa estos son consumidos por los microorganismos y la parte restante de las bolsas queda parcialmente en el ambiente.

En los últimos años se ha enfocado en el desarrollo de polímeros amigables para el ambiente, esto es que se degraden naturalmente en el ambiente cuando son depositados en él, los polímeros biodegradables pueden dividirse en dos categorías que son: derivados de petróleo y derivados de microorganismos como se puede apreciar en la figura 2.7.2.1

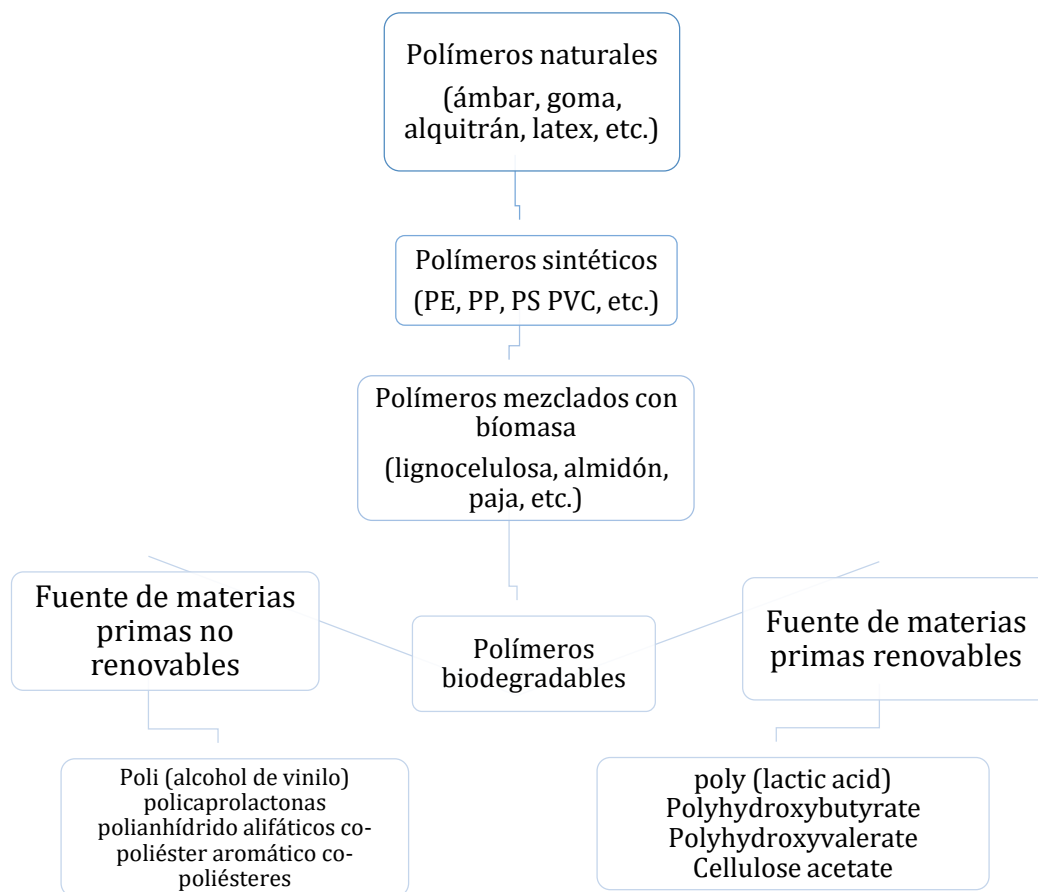


Figura. 2.7.2.1 Tendencias en el desarrollo de los polímeros a través de la historia (Handbook Biopolymers and Biodegradable Plastics, 2012).

Como se aprecia en la parte superior tenemos los primeros polímeros utilizados por los seres humanos, que son por ejemplo; el ámbar y la seda polímeros naturales, después damos paso a los polímeros sintéticos, como son el polipropileno y el polietileno, después tenemos los polímeros mezclados con biomasa que, como se mencionó previamente son solo biodegradados parcialmente en el ambiente por lo que la búsqueda aún continúa, es ahí donde aparecen estos polímeros biodegradables tanto a base de materiales no renovables como renovables donde en los materiales no renovables el costo de estos depende mucho de la fluctuación tanto de los crudos del petróleo y estos a pesar de ser biodegradables el proceso de elaboración no es amigable con el ambiente.

También existen otra clase de productos entre ellos están el llamado OXO-degradables que ha causado controversia dado que su degradación se genera por medio de un catalizador adherido normalmente a las bolsas de polietileno y polipropileno en

cantidades diminutas, menos del 1% pero estas son derivados de petróleo por lo que generan gases de efecto invernadero además de que al momento de degradarse genera ciertos residuos que pueden disolverse tanto en el agua como en el ambiente y estos pueden ser ingeridos por animales y estos a su vez ser ingeridos por otros animales y/o seres humanos y/o respirados.

En el 2006 la producción mundial de Polyvinyl alcohol (PVOH, PVA, or PVAL) que es junto con Poly(lactic acid) or polylactide (PLA) los dos principales polímeros biodegradables elaborados, alcanzaron cerca del millón de toneladas métricas de producción, donde su principal mercado es el textil y adhesivos solo una pequeña parte es dedicada para aplicaciones de empaque (entre ellas las bolsas plásticas). Donde el mayor productor es China con 45% de la producción mundial, los Estados Unidos con cerca del 16% de la producción mundial (Handbook Biopolymers and Biodegradable Plastics, 2012).

Generalmente (PLA'S) es un monómero de ácido láctico, este puede ser obtenido por la fermentación de la dextrosa por bacterias; la dextrosa es un derivado de las plantas de almidón, por lo tanto (PLA) es un polímero a base de recursos renovables que cuenta con el potencial para reducir su dependencia de ser tratados y/o reciclados por nosotros a diferencia de los plásticos a base de recursos fósiles (Handbook Biopolymers and Biodegradable Plastics, 2012).

La mayor parte de los polímeros biodegradables se encuentran en el grupo del poliéster como se puede apreciar en la figura 2.7.2.2 estos pueden ser derivados de recursos renovables o no renovables como lo vimos anteriormente. Los polímeros biodegradables no están limitados a ser puros, también pueden incluir copolímeros (polimerización de diferentes monómeros) (Handbook Biopolymers and Biodegradable Plastics, 2012).

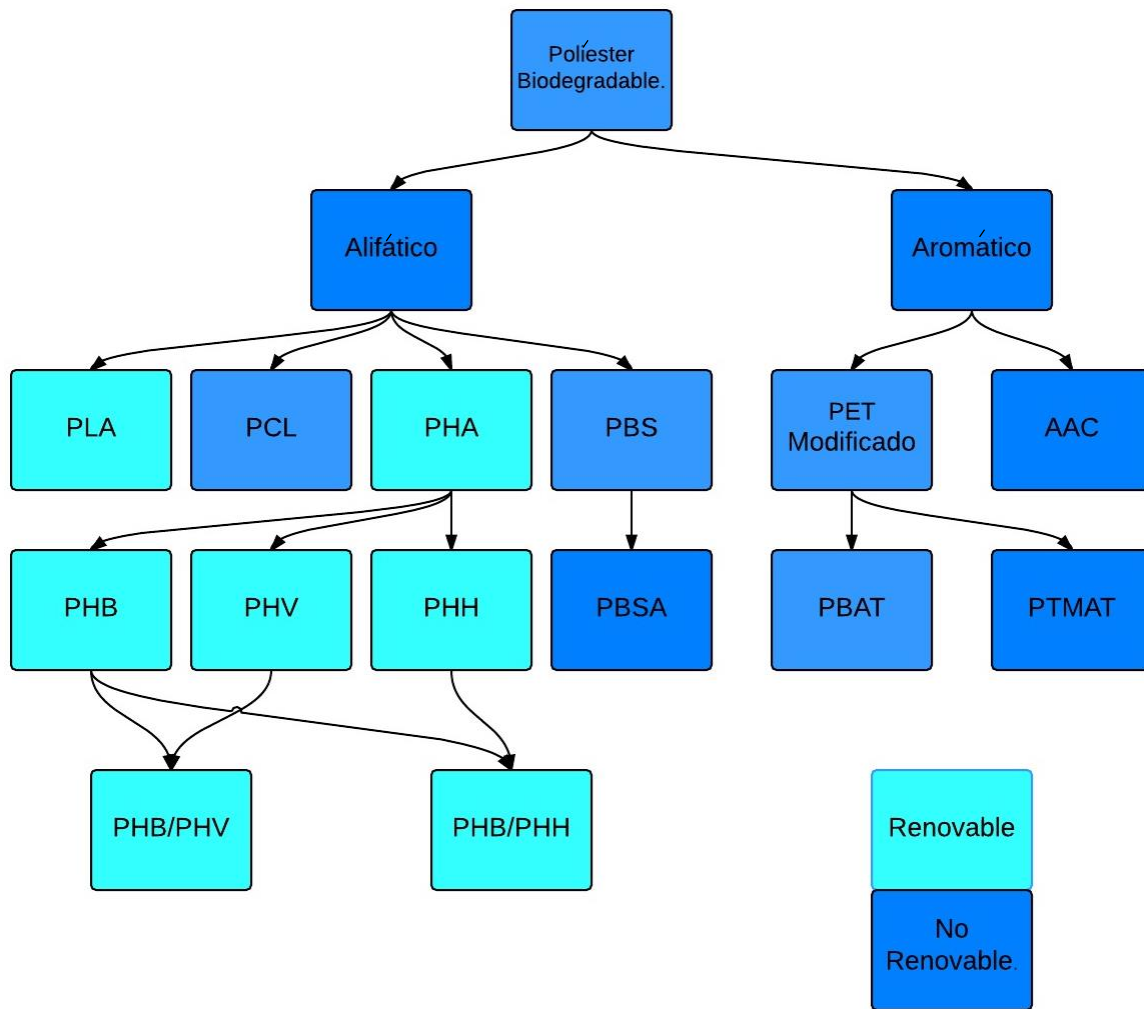


Figura. 2.7.2.2 Familia del Poliéster Biodegradable (Handbook Biopolymers and Biodegradable Plastics, 2012).

- AAC: Los copoliésteres alifáticos-aromáticos.
- PBAT: Poli (adipato de butileno / tereftalato).
- PET: Poli (tereftalato de etileno).
- PBS: Poli (succinato de etileno).
- PBSA: Poli (butileno succinato / adipato).
- PCL: Policaprolactona.
- PLA: Poli (ácido láctico).
- PHB: Poli (hidroxi butirato).
- PHH: Poli (hidroxi hexanoato).
- PHV: Poli (hidroxi valerato).
- PTMAT: Poli (adipato de tetrametileno / tereftalato).

Como se pudo ver en la figura 2.7.2.2 los materiales biodegradables pueden estar divididos en dos grupos: alifáticos y aromáticos, con miembros en cada grupo derivados de recursos renovables y no renovables.

Entre ellos se encuentra la German Industry and Global Enterprise (BASF) que ha introducido su alifático-aromático copoliéster (AAC) bajo el nombre de Ecoflex® que es usado como lo vimos anteriormente para elaborar empaques y películas, de acuerdo al sitio web de BASF'S s donde su producción anual ha aumentado a 60.000MT con un aumento de 20% por año un estudio realizado por BASF(2009) muestra que el (AAC) de Ecoflex ® es comparable con la biodegradabilidad a base de biomasa de celulosa que es 90% degradada en 180 días estudio realizado por la CEN (European Committee for Standardization, EN 13432).

Esto ha demostrado que los materiales biodegradables a base de petróleo pueden ser tan buenos como los materiales naturales (Handbook Biopolymers and Biodegradable Plastics, 2006).

A continuación se muestra una tabla de los principales polímeros biodegradables que se pueden encontrar en el mercado.

Tabla 2.7.2.1 Algunos de los polímeros biodegradables más comunes en el mercado (Handbook Biopolymers and Biodegradable Plastics, 2012). Se muestra claramente que a pesar de que este se desintegra en una mínima cantidad de tiempo en comparación con sus contrapartes el polietileno o polipropileno, la carga ambiental que este genera en el ambiente sigue siendo mucho mayor por lo que sigue existiendo reservas.

Polímero	Composición química	Productor	Aplicaciones	Biodegradabilidad
<b>Policaprolactona (PCL)</b>	$\left[ \text{C} - (\text{CH}_2)_5 - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} \right]_n$	DURECT Corporation Lactel Daicel Chemical Industry: celgreen Union Carbide Corporation TONE Solvay Group: CAPA	Ethicon: Monocryl – sutura Capronor – implante anticonceptivo Agrotec: Agrothane – pintura y film de protección para metal	>12 meses

		Purac: Purasorb PC12		
<b>Poliglicolida o ácido poliglicólico (PGA)</b>		Purac: Purasorb PG 20 Teleflex Incorporated Kureha Corporation	Dolphin: Petcryl- suturas Bondek – suturas Dexon S- suturas DemeTech- suturas	>3 meses
<b>Polihidroxiacanoato: polihidroxi butirato (PHB) y polihidroxi valerato (PHV)</b>		Metabolix/ ADM (Telles):Mi rel Ningbo Tianan Biologic Material: Enmat Copersucar: Biocycle Biomer: Biomer	Bolsas compostables Embalaje de consumo Film para Agricultura/horticultura. Rubbermaid, Calphalon, PaperMate BioTuf EcoGen	3-12 meses
<b>Polidioxanona (PDO)</b>		Ethticon Samyang	DemeTech suturas Duracryl suturas D-Tek suturas Surgeasy suturas Ethicon PDS II suturas OrthoSorb pin	<7 meses
<b>Acetato celulósico</b>		Celanese Rhodia	Filtro para cigarros Textiles Monturas de gafas Film para película	<24 meses dependiendo del contenido del acetato.

## Capítulo 3

### 3 Marco teórico: Dinámica de sistemas, ciclo de vida y métodos

El origen de la dinámica de sistemas es comprender la base del comportamiento de un sistema, pero para ello tenemos que comprender como funciona dicho sistema algunas de las herramientas que nos servirán para poder comprenderlo de una mejor manera son tanto el análisis de ciclo de vida que es una herramienta que ayuda a identificar los efectos que un producto o servicio genera en el ambiente desde la obtención del material (crudo), hasta su disposición final, como la comprensión de diversos tipos de mapas conceptuales, tanto su estructura como su construcción, a continuación hablaremos de cada una de ellas con más detalle.

#### 3.1 Dinámica de Sistemas

El origen de la dinámica de sistemas está ligado al desarrollo de una nueva aplicación que analizaba los pedidos de una empresa de componentes electrónicos, en ésta se apreciaba que, aunque el flujo de pedidos se esperaba constante dado que los clientes eran pocos estos fluctuaban demasiado.

Se investigaron técnicas de investigación operativa y se realizaron simulaciones bajo el método de Monte-Carlo, dirigido todo por el grupo de J. Forrester. Pero aun así este método resultó ser insuficiente para dar una explicación razonable y no solo eso, además se descubrió una combinación de retrasos a la hora de transmitir la información.

Este trabajo dio pie a una posterior sistematización del comportamiento de sistemas en términos de bucles de realimentación y retrasos, dando lugar a la dinámica de sistemas. Desarrollada en el MIT bajo la dirección nuevamente de J. Forrester.

El objetivo básico de la dinámica de sistemas es comprender la base del comportamiento de un sistema, lo que implica, no solo tener un conocimiento sobre el conjunto, si no tener el conocimiento sobre el papel que ejerce cada elemento en dicho sistema, y ver como diferentes acciones, efectuadas sobre diferentes partes del sistema, acentúan o atenúan diversas tendencias de comportamiento en el sistema y en cada una de las partes que lo componen.

La principal característica que diferencia a la dinámica de sistemas con otras metodologías es que permite analizar el sistema como tal (que funciona, y como es que funciona, gracias a la interacción de varias funciones tanto individualmente, pero también como un todo y no de manera aislada) este sistema, no pretende predecir detalladamente el futuro, el estudio del sistema y el ensayo del mismo enriquecerá

nuestro conocimiento de todos los factores, permitiendo al que crea el modelo analizar los resultados y comprobar sus hipótesis sobre el sistema y así crear nuevas hipótesis y obtener nuevos resultados y mejorar la efectividad de las mismas, además este estudio puede ser llevado a largo plazo, logrando así un estudio más detallado de todos los factores, observando aspectos significativos de la evolución del sistema, dado que algunos factores solo pueden verse a través de los años.

Así, la Dinámica de Sistemas permite la construcción de modelos tras un análisis cuidadoso de cada uno de los elementos, este análisis permite extraer la lógica interna del modelo, y con ello lograr un conocimiento de su evolución en el sistema a largo plazo, este modelo no se ajusta a datos históricos, los deja en un plano secundario, siendo el análisis de la lógica interna así como las relaciones estructurales en el modelo, el principal elemento de estudio.

No existen pasos preestablecidos para el modelado de un sistema en la dinámica de sistemas, pero si se pueden manejar ciertas pautas o principios básicos que pueden llevar a la correcta modelación e incorporación de cada una de las partes como puede ser; la definición del problema, la descripción del mismo, ya que contamos con ello debemos identificar las variables más trascendentales y con quienes están comunicadas para poder analizar el comportamiento de dicha cadena (bucles).

Después de conocer el problema junto con las variables podemos realizar la elaboración del modelo, añadiendo los parámetros pertinentes, para así, poder realizar tanto el modelo matemático como el modelo por computadora, para poder posteriormente evaluarlo y analizarlo.

Cabe recalcar que en la dinámica de sistemas debe revisarse y corregirse continuamente el modelo, para así mantenerse de la manera más real posible.

La Dinámica de Sistemas nos permite:

- Identificar el problema
- Desarrollar hipótesis dinámicas que explican las causas del problema
- Construir un modelo de simulación del sistema que permita analizar la raíz del problema
- Verificar que el modelo reproduce de forma satisfactoria el comportamiento observado de la realidad
- Probar en el modelo las diferentes alternativas o políticas que solucionan el problema, e implementar una mejor solución.



## 3.2 Existencia de bucles de realimentación

Un bucle de realimentación se define como, una cadena cerrada de acciones elementales entre los elementos de un sistema.

En la figura 3.2.1 muestra el bucle de realimentación de un sistema poblacional, en él se muestra que mientras más nacimientos existan abra más población y por lo tanto más nacimientos con el paso de los años cabe mencionar que una de las variables principales en cada modelo es el tiempo.

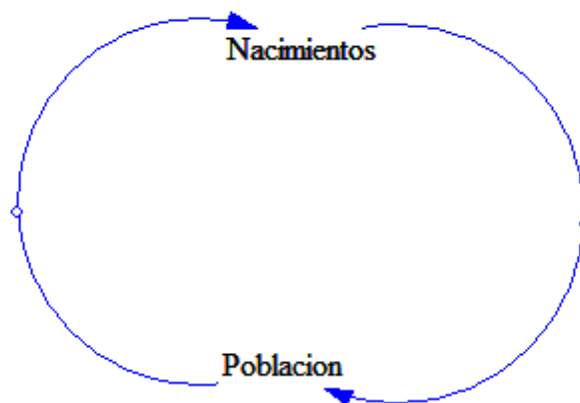


Figura 3.2.1 Bucle de realimentación de un sistema poblacional.

En los sistemas simples la causa y el efecto se suelen producir cercanos en el tiempo y en el lugar. Por el contrario, en sistemas complejos objeto de nuestro estudio la causa puede estar muy alejada tanto en el tiempo como en el lugar del efecto.

## 3.3 Insensibilidad

La noción de sensibilidad pretende establecer en qué medida se altera el comportamiento normal de un modelo, como consecuencia de la variación de sus componentes.

La existencia de bucles de realimentación en el sistema reduce la sensibilidad del sistema respecto a sus parámetros.

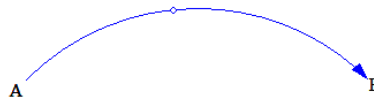
La Dinámica de Sistemas se va a ocupar solamente de aquellos sistemas que pueden ser representados en forma continua y determinista.

$$\frac{dy}{dt} = \Phi(y, u, t)$$

### 3.4 Diagramas Causales

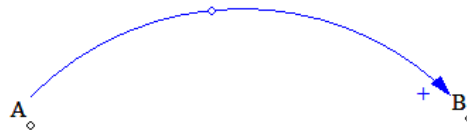
Representa las relaciones de influencia que se dan entre los elementos de un sistema y por lo tanto permite conocer la estructura del mismo.

La relación entre una variable A y otra B del sistema se representaran mediante una flecha

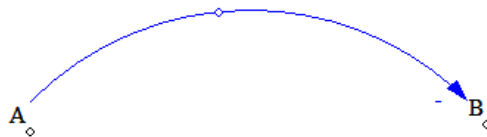


Leyéndose "A influencia a B"

Sobre la flecha se indicará mediante signo + o - el tipo de relación



Siendo positiva cuando las variaciones de A y B son del mismo sentido, y



Negativa en caso de variación de sentido contrario.

Si aplicamos el ejemplo de la figura 3.2.1 pero lo analizamos mediante una relación contraria a como lo hicimos previamente tenemos que (véase figura 3.4.1).

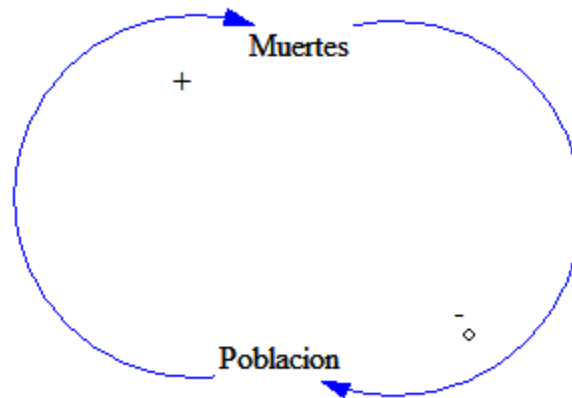


Figura 3.4.1 Bucle de realimentación de un sistema poblacional.

Como se puede apreciar en la figura 3.4.1, aquí los signos juegan un papel importante como se puede apreciar, al haber más muertes existe una menor cantidad de población, caso contrario con el ejemplo anterior donde existían más nacimientos por lo tanto más población.

El desarrollo del diagrama causal es un proceso que implica la realización de

- Observaciones sobre el sistema
- Discusiones con especialistas
- Análisis sobre datos del sistema

El proceso seguido en el desarrollo sigue los pasos a continuación mencionados:

- 1.- Elección de variables o elementos a representar del modelo del sistema.
- 2.- Evaluación cualitativa (no numérica) de las relaciones entre estos elementos si es que existen.
- 3.- Construcción del diagrama causal

Los diagramas causales se clasifican según su estructura como se puede apreciar a continuación.

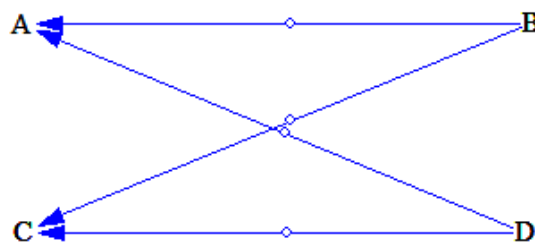


Figura 3.4.2 Diagramas abiertos, de estructura simple.

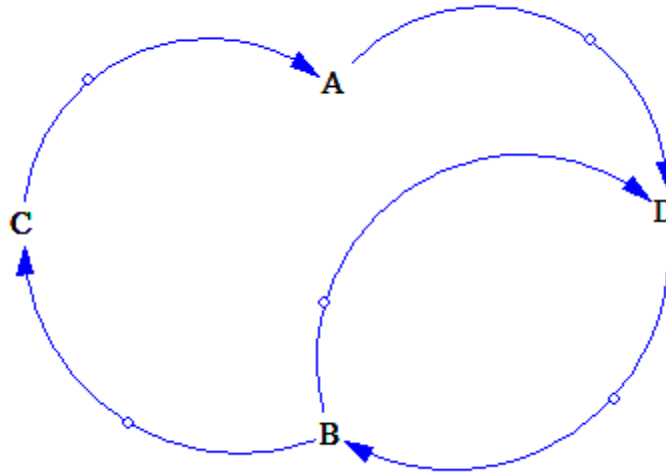


Figura 3.4.3 Diagramas cerrados, de estructura compleja o bucles de realimentación.

Como se puede apreciar tanto en la figura 3.4.2 El sistema se encuentra abierto por que no todos los parámetros están involucrados, en cambio en la figura 3.4.3 siguiente se puede observar que el modelo crea una especie de círculo, donde los elementos tienen interacción unos con otros creando un círculo por esto que se le denomina sistema cerrado.

### 3.5 Tipos de Realimentación

Como vimos anteriormente los bucles de realimentación pueden ser de dos tipos:

**Realimentación positiva:** Aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que refuerza la variación inicial, es decir tienden a generar comportamiento de crecimiento.

En general, un bucle de realimentación es positivo si contiene un número par de relaciones negativas o bien todas las relaciones son positivas, como se muestra en el ejemplo poblacional de la figura 3.2.1

**Realimentación negativa:** Aquellos en los que una variación de un elemento se transmite a lo largo del bucle de manera que determine una variación que contrarreste la variación inicial. Tiende a generar comportamiento de equilibrio, como se muestra en la figura 3.5.1

Ejemplo: Natalidad de población con influencia de comida.

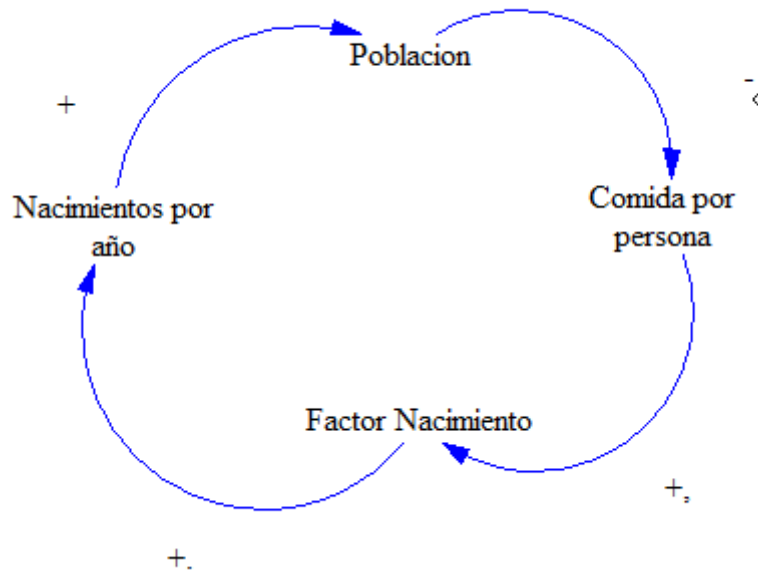


Figura 3.5.1 Ejemplo de bucle de realimentación negativa.

Un bucle de realimentación también es negativo si contiene un número impar de relaciones negativas. En todo diagrama causal coexisten normalmente bucles positivos con bucles negativos. Las interacciones entre estos determinan el comportamiento global del sistema.

El comportamiento dependerá del dominio de cada bucle, tal que para el ejemplo de natalidad se observa que.

- $T=0$ , domina el bucle positivo, de crecimiento al no saturarse la comida.
- $T=\infty$ , domina el bucle negativo, al agotarse los recursos, produciéndose limitación de nacimientos.

Se obtiene un comportamiento combinado, llamado "comportamiento en S" con dominio inicial del bucle positivo y posterior del bucle negativo que acaba imponiéndose, esto lo podemos apreciar claramente en la figura 3.5.2

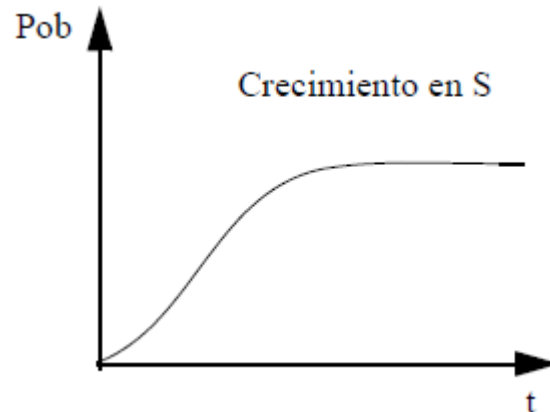


Figura 3.5.2 Comportamiento en S.

Es importante señalar que es la existencia de bucles de realimentación y no las simples relaciones causa-efecto son las que determinan el comportamiento global del sistema.

Se ha de evitar cometer errores en la construcción de diagramas causales, para ello se observarán las siguientes reglas:

- Evitar bucles ficticios (no validos).
- Emplear elementos caracterizables por números (no abstracciones).
- No emplear dos veces la misma relación.
- Evitar bucles redundantes.
- No emplear el tiempo como factor causal.

## 3.6 Diagramas de Forrester

Los elementos que intervienen en un diagrama causal se representan por medio de variables que pueden ser de tres tipos:

- Variables de nivel
- Variables de flujo
- Variables auxiliares

Por lo tanto el diagrama de Forrester es una representación simbólica de las variables de nivel, flujo y auxiliares de un diagrama causal, todo esto bien puede ser representado gracias a una analogía con un sistema hidrodinámico como lo podemos apreciar a continuación.

### 3.6.1 Analogía Hidrodinámica

El sistema hidrodinámico está constituido por tres depósitos con tres niveles N1, N2, N3, que acumulan líquido, y se representa a continuación en la figura 2.6

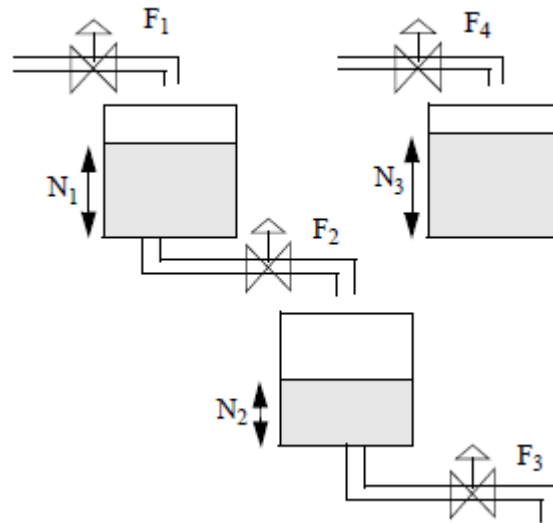


Figura 3.6.1.1 Analogía de un diagrama de hidrodinámica con los diagramas de Forrester.

Las variaciones de nivel vienen dadas por los flujos  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  y  $F_4$  que son controladas mediante válvulas. El funcionamiento en dichas válvulas depende de la función de los diferentes niveles en cada uno de los depósitos, así en función de estos (válvulas, flujos, depósitos) se puede representar un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden como se muestra a continuación.

$$\frac{dN_1}{dt} = F_1 - F_2$$

$$\frac{dN_2}{dt} = F_4 - F_3$$

$$\frac{dN_3}{dt} = F_2 - F_4$$

Con los flujos dados por la siguiente expresión.

$$F_i = f_i(N_1, N_2, N_3), \quad i = 1, \dots, 4$$

Siendo las funciones  $f_i$  no lineales en general, y que representan las actuaciones en las válvulas. La determinación de  $F_i$  puede realizarse en varios pasos intermedios empleando variables auxiliares  $A_i$ .

$$A_1 = \phi_1(N_1, N_2)$$

$$A_2 = \phi_2(A_1, N_3)$$

$$F_1 = \phi_3(A_2)$$

Que conducen a la expresión de  $F_i$

$$F_i = f_i (N_1, N_2, N_3)$$

La analogía hidrodinámica se puede completar con la inclusión de variables exógenas  $E$  a la hora de determinar los flujos  $F_i$  tal que.

$$F_i = f_i (N_1, N_2, N_3, E)$$

De esta manera, a partir del diagrama causal de un modelo, construido de forma intuitiva, se puede obtener un modelo matemático descrito por un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden, ahora bien a continuación se presenta una figura donde se muestran cada una de las variables utilizadas en la dinámica de sistemas.

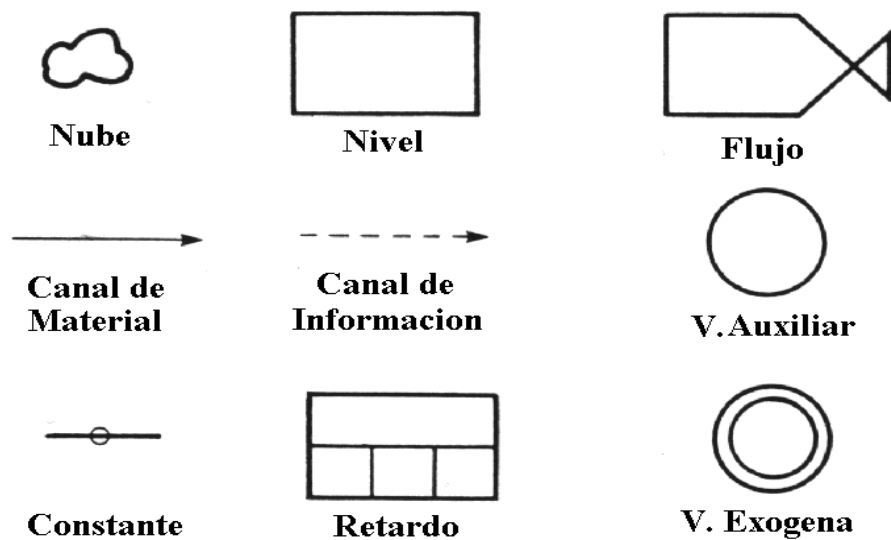


Figura. 3.6.1.2 Símbolos del diagrama de Forrester.

En la figura 3.6.1.2 se pueden apreciar cada una de las variables utilizadas en los diagramas de Forrester a continuación se dará una breve explicación de cada una de ellas para poder conocer su funcionamiento tanto individual y cómo cada uno de ellos interactúan con el resto del sistema.

### 3.6.2 Variables de Nivel

Son aquellas cuya evolución es significativa para el estudio del sistema y son equivalentes a las variables de estado de un sistema en descripción interna. Físicamente se definen como magnitudes que acumulan los resultados de acciones tomadas en el pasado.



Una característica común a las variables de nivel es que combinan lentamente en respuesta a las variaciones de otras variables, en concreto de las variables de flujo.

A cada nivel  $N(t)$  se le puede asociar un flujo de entrada  $F_e(t)$  y salida  $F_s(t)$ , de acuerdo con.

$$N(t) = N(t_0) + \int_{t_0}^t (F_e \angle F_s) dt$$

O bien en forma diferencial

$$\frac{dN}{dt} = F_e \angle F_s$$

Ecuación denominada de nivel y cuya representación en diagrama de Forrester se muestra a continuación.

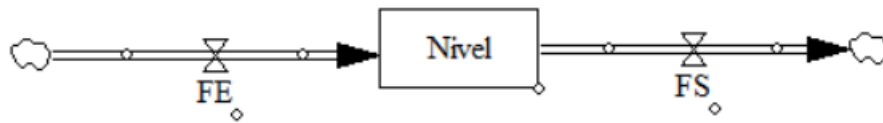
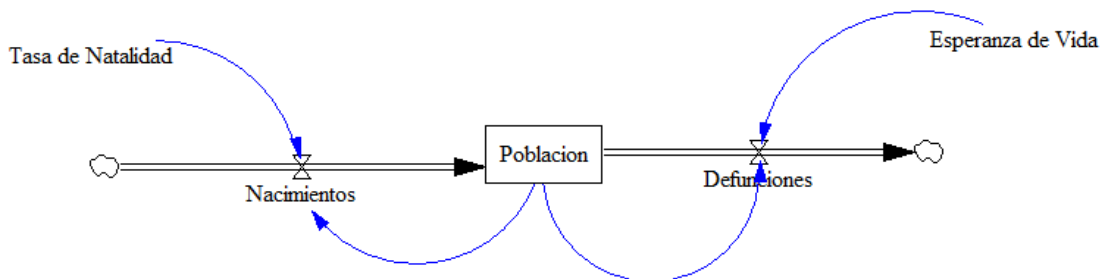


Figura 3.6.2.1 Diagrama de Forrester de la ecuación de Nivel.

Un ejemplo de nivel haciendo referencia a ejemplos vistos anteriormente pudiera ser la población como se muestra en la figura 3.6.2.2 en esta se muestran las dos formas de elaboración tanto con los diagramas causales, bucles de realimentación y ya representado con los diagramas de Forrester.



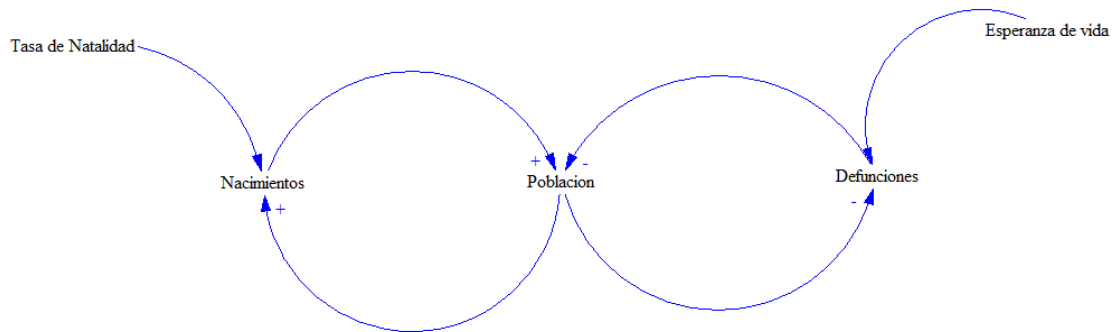


Figura 3.6.2.2 Ejemplo de diagramas de flujos representado en Vensim partiendo de bucles de realimentación.

El ejemplo de la figura 3.6.2.2 es de gran ayuda dado que nos ayuda a comprender de mejor manera tanto las relaciones entre las variables auxiliares, las variables de flujo y de nivel así como la construcción del modelo con los diagramas de Forrester.

Otro ejemplo de variables de nivel puede ser el que se muestra a continuación en la figura 3.6.2.3 donde se puede apreciar que la variable de stock o de nivel es la cantidad de CO2 que existe en la atmosfera la variable de entrada es las emisiones que llegan a ella y la de salida la cantidad que es absorbida por el ambiente.

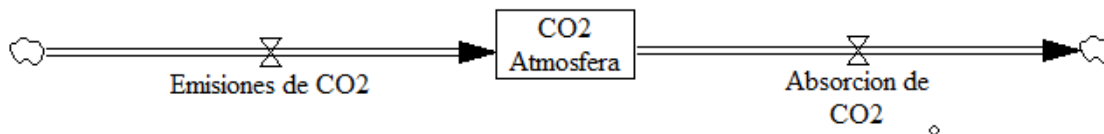


Figura 3.6.2.3 Ejemplo de diagrama de flujo en Vensim sobre emisiones de CO2.

Una variable de nivel no puede influir directamente en otra variable de nivel, sino es a través de un flujo.

### 3.6.3 Variables de Flujo

Son aquellas variables que determinan las variaciones en las variables de nivel del sistema y caracterizan las acciones que se toman en el sistema las cuales quedan acumuladas en los niveles correspondientes.

Físicamente expresan como se convierte la información disponible del sistema en una acción.

A cada flujo  $F(t)$  se le asocia una ecuación llamada ecuación de flujo o función de decisión que admite como variables de entrada, niveles auxiliares y constantes, en la forma general.

$$F(t) = TN \cdot M(t) \cdot N(t)$$

Siendo TN el flujo normal (constante),  $M(t)$  el multiplicador del Flujo normal (auxiliar) y  $N(t)$  (Nivel).

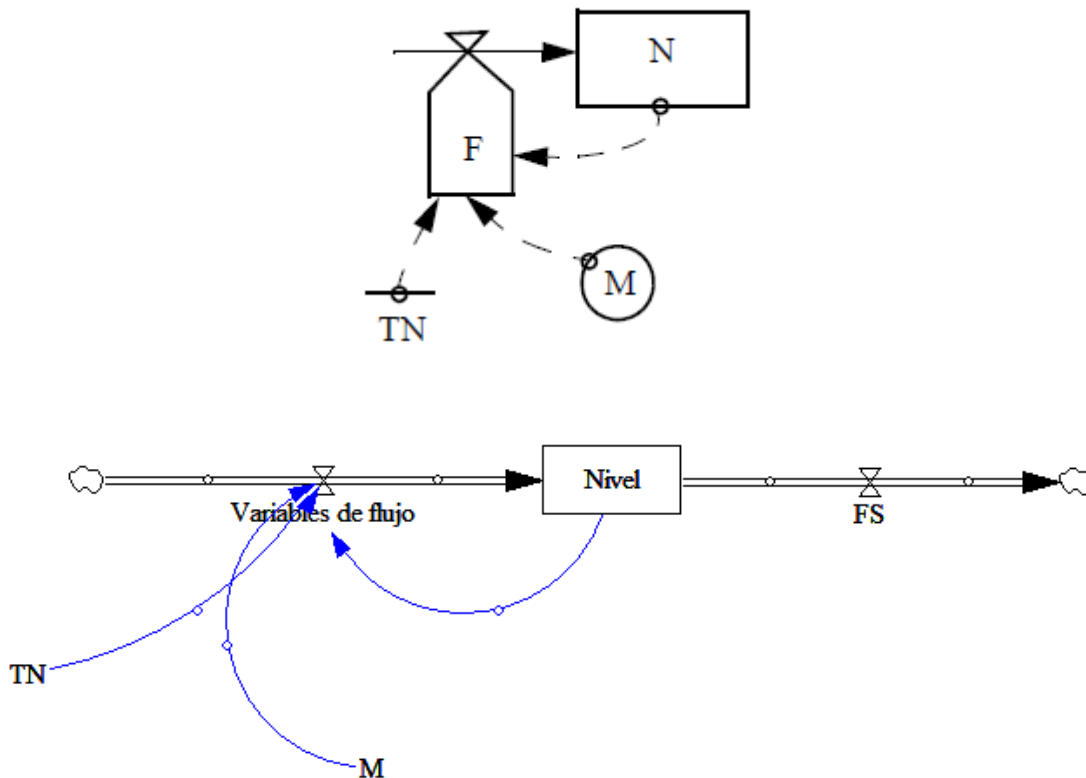


Figura 3.6.3.1 Variable de flujo.

En la figura se puede apreciar  $F$  que es la variable de flujo que como se menciona previamente esta es donde la información y constantes se asocian a ella para dar paso a la acción (nivel  $N$ ) como lo podemos ver indicado con la flecha.

En general el multiplicador de flujo normal es producto de  $k$  multiplicadores  $M_i$  cada uno en función de una variable  $V_i$ .

$$M(t) = M_1(V_1(t))M_2(V_2(t))\dots M_n(V_n(t))$$

Cada  $M_i$  establece la contribución de la variable  $V_i$  en la acción a tomar que define el

flujo  $F(t)$ , con  $M_i(V_{in})=1$ , siendo  $V_{in}$  el valor normal de  $V_i$ , que en general será variable de nivel o variable auxiliar.

A todo nivel se le asocia al menos una variable de flujo. Por otro lado, las variables de flujo tienen como entradas (información) exclusivamente variables de nivel, variables auxiliares o exógenas y nunca se podrán conectar entre sí.

Las unidades de medida de un flujo han de ser consistentes con las variables, esta relación se pueden apreciar claramente con la expresión que generalmente es:

$$\text{Unidad de flujo} = \text{unidad de nivel} / \text{tiempo}$$

### 3.6.4 Variables auxiliares

Las variables auxiliares representan pasos en los que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles.

El propósito del uso de las variables auxiliares está en facilitar la comprensión y definición de las variables de flujo ya que las variables auxiliares suelen representar en sí mismas conceptos individuales.

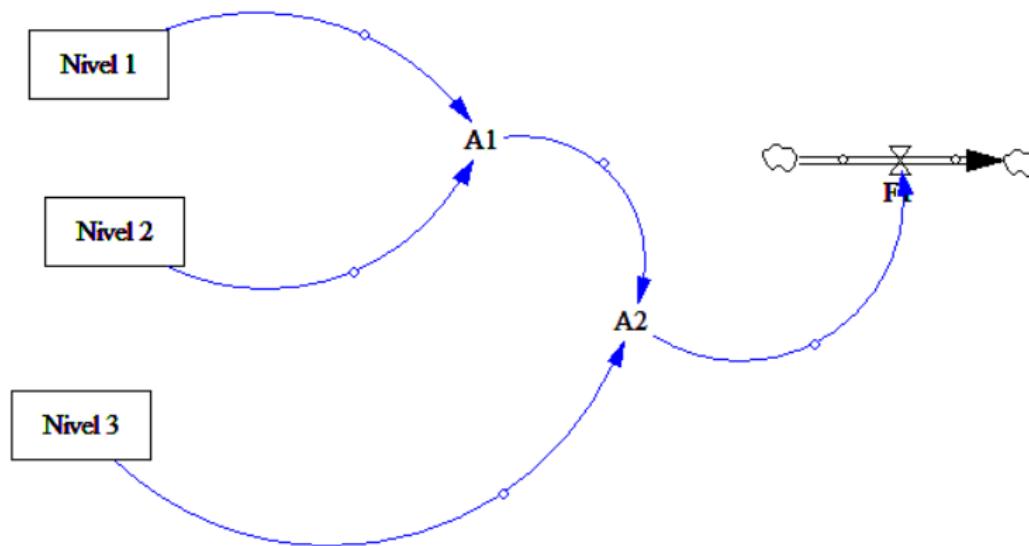
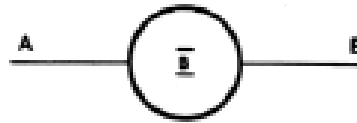


Figura 3.6.4.1 Variable auxiliar (A1, A2).

Si dos variables  $A$  y  $B$  están relacionadas por  $B = f(A)$  siendo  $f$  no lineal,  $B$  variable auxiliar y  $A$  variable de nivel, se emplea el símbolo en el diagrama.



Símbolo de relación no lineal.

### 3.6.5 Otros elementos

Un nivel puede alimentarse, a través de un flujo desde otro nivel o bien desde una fuente exterior al sistema. Esta fuente se supone de capacidad infinita y se representa mediante una nube.



Nube o símbolo de la fuente

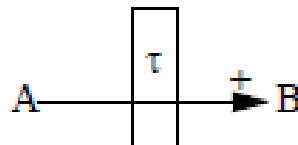
Un nivel puede vaciarse, a través de un flujo sobre otro nivel o sobre un sumidero exterior al sistema. De la misma forma, el sumidero se supone de capacidad infinita y se representa mediante una nube también.



Nube o símbolo de sumidero

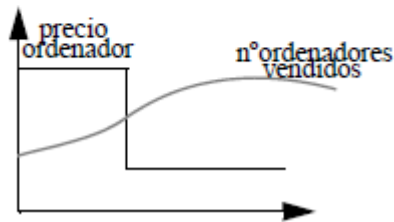
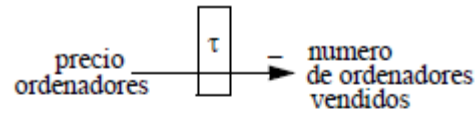
### 3.6.6 Retrasos

Una característica a considerar en el estudio de sistemas dinámicos es el retraso producido, en la transmisión de material o en la transmisión de información.



Retraso.

Ejemplo:



Aunque disminuye súbitamente el precio de los ordenadores, el número de ordenadores vendidos no aumenta instantáneamente, debido al retraso porque la percepción del cambio de precio requiere tiempo.

### 3.7 Análisis de ciclo de vida

El incremento en la consciencia por la protección ambiental y los posibles impactos asociados con la creación y el consumo de productos plásticos, ha conducido al aumento por el desarrollo de mejores métodos para comprender el impacto que estos tienen en el ambiente. Una de las principales técnicas desarrolladas con este propósito es el análisis de ciclo de vida (LCA por sus siglas en ingles). Siendo una herramienta que ayuda a identificar los efectos que un producto o servicio genera en el ambiente desde la obtención del material (crudo), hasta su disposición final.

LCA puede ayudar a:

- Identificar las oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de los productos en varios puntos de su ciclo de vida.
- Informar a los que toman las decisiones tanto en la industria, gobierno, organizaciones y organizaciones no gubernamentales, el objetivo de crear planes estratégicos, cambios prioritarios, diseño de producto o procesos o el rediseño.
- La selección de indicadores para el mejoramiento ambiental, incluidos técnicas de medición.
- Marketing (implementación de un esquema de trabajo, creando propuestas ambientales, así como producir declaraciones proambientales.).

LCA, se enfoca en aspectos ambientales y su potencial impacto, como pueden ser en la cantidad de recursos naturales que se están explotando, o las posibles consecuencias ambientales que estos pueden generar, pensando en la vida del producto o servicio, pero al mismo tiempo como lo mencionamos antes este estudio abarca no solo eso sino que también analiza su impacto desde su adquisición como material crudo (natural) hasta su producción, uso, término de vida útil, reciclaje y disposición final (ISO 1404: 2006).

Según la (ISO 14044: 2006) existen cuatro fases de estudio en el (LCA)

- a) Definición del objetivo como su alcance.
- b) Fase de análisis del inventario.
- c) Fase de evaluación del impacto.
- d) Fase de interpretación.

El alcance, incluidos, los límites del sistema y el nivel de detalle en el ciclo de vida depende del tema y de la intención del estudio. La profundidad y la amplitud del ciclo de vida pueden diferir considerablemente dependiendo del objetivo particular del ciclo de vida.

La fase de análisis del inventario (LCI) es el inventario de las entradas y salidas de los datos con respecto al sistema que está siendo estudiado. Esta envuelve la colección de datos necesarios para conocer los objetivos que se definen en el estudio.

Fase de evaluación del impacto (LCIA) su objetivo es proveer información adicional para ayudar a evaluar un sistema de productos. LCI, los resultados de esta fase ayudan a tener un mejor entendimiento de su significado ambiental.

Fase de interpretación es donde los resultados tanto del análisis de inventario como de la evaluación del impacto, son resumidos y puestos en discusión para obtener la mejor conclusión y recomendaciones así como la toma de decisiones en concordancia con el objetivo y el alcance (ISO 14044: 2006).

Hay casos donde el objetivo del análisis de ciclo de vida no puede ser alcanzado utilizando solo la fase del análisis de inventario e interpretación. Este es usualmente referido al estudio de (LCI)

Este estándar internacional cubre solo dos tipos de estudios: Análisis de ciclo de vida (LCA) y estudios de inventario del ciclo de vida, que es muy similar al ciclo de vida pero excluye la fase de evaluación del impacto (LCIA).

Generalmente la información desarrollada en el ciclo de vida puede ser usada como parte para una mejor comprensión para el proceso de decisión. Comparando los

resultados de diferentes estudios tanto de (LCA y LCI) es solo posible si los supuestos en el contexto de cada estudio son equivalentes (ISO 14044: 2006).

El análisis de ciclo de vida es una de muchas técnicas de gestión ambiental y puede no ser la más apropiada técnica en todas las situaciones, el análisis de ciclo de vida, típicamente no se enfoca en el aspecto económico o social de un producto, pero el ciclo de vida puede aplicarse a estos aspectos (ISO 14044: 2006).

Después de conocer los aspectos fundamentales tanto de qué es un ciclo de vida, como los principales aspectos que se deben tomar respecto a la (ISO,1404: 2006), se plantea a continuación un ciclo de vida, conforme a lo que se estipula en la (ISO, 1404: 2006) respecto al tema de las bolsas de plástico para ayudar a comprender, identificar y conocer cada una de los puntos de esta problemática, así como de comprender mejor y analizar los posibles puntos de mejora (ISO 14044: 2006).

## 3.8 Mapas Conceptuales

Detrás de toda metodología y/o técnica de planeación existe un mapa conceptual que permita a su creador estructurar dicho conocimiento entorno al problema a resolver. Las bases tanto teóricas como metodológicas que nos llevan a su construcción se apoyan en el pensamiento sistémico, permitiendo al individuo comprender el significado a partir de sus relaciones jerárquicas esto nos ayuda a entenderlo no solamente como un todo si no poder desglosarlo y así conocer cada una de las relaciones individualmente como lo podemos apreciar en la dinámica de sistemas que se mencionó anteriormente.

Un mapa conceptual es una imagen esquemática donde se presentan las relaciones conceptuales (tanto la estructura cognoscitiva como las relaciones dinámicas que existen entre ellas).

Existe toda una gama de aportaciones a través de los años donde se puede apreciar una gran cantidad tanto de ideas como de métodos a continuación podremos observar algunas de ellas. Estas fueron seleccionadas principalmente por la relación que existe entre su metodología y la metodología utilizada en la dinámica de sistemas.

### 3.7.1 Mapas conceptuales (Novak y Gowin)

Representan conceptos en forma de preposiciones, donde el concepto puede ser considerado como aquella palabra que se emplea para relacionar cierta imagen u objeto



que tenga en mente el individuo. Una preposición consta de dos o más conceptos unidos para formar una unidad semántica.

El proceso para la construcción de un mapa conceptual es el siguiente.

- Definir el tema e identificar los conceptos claves.
- Ordenar jerárquicamente estos conceptos, de lo general a lo particular.
- Realizar una estructura de árbol con el concepto principal en el centro de él.
- Relacionarlos con palabras clave siguiendo un orden lógico e identificar posibles relaciones que puedan llegar a interrelacionarse así como sus causales.
- Revisar que:
  1. Las proposiciones están bien elaboradas
  2. La jerarquía es correcta
  3. Las relaciones causales sean validas
  4. Que los conceptos sean congruentes con el mapa y el resto de los elementos.
- Volver a elaborar corrigiendo los errores las veces que sea necesario.

### 3.7.2 Mapas cognitivos (Eden, Jones y Sims)

Esta propuesta se orienta a la solución de problemas en las organizaciones permitiendo captar ideas, así como las interrelaciones que existen en un problema facilitando su estudio para buscar una mejor solución al igual que en la dinámica de sistemas, nos permite analizar la interrelación de todos los elementos para analizarlos individualmente pero también como un todo. Los mapas cognitivos nos sirven de herramienta para estructurar, administrar y explorar las diferentes alternativas que podemos tomar para realizar la solución de un determinado problema, el procedimiento para la construcción de los mapas cognitivos es la siguiente.

- Identificar y escribir el problema y objeto de estudio
- Expresar el problema u objeto de estudio a través de conceptos, al igual que con (Novak y Gowin) un conjunto de conceptos integran una preposición.
- Los conceptos son enlazados por medio de flechas o líneas de acuerdo a la perfección del investigador siguiendo una relación causal lógica, las líneas puntuadas pueden representar incertidumbre.
- Los mapas se construyen en forma individual para después ser realizados y elaborados en grupo mediante el enlace de los diversos conceptos que son analizados.
- Cada enlace causal está asociado con un signo positivo y uno negativo (+,-) que refleja el sentido de la relación de conceptos.

- Identificar los conceptos neurológicos que son; aquellos que cuando se aumenta o disminuye su influencia el circuito modifica su dinámica significativamente.
- Se agrupan los circuitos en preposiciones o categorías que contengan alguna relación con el fin de simplificar y agilizar tanto la elaboración como el proceso.

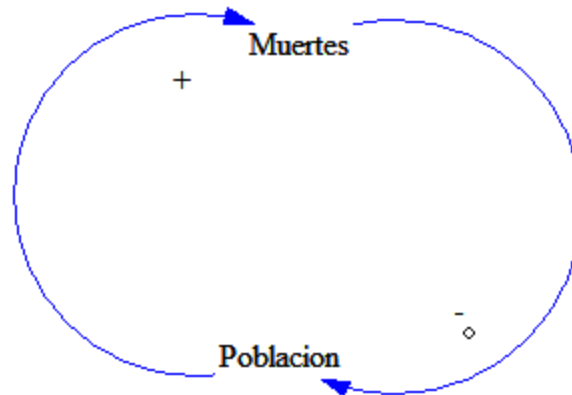


Figura 3.7.2.1 Ejemplo de un mapa cognitivo asociado con signos (+,-).

En la figura 3.7.2.1 se aprecia un pequeño ejemplo de la influencia que tienen los signos en los mapas dándole sentido a cada uno de los conceptos que están incluidos, estos siguen una secuencia lógica creando un círculo, los signos más y menos, aumentan o disminuyen la influencia que tiene cada una sobre la otra.

## Capítulo 4

### 4 Dinámica de sistemas aplicado al caso de estudio

El siguiente caso de estudio es realizado por la Bousted Consulting and associates, este fue realizado en los Estados Unidos con el propósito de identificar los tipos y las magnitudes del impacto que tienen ciertos tipos de materiales sobre el ambiente con el fin de tomar las medidas necesarias para hacer un cambio a una cultura más sustentable. Gracias a los datos obtenidos de dicho estudio, se realiza el modelo de dinámica de sistemas que se muestra posteriormente donde se analiza y simula el impacto que estos tendrán sobre una línea de tiempo.

#### 4.1 Evaluación del ciclo de vida (LCA) para tres tipos de bolsas de supermercado bolsa de plástico reciclable; plástico biodegradable; y bolsa de papel reciclable elaborado por (*Bousted Consulting and associates*).

El esfuerzo por cambiar a una cultura verde (en pro de la naturaleza), ha hecho que una gran cantidad de estados, condados y ciudades de los Estados Unidos hayan concentrado su atención en uno de lo que puede considerarse el principal blanco que va en contra de esta cultura verde que son las bolsas de plástico hechas de polietileno dado que la percepción que se tiene de estas, es que contribuyen tanto local como globalmente a los problemas tanto en la vida marina, calles, basureros y rellenos sanitarios.

Al parecer la línea que se debe de seguir para enfrentar estos problemas es siguiendo el ejemplo de países como Australia e Irlanda, así como legisladores a lo largo de los Estados Unidos que han propuesto prohibir el uso del polietileno para la creación de bolsas y emplear materiales alternativos como puede ser tela, papel, o plástico biodegradable. Dado que se cree que con estas nuevas leyes y propuestas, podrían reducir la contaminación, el uso de materiales fósiles y los impactos que estos traen consigo.

El problema es que estas alternativas pueden llegar a solucionar uno o varios de los impactos actualmente identificados pero existen otros casos donde el problema puede llegar a ser potencialmente un riesgo y producir impactos ambientales aún mayores de los que se pueden apreciar en la actualidad.

Para ayudar a tener un mejor entendimiento del problema así como de la información pertinente para poder debatir sobre los impactos y la magnitud que las bolsas de plástico pueden ocasionar en el ambiente la Progressive Bag Alliance contratada en conjunto con Bousted Consulting and Associates (BCAL) conducen un análisis de ciclo de vida (LCA) de las bolsas de plástico, y de sus principales alternativas propuestas; Bolsas de papel reciclable, bolsas de plástico y bolsas de plástico biodegradables.

### 4.2.1 Objetivo del Estudio

El propósito de este estudio es identificar los tipos y las magnitudes del impacto ambiental asociadas con cada tipo de bolsa, e informar al lector sobre el potencial para cualquier compensación ambiental en el cambio de bolsas elaboradas de un material plástico, a otro.

### 4.2.2 Alcance

El alcance es el estudio de principio a fin del análisis de ciclo de vida de las bolsas elaboradas de los materiales previamente mencionados, que inicia con la extracción del material crudo usado en cada una de las bolsas, hasta la última disposición de las bolsas después del consumo de los usuarios, incluyendo todo el transporte tanto del material crudo como de las bolsas para su disposición final.

La unidad funcional es la capacidad de las bolsas de plástico para cargar las compras de los usuarios. Esta es 1/6 BBL (Barrel) esta medida fue elegida y seleccionada para las tres bolsas de este estudio dado que es la más comúnmente usada en tiendas de supermercado.

Aunque las bolsas son de igual tamaño, algunos de los estudios realizados con anterioridad como lo explica (Franklin, 1990), ha señalado que el uso de bolsas de plástico en las tiendas departamentales no era igual al utilizado con las bolsas de papel. De acuerdo a (Franklin, 1990), el comportamiento de embolsado mostró, que de las bolsas de plástico en comparación, con el uso de papel varió de 1: 1 hasta 3: 1, dependiendo de la situación. En contraste, los datos recogidos por la Progressive Bag Alliance muestran que las bolsas de plástico y papel son algo igual en uso una vez que los empacadores han sido debidamente capacitados. En este estudio BCAL utiliza tanto 1:1 y 1.5: 1 de plástico para las proporciones de papel, lo que permite la posibilidad de que todavía, se tienen más bolsas de plástico para transportar la misma cantidad de comestibles que una bolsa de papel. La proporción de 1.5: 1 equivale a 1.500 bolsas de plástico por cada 1.000 bolsas de papel.

### 4.2.2.1 Bolsa de papel reciclable

Las siguientes operaciones se incluyen en el análisis de ciclo de vida. Para empezar BCAL, provee datos de la extracción de los combustibles y materias primas de la tierra, incluyendo el cultivo de árboles, cosecha y el transporte de los materiales. BCAL añadió operaciones de proceso de blanqueado kraft, fábrica integrada de pasta y papel incluyendo las instalaciones para contenedores corrugados viejos, conversión de papel en bolsas; reciclaje de ciclo cerrado para convertir el desperdicio en bolsas; el envasado y el transporte a los almacenes de distribución y tiendas de abarrotes; uso de los consumidores; y disposición final. Los datos para la mayoría de las operaciones anteriores en una forma u otra están en (The Bousted Model and Database)<sup>5</sup>. En una publicación (Weyerhaeuser) reporto que su bolsa de papel kraft sin blanquear contenía alrededor del 30% de contenido reciclado y el uso de tintas a base de agua.

Por lo tanto, en este estudio BCAL utiliza material reciclado 30%. Esto también es algo reflexivo de la legislación actual en lo que se refiere al mínimo de contenido reciclado requerido en las bolsas de papel (Oakland Ayuntamiento Ordenanza que requiere el 40% de material reciclado) por lo que las bolsas de papel que son parte de este estudio no entrarían dentro de esta legislatura haciendo su estudio aún más interesante para próximas legislaturas.

En las operaciones que conducen a los datos definitivos, por disposición de BCAL los estimados de; recolección en la acera, generación y recuperación de los materiales en los MSW (Municipal Solid Waste) de las agencias gubernamentales y los datos de la EPA (Environmental Protection Agency), mostraron que para el año 2005, la bolsa de papel era reciclada en un 21%, el 13.6% era destinada para su combustión con recuperación de energía, lo que resulta que en un 65.4% llegaba a los vertederos. También se considerarán las siguientes opciones de disposición final: compostaje y dos escenarios de rellenos sanitarios.

### 4.2.2.2 Bolsa de plástico reciclable

Las siguientes operaciones se incluyen en el análisis de ciclo de vida. La extracción de los combustibles y las materias primas de la tierra; transporte de materiales; todas las operaciones de proceso y materiales en la producción de resina de alta y baja densidad de polietileno; la conversión de la resina en bolsas de PE; embalaje y transporte de las bolsas a los centros de distribución y tiendas de abarrotes; uso de los consumidores; y disposición final.

En las operaciones que conducen a la disposición final, BCAL calcula los datos de recolección en la acera y la generación y recuperación de los materiales en los MSW de

---

<sup>5</sup> *The Bousted Model and Database* es un software de LCA con una base de datos construida a lo largo de 25 años conteniendo una variedad de datos relevantes para el estudio propuesto.

las agencias gubernamentales y los datos de la EPA, mostraron que para el año 2005 las bolsas de plástico que se destinaban a reciclar alcanzaban un 5.2%, las bolsa de plástico destinadas a los MSW para su combustión con recuperación de energía en 13,6 %, lo que resulta que un 81.2% va a parar a los vertederos.

Los datos para la operación de conversión se recogieron específicamente de un miembro de la Progressive Bag Alliance que hace bolsas de supermercado sólo de plástico. Los datos obtenidos, representa la totalidad de la producción anual para 2006.

Todos los residuos se reprocesan en los materiales producidos y transportados a un proveedor con sede en Houston, por lo que es cómo se realizaron los cálculos. Todas las tintas son a base de agua, y las fórmulas proporcionan la producción y el suministro de toda de la resina de PE.

Las cajas de cartón corrugado se incluyeron como hechas de material reciclado para reflejar el hecho de que el proveedor al miembro de PBA (Progressive Bag Alliance) le informó que utilizan entre un 30% y 40% post-consumo de fibra reciclada.

#### 4.2.2.3 Bolsa de plástico biodegradable (EcoFlex y PLA Mix)

Las siguientes operaciones se incluyen en el análisis de ciclo de vida. La extracción de los combustibles y las materias primas de la tierra; la producción y el transporte de materiales para todas las operaciones de proceso y materiales en la producción de resina polilactida y carbonato de calcio; EcoFlex / PLA (datos proporcionados por BASF); embalaje y transporte de las bolsas a los centros de distribución y tiendas de abarrotes; uso de los consumidores; y disposición final.

Una vez más, la mayoría de las operaciones anteriores están contenidos en el Boustead Model and Database. Los datos de producción de PLA se obtuvo de NatureWorks5 y los datos para EcoFlex se obtuvo de BASF. Ambos NatureWorks y BASF utilizan el Modelo Boustead para sus cálculos de LCA, por lo que datos solicitados y recibidos por el BCAL eran compatibles con otros datos utilizados en el estudio. Además, BCAL envió sus resultados a BASF para la confirmación de que los datos y los cálculos en las bolsas hechas de la resina compostable EcoFlex era exacta. Los ingenieros de BASF confirmaron que el uso que hizo BCAL de los datos y los resultados calculados eran apropiados.

En las operaciones que conducen a la disposición final, BCAL calcula los datos de recolección en la acera y la generación y recuperación de los materiales en los MSW de las agencias gubernamentales, los datos mostrados por la EPA, muestran que para el año 2005 las bolsas de plástico destinadas para su reciclaje era de un 5,2%, la bolsa de plástico destinada a los MSW para su combustión con recuperación de energía, era de un 13.6 %, lo que resulta un 81.2% destinada a los vertederos. También se consideraron las siguientes opciones de disposición final: compostaje y dos escenarios de rellenos sanitarios.

Los datos correspondientes a la operación de conversión de la mezcla de resina EcoFlex / PLA se recogieron en las instalaciones de PBA durante un período de dos semanas a finales de mayo de 2007. La producción y el suministro del polímero PLA son de Blair, NE. La producción y el suministro de polímero Ecoflex son de una planta de BASF en Alemania.

Las siguientes son algunas especificaciones detalladas para el estudio del LCA:

	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico degradable.	Bolsa de papel reciclable
Tamaño/Tipo	1/6 BBL	1/6 BBL	1/6 BBL
Longitud (pulgadas)	21.625	22.375	17
Ancho (pulgadas)	12	11.5	12
Gusset (inches)	7.25	7.25	6.75
Calibre (mil)	0.51	0.75	20 lb/1000sq ft
Color de la película	White	White	Kraft
Material	HDPE (mezcla de grado película)	Compuesto de película degradables (EcoFlex / PLA de la mezcla)	Crudos de papel Kraft
Prueba de trote (strokes)	45	20	n/a
Resistencia a la tracción (lb)	50	35	n/a
Peso por 1000 bolsas en libras	13.15 (5.78 Kg)	34.71 (15.78Kg)	114 (51.82 Kg)

Tabla 4.2.2.3.1 Especificaciones detalladas para el estudio del LCA.

#### 4.2.2.4 Enfoque Metodológico

BCAL siguió las prácticas tal y como se describen en la norma ISO 14040, 14041, y 14042 para producir los resultados del proyecto. BCAL está bien basado en los requisitos de las normas ISO dado que uno de los principales colaboradores de este proyecto es el Dr. Ian Boustead ha sido y sigue siendo uno de los principales expertos que participan en la formación de las normas ISO. Los procedimientos que se describen a continuación son compatibles con las normas ISO y reflejan el enfoque de BCAL a este proyecto.

#### 4.2.2.5 Los cálculos de LCA

La base de datos Bousted contiene más de 6000 operaciones unitarias en los procesos necesarios para extraer las materias primas necesarias de la tierra, procesar estos materiales en forma utilizable para así poder fabricar dichos productos. Estas

operaciones proporcionan datos sobre las necesidades de energía, las emisiones generadas y los residuos producidos.

Una consecuencia importante de la modelización es que se calcula un balance de masa para el sistema de entradas. Por lo tanto, el uso de recursos y la producción de residuos sólidos se calculan automáticamente.

Los datos de la industria de producción de combustibles están disponibles para todos los países miembros de la OCDE (Organización para la cooperación y el desarrollo) y para algunos que no pertenecen a ella.

Utilizando principios científicos sólidos y medidas objetivas en la mayor medida posible, BCAL ha sido capaz de evitar la mayoría de los problemas asociados con las decisiones de asignación y producir datos precisos y fiables para la creación del LCA. Prueba de ello es el uso generalizado de los datos de PlasticsEurope (producido por BCAL) en casi todas las bases de datos del ciclo de vida disponible a nivel mundial, así como en los estudios de ciclo de vida en numerosas aplicaciones de productos y de la construcción.

La presente evaluación del ciclo de vida pretende:

1. Cuantificar los parámetros susceptibles de ser responsables de los efectos ambientales (el componente de inventario del análisis del ciclo de vida).
2. Identificar los parámetros que son susceptibles de contribuir a un problema ambiental específico (caracterización o interpretación fase de evaluación de impacto). Un ejemplo podría ser la identificación de que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) son gases de efecto invernadero.
3. Agregar los parámetros relativos a un problema específico (la fase de valoración o interpretación de la evaluación de impacto). Un ejemplo sería la producción de dióxido de carbono equivalente para los componentes de gases de efecto invernadero.

Los datos derivados del LCA proporcionan una recopilación de la información de la que el usuario puede abordar problemas específicos, a la vez que el examen de posibles compensaciones. Al hacerlo, el usuario puede tratar de lograr la reducción óptima en cada parámetro debido a una mejor comprensión de cómo estos parámetros cambian en asociación con el sistema de bolsa de la compra en su conjunto y entre sí de forma individual.

### 4.2.3 La presentación de datos

Para mejorar la comparabilidad y la comprensión de los resultados de este estudio, los resultados detallados de LCA se presentan en el mismo formato de presentación que se



utilizó para la serie de informes del eco-perfil publicado por la Asociación de Fabricantes de Plásticos en Europa (APME, por sus siglas en ingles).

Un conjunto de ocho tablas, cada una describe algún aspecto del comportamiento del sistema, donde se muestran los resultados del estudio divididos por cada tipo de bolsa. Cinco tablas en el conjunto de datos son útiles en los argumentos de conservación y tres tablas de indicios de los posibles efectos de la contaminación del sistema.

El rendimiento de los sistemas de bolsas de supermercados se describe mediante la cuantificación de las entradas y salidas al sistema. El cálculo de la energía de entrada y materias primas cuantifica la demanda de insumos primarios para el sistema y estos parámetros son importantes en los argumentos de conservación, ya que son una medida de los recursos que deben ser extraídos de la tierra con el fin de apoyar el sistema.

El cálculo de los resultados es una indicación de los posibles efectos de la contaminación del sistema. Tenga en cuenta que el análisis tiene que ver con la cuantificación de las emisiones; no hace ningún juicio sobre las propiedades perjudiciales o beneficiosos.

Las cinco categorías que se han identificado son:

1. Producción de combustible.
2. El uso de combustible.
3. Transporte.
4. Biomasa.
5. Proceso.

Las operaciones de **producción de combustible** se definen como aquellas operaciones de procesamiento que den lugar a la entrega de combustible o energía; a un consumidor final ya sea doméstico o industrial. Para este tipo de operaciones todas las entradas, con la única excepción de los transportes, se incluyen como parte de la función de producción de combustible.

**Uso de combustible** se define como el uso de la energía suministrada por las industrias de producción de combustible. Así, el combustible utilizado para la generación de vapor en una planta de producción y la electricidad utilizada en la electrólisis sería tratado como operaciones de uso de combustible. Sólo el combustible utilizado en el transporte se mantiene separado.

**Operaciones de transporte** son fácilmente identificables así que el consumo directo de energía de transporte y sus emisiones asociadas están siempre separados.

**La biomasa** se refiere a las entradas y salidas asociadas con el uso de materiales biológicos tales como madera o fibra de madera.

## 4.2.4 Tablas de resultados del LCA

Los resultados del LCA se presentan a continuación, cada uno describiendo los aspectos del comportamiento de cada uno de los sistemas examinados.

En cada uno de los casos, se muestran sus respectivas tablas cada una de ellas refieren a los totales brutos o acumulativos cuando todas las operaciones se remontan a la extracción de materias primas de la tierra y se basan en el uso de los consumidores y una colección de 1.000 bolsas. Las operaciones posteriores de eliminación, reciclaje, compostaje, incineración con recuperación de energía y relleno sanitario no se incluyen en estas tablas de resultados y se discutirán por separado.

### 4.2.4.1 Sistema de bolsa de papel reciclable

Para iniciar se muestra el sistema de bolsas de papel reciclable a un 30% como se mencionó previamente.

A continuación en la tabla 4.2.4.1.1 se muestra la energía bruta (en MJ), necesaria para la creación de la bolsa de papel reciclable LCA. Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Tipo de combustible	Producción y entrega de combustible	Contenido energético de los combustibles	Energía de transporte	Energía de materia prima	Total de energía
Electricidad	461	185	3	0	649
Petróleo	17	143	30	1	191
Otros	15	777	1	990	1783
<b>Total</b>	<b>493</b>	<b>1105</b>	<b>34</b>	<b>991</b>	<b>2622</b>

Tabla 4.2.4.1.1 Energía bruta (en MJ), necesaria para la creación de la bolsa de papel reciclable.

En la tabla 4.2.4.1.2 se muestran los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresadas en forma de energía (en MJ), necesarias para la creación de la bolsa de papel reciclable LCA. Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Materia prima	Total
Carbón	229	94	1	0	32
Petróleo	23	150	33	1	207
Gas	113	278	0	0	391
Hydro	15	6	0		21
Nuclear	90	36	0		127
Lignito	0	0	0		0
Madera	0	533	0	988	1521
Azufre	0	0	0	2	2
Hidrogeno	0	0	0	0	0
Biomasa (solido)	18	7	0	0	24
Energía recuperada	0	-1	0		-1
Geotérmica	0	0	0		0
Sin especificar	0	0	0		0
Solar	0	0	0		0
Biomasa (liquido/gas)	1	0	0		1
Desecho industrial	1	0	0		1
Residuos Municipales	3	1	0		4
Viento	0	0	0		0
Totales	493	1105	34	991	1622

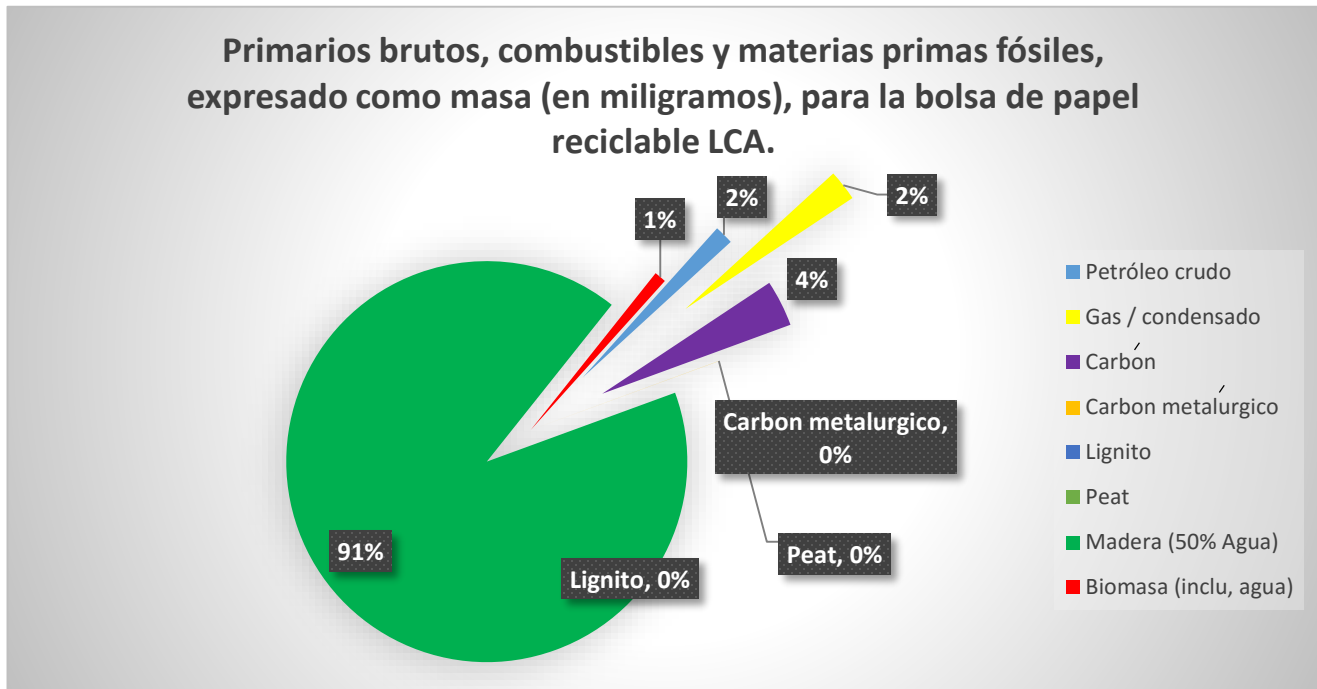
Tabla 4.2.4.1.2 Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresadas en forma de energía, necesarias para la creación de la bolsa de papel reciclable.

En la tabla 4.2.4.1.3 se muestran los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados como masa (en miligramos), para la creación de la bolsa de papel reciclable LCA. Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Petróleo crudo	4,591,000
Gas / condensado	7,432,000
Carbón	11,210,000
Carbón metalúrgico	25,900
Lignito	79
Turba	444
Madera (50% Agua)	274,000,000
Biomasa (74ncl.. Agua)	2,880,000

Tabla 4.2.4.1.3 Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados como masa, para la creación de la bolsa de papel reciclable

En la gráfica 4.2.4.1.1 se muestran los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados como masa (en miligramos), para la bolsa de papel reciclable LCA datos provenientes de la tabla 4.2.4.1.3.



Gráfica 4.2.4.1.1 primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados como masa.

Como se puede apreciar en la gráfica, el principal elemento necesario para la creación de las bolsas de papel reciclable es la madera que ocupa el 91% del total a ella le siguen el carbón, gas condensado, petróleo crudo y biomasa con cantidades mínimas en comparación con la madera y aún por debajo de ellas se encuentra el carbón metalúrgico y el lignito.

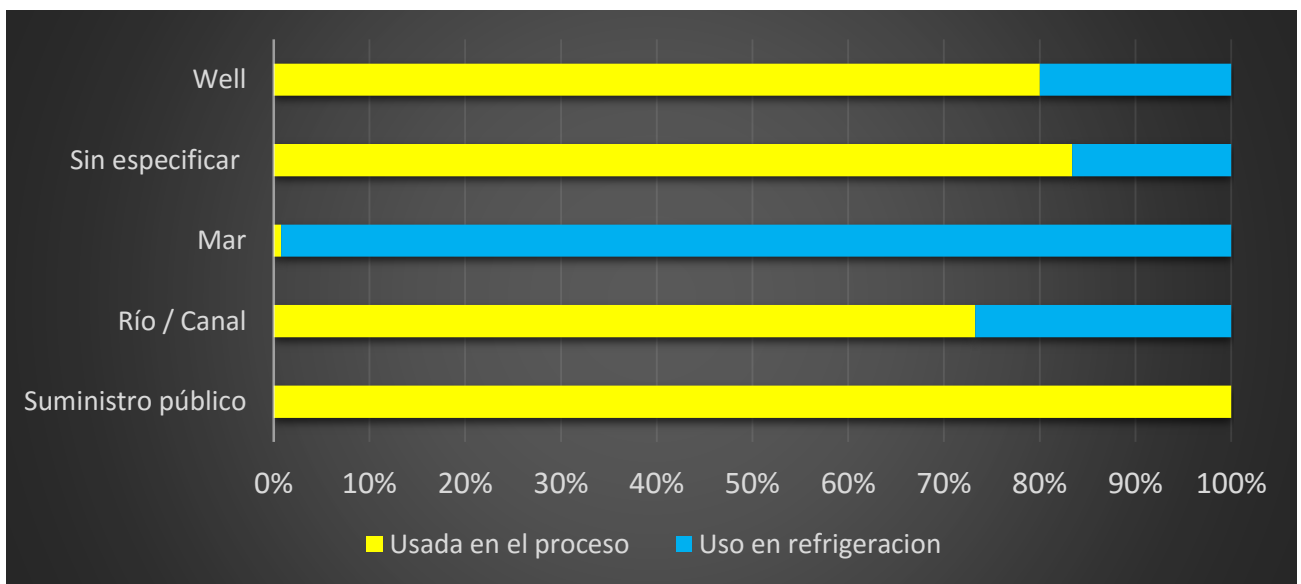
En la tabla 4.2.4.1.4 se muestran los recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la creación de la bolsa de papel reciclable LCA. Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Fuente	Usada en el proceso	Uso en refrigeración	Totales
Suministro público	3,895,000,000	-	3,895,000,000
Río / Canal	5,260	1,920	7,190

Mar	8,490	1,092,000	1,100,000
Sin especificar	14,600,000	2,910,000	17,500,000
Well	200	50	250
Totales	3,909,000,000	4,000,000	3,913,000,000

Tabla 4.2.4.1.4 Recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la creación de la bolsa de papel reciclable.

En la gráfica 4.2.4.1.2 se muestran los porcentajes de agua utilizada en el proceso o para ser utilizada en la refrigeración cada una identificada dependiendo de su procedencia, los porcentajes mostrados son los requeridos para la creación de bolsas de papel reciclable, datos provenientes de la tabla 4.2.4.1.4.



Gráfica 4.2.4.1.2 Porcentajes de agua utilizados en el proceso de las bolsas de papel reciclable.

Como se puede apreciar el agua de mar es utilizada en mayor medida para la refrigeración, el resto, es utilizada en mayor cantidad para el proceso de elaboración y en su mayoría como podemos apreciar en la tabla 4.2.4.1.4 esta proviene del suministro público

En la tabla 4.2.4.1.5 se pueden apreciar algunas otras materias primas brutas (en miligramos) necesarios para la creación de la bolsa de papel reciclable. Con base en el uso de los consumidores y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido al redondeo.

Material crudo	Entrada en mg.
Aire	4,080,000
La materia de animales	0
Barites	211
bauxita	469
bentonita	51
La biomasa (incluida el agua)	0
Sulfato de calcio (CaSO4)	0
Tiza (CaCO3)	0
Arcilla	46,300
Cr	31
Cu	0
Dolomita	792
Fe	64,800
Feldspar	0
Ferromanganeso	59
La fluorita	9
Granito	0
Grava	239
Hg	0
La piedra caliza (CaCO3)	385,000
Mg	0
N2	6,050
Ni	0
O2	1,180
olivino	608
Pb	395
Fosfato como P2O5	147,000
El cloruro de potasio (KCl)	7
Cuarzo (SiO2)	0
Rutilo	0
S (unido)	1
S (elemental)	233,000
Arena (SiO2)	101,600
Esquisto	1
El cloruro de sodio (NaCl)	712,000
El nitrato de sodio (NaNO3)	0
Talco	0
Sin especificar	0
Zn	14

Tabla 4.2.4.1.5 Materias primas brutas en miligramos necesarios para la creación de la bolsa de papel reciclable.

En la siguiente tabla 4.2.4.1.6 se muestran las emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la creación de la bolsa de papel reciclable. Estas conforme al uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Emisiones de aire /mg	Producción de combustible	Uso de Combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	Fugitive	Total
Polvo	32,900	4,440	1,930	89,000	-	-	128,000
CO	59,500	16,300	23,000	21,900	-	-	121,000
CO2	43,100,000	22,600,000	2,330,000	1,066,000	-63,600,000	-	5,507,000
SOX	168,000	166,000	6,030	239,000	-	-	579,000
NOX	151,000	86,400	26,500	600	-	-	264,000
N2O	<1	<1	-	-	-	-	<1
Hidrocarburos	49,000	16,000	7,300	60	-	-	72,300
Metano	266,000	16,200	10	3,500	-	-	286,000
H2S	<1	-	<1	2,750	-	-	2,750
Aromatico HC	6	-	98	1	-	-	105
HCl	6,440	42	4	622	-	-	7,110
Cl2	<1	-	<1	<1	-	-	<1
HF	242	2	<1	<1	-	-	244
Plomo	<1	<1	<1	<1	-	-	<1
Metales	25	105		<1	-	-	131
F2	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Mercaptans	<1	<1	<1	802	-	-	802
H2	124	<1	<1	91	-	-	215
Organoclorados	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Otros compuestos orgánicos	<1	<1	<1	<1	-	-	1
Los aldehídos (CHO)		-		13	-	-	13
De hidrógeno (H2)	152	-	-	3,130	-	-	3,280
NMVOC	2	-	<1	<1	-	-	2

Tabla 4.2.4.1.6 Emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la creación de la bolsa de papel reciclable.

En la tabla 4.2.4.1.6B se muestran los equivalentes de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones brutas de aire (en miligramos) resultantes de la creación de la bolsa de papel reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y de una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no coincidir debido al redondeo.

Tipo/mg	Producción de combustible	Uso de Combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	Total
Equivalencia de 20 años	59,850,000	23,690,000	2,400,000	1,330,000	-	63,560,000
Equivalencia de 100 años	49,460,000	23,060,000	2,400,000	1,190,000	-	63,560,000
Equivalencia de 500 años	45,200,000	22,800,000	2,400,000	1,130,000	-	63,560,000

Tabla 4.2.4.1.6B Equivalentes de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones brutas de aire (en miligramos) resultantes de la creación de la bolsa de papel reciclable.

En la tabla 4.2.4.1.7 Se muestran las emisiones de agua brutas (en miligramos), que resultan de la creación de la bolsa de papel reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y de una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no coincidir debido al redondeo.

	Producción de Combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
COD	55		35	396,000	396,000
BOD	14		<1	75,000	75,000
Acid (H+)	11		<1	1	13
Al + compuestos como Al	<1		<1	<1	<1
Compuestos de amonio como NH4	19		2	<1	22
AOX	<1		<1	<1	<1
As + compuestos como As			<1	<1	<1
BrO3--	<1		<1	<1	<1
Ca + compuestos como Ca	<1		<1	19	20
Cd + compuestos como Cd			<1		<1
Cl-	25		35	10,400	10,400
ClO3--	<1		<1	97	97
CN-	<1		<1	<1	<1
CO3--			3	30	34
Cr + compuestos como Cr	<1		<1	<1	<1
Cu + compuestos como Cu	<1		<1	<1	<1
Detergente / aceite	<1		2	3	6
Dicloroetano (DCE)	<1		<1	<1	<1
La dioxina / furano como Teq			<1		<1



cloro disuelto	<1		<1	<1	<1
Orgánicos disueltos (no-HC)	23		<1	<1	23
Sólidos disueltos no especificados	1		9	3,700	3,710
F-	<1		<1	<1	<1
Fe + compuestos como Fe	<1		2	<1	3
Hg + compuestos como Hg	<1		<1	<1	<1
Hidrocarburos no especificados	<1	<1	2	<1	3
K+ compuestos como K	<1		<1	<1	<1
Metales no especificados en otra partida	3		<1	3,060	3,060
Mg+ compuestos como Mg	<1		<1	<1	<1
Mn+ compuestos como Mn			<1	<1	<1
Na+ compuestos como Na	10		22	7,510	7,540
Ni+ compuestos como Ni	<1		<1	<1	<1
NO3-	1		<1	76	78
Organoclorados no especificado	<1		<1	6	6
Órgano-estaño como Sn			<1		<1
Otros nitrógeno como N	3		<1	7,950	7,950
Otros compuestos orgánicos no especificados	<1		<1	<1	<1
P+ compuestos como P	<1		<1	879	880
Pb+ compuestos como PB	<1		<1	<1	<1
Los fenoles	<1		<1	<1	<1
S + S como sulfuros	<1		<1	344	344
SO4--	<1		8	1536	1,544
Sr+ compuestos como Sr			<1	<1	<1
Los sólidos en suspensión	2,850		3,870	219,800	226,500
TOC	<1		<1	<1	<1
Monómero de cloruro de vinilo	<1		<1	<1	<1
Zn + compuestos como Zn	<1		<1	<1	<1

Tabla 4.2.4.1.7 Emisiones de agua brutas (en miligramos), que resultan de la creación de la bolsa de papel reciclable.

En la Tabla 4.2.4.1.8 se puede apreciar la generación de residuos sólidos (en miligramos) resultantes de la bolsa de papel reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor, recolectada de una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no coincidir debido al redondeo.

Los residuos sólidos (mg)	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
Residuos de la construcción	<1		<1	<1	<1
Química inerte	<1		<1	275	276
Metales	<1		<1	1,350	1,350
Residuos minerales	2,590		38,500	1,889,000	230,000

Mixta industrial	-26,300		1,550	22,900	-1,860
Residuos sólidos municipales	-383,000				-383,000
Papel	<1		<1	<1	<1
Los recipientes de plástico	<1		<1		<1
Plásticos	<1		<1	389	390
Putrescibles	<1		11	<1	11
Químicos Regulados	67,500		3	85	67,600
Escorias / ceniza	921,000	5,290	15,000	5,380	947,000
Relaves	81		1,290	4	1,380
Productos químicos no regulados	51,200		51	820	52,040
Refuse inespecífico	55,300		<1	282,000	337,000
Desperdicios regresados a la mina	2,202,000		1,420	345	2,203,000
Residuos a compostar				1,290,000	1,290,000
Residuos de incinerador	1		18	16	35
De basura para reciclar	<1		<1	2,544,000	2,544,000
Residuos de Madera	<1		<1	306,000	306,000
Pellets de madera a reciclar	<1		<1		<1

Tabla 4.2.4.1.8 Generación de residuos sólidos (miligramos) resultantes de la bolsa de papel reciclable.

#### 4.2.4.2 Sistema de bolsas de plástico reciclable

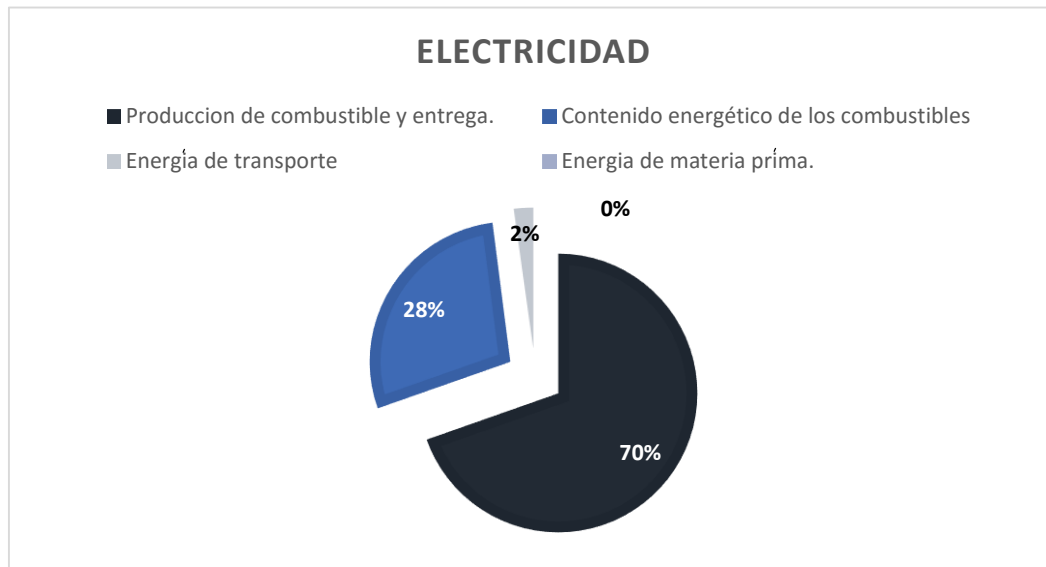
Los resultados del LCA para el sistema de bolsas de plástico reciclable se presentan a continuación, cada uno describe algunos aspectos del comportamiento del sistema examinado. En todos los casos, las tablas siguientes se refieren a los totales brutos o acumulativos cuando todas las operaciones se remontan a la extracción de materias primas de la tierra y se basan en el uso de los consumidores y una colección de 1.000 y 1.500 bolsas. Posteriormente las operaciones de eliminación, reciclaje, compostaje, incineración con recuperación de energía y el relleno sanitario no se incluyen en estas tablas de resultados estos serán discutidos por separado más adelante.

Como se puede apreciar en la tabla 4.2.4.2.1 A. La energía bruta (en MJ), necesaria para la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no coincidir debido al redondeo.

Tipo de Combustible	Producción de combustible y entrega.	Contenido energético de los combustibles	Energía de transporte	Energía de materia prima.	Energía total
Electricidad	103	42	3	0	148
Petróleo	2	35	7	156	199
Otra	2	37	0	123	162
Total	106	114	11	279	509

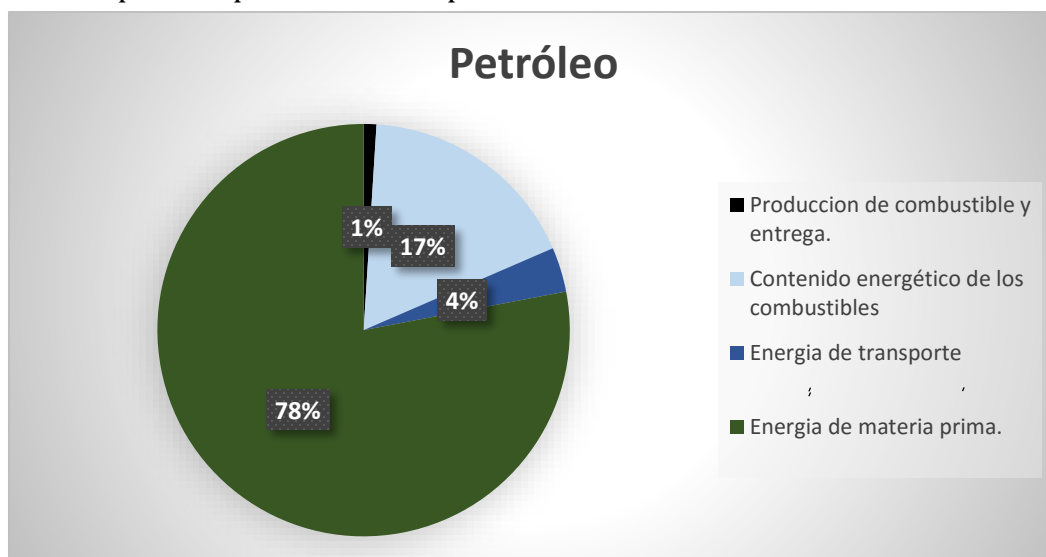
Tabla 4.2.4.2.1 A. Energía bruta (en MJ), necesaria para la bolsa de plástico reciclable.

En la gráfica 4.2.4.2.1, 2, 3. Se observan los porcentajes necesarios para la bolsa de plástico reciclable, en cada una de las gráficas se muestran individualmente los porcentajes que corresponden tanto a producción de combustible, transporte contenido energético o materia prima, en la primera grafica podemos observar el tipo de combustible que corresponde a la electricidad posteriormente petróleo y para finalizar tenemos otras, datos provenientes de la tabla 4.2.4.2.1.



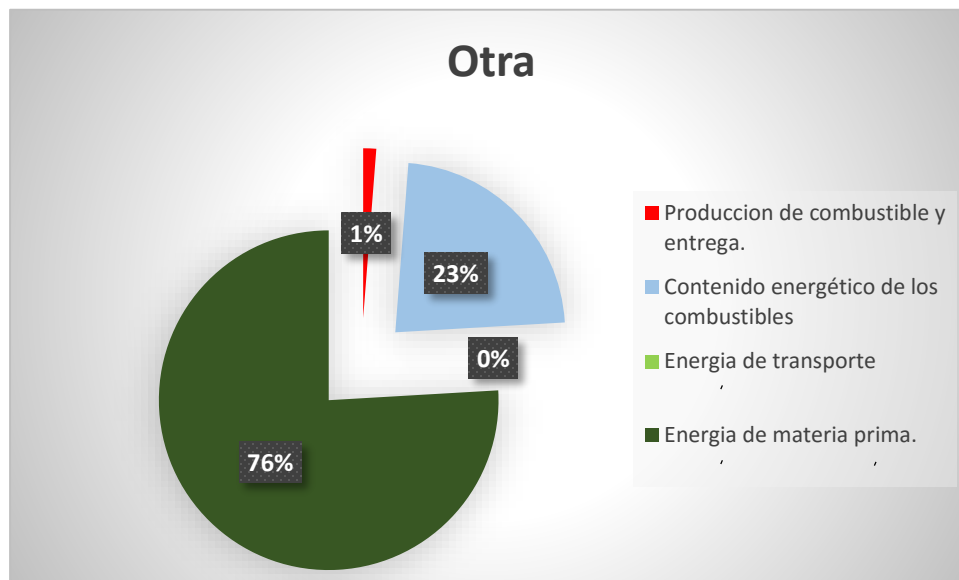
Gráfica 4.2.4.2.1 Cantidad de energía eléctrica requerida para cada proceso para el sistema de las bolsas de plástico reciclable.

Como se puede apreciar la electricidad es usada principalmente para la producción de combustible, así como para su contenido energético, prácticamente no es utilizada ni para el transporte ni para la materia prima.



Gráfica 4.2.4.2.2 Cantidad de petróleo requiero para cada uno de los procesos que involucran la creación de las bolsas de plástico reciclable.

En cambio como se aprecia con el petróleo es utilizado principalmente como materia prima, y en una menor parte para ser usado como combustible solo una pequeña parte es destinada para la producción de combustible y entrega.



Gráfica 4.2.4.2.3 Cantidad de otras materias requeridas para cada uno de los procesos que involucran la creación de las bolsas de plástico reciclable.

La Tabla 4.2.4.2.1B. Muestra la energía bruta (en MJ), requerida para la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Tipo de Combustible	Producción de combustible y entrega	Contenido energético de los combustibles	Energía de transporte	Energía de Materias primas	Energía total
Electricidad	154	63	5	0	222
Petróleo	3	53	11	233	299
Otros	2	55	1	185	242
Total	159	171	16	418	763

Tabla 4.2.4.2.1B. Energía bruta (en MJ), requerida para la bolsa de plástico reciclable.

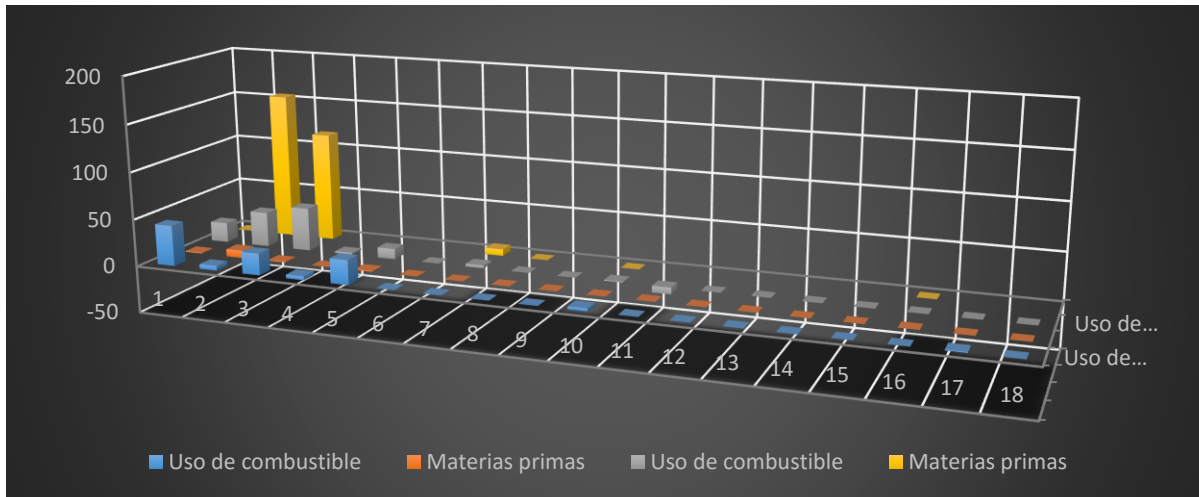
La Tabla 4.2.4.2.2 A. Muestra los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles. Expresados en forma de energía (en MJ), necesarios para la bolsa de plástico

reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Materias primas	Total
Carbón	43	21	1	0	65
Petróleo	5	37	8	155	206
Gas	23	46	1	116	186
Hydro	4	2	0		6
Nuclear	26	11	1		38
Lignito	0	0	0		0
Madera	0	3	0	7	9
Sulfuro	0	0	0	0	0
Hidrogeno	0	0	0		0
Biomasa (solida)	3	1	0	0	4
Energía de recuperación	0	-7	0		-7
Geotermal	0	0	0		0
Inespecífica	0	0	0		0
Solar	0	0	0		0
Biomasa (liquido/gas)	0	0	0		0
Desperdicios industriales	0	0	0	0	0
Desechos municipales	1	0	0		1
Aire	0	0	0		0
Totales	106	114	11	279	509

Tabla 4.2.4.2.2 A. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles. Expresados en forma de energía (en MJ), necesarios para la bolsa de plástico reciclable.

En la siguiente grafica 4.2.4.2.4 se muestran los principales combustibles y materias primas fósiles usadas para la bolsa de plástico reciclable como se puede apreciar claramente preponderan las materias primas siendo casi el doble de importante que los combustibles, datos provenientes de la tabla 4.2.4.2.2.



Gráfica 4.2.4.2.4 Principales Combustibles y materias primas fósiles para la creación de la bolsa de plástico reciclable.

En la siguiente tabla 4.2.4.2.2 B. se puede apreciar los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresadas en forma de energía (en MJ), necesarias para la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basados en el uso del consumidor y una recolección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Materias primas	Total
Carbón	65	31	2	0	98
Petróleo	8	56	12	233	309
Gas	35	69	2	175	279
Hydro	6	3	0		9
Nuclear	16	1	1		57
Lignito	0	0	0		0
Madera	0	4	0	10	14
Sulfuro	0	0	0	0	0
Hidrogeno	0	0	0		0
Biomasa (solida)	4	2	0	0	6
Energía de recuperamiento	0	-11	0		-11
Geotermal	0	0	0		0
Inespecificada	0	0	0		0
Solar	0	0	0		0
Biomasa (liquido/gas)	0	0	0		0
Desperdicios industriales	0	0	0	0	0

Desechos municipales	1	0	0		1
Aire	0	0	0		0
Totales	159	171	16	418	763

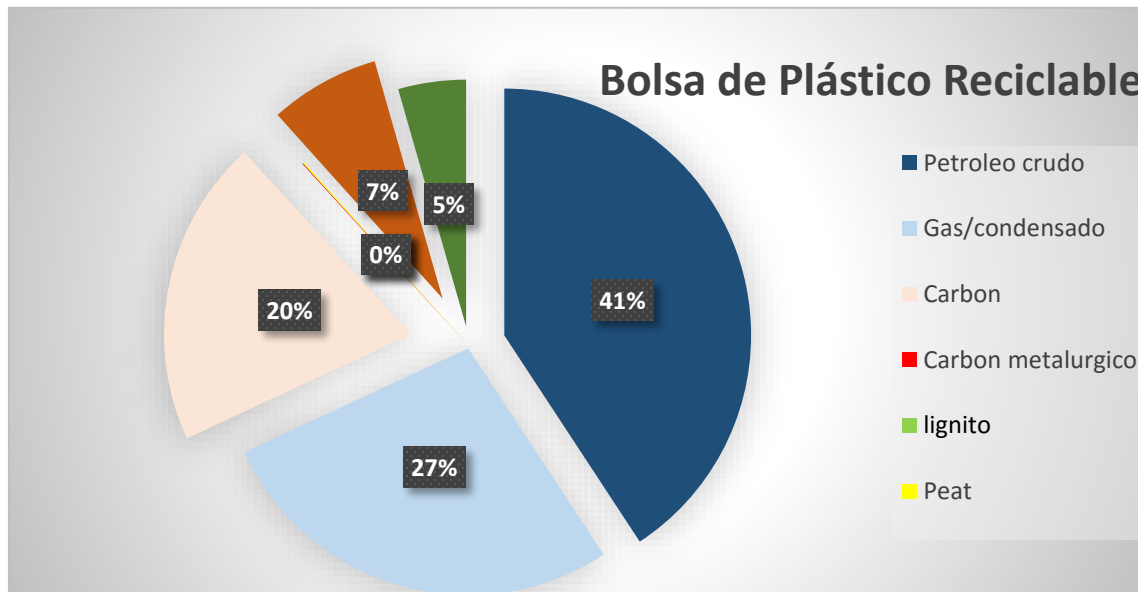
Tabla 4.2.4.2.3 B. Muestra los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados en forma de masa (en miligramos), que se requieren para la bolsa de plástico reciclable.

La tabla 4.2.4.2.3 A. Muestra los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados como masa (en miligramos), que requiere la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Petróleo crudo	4,571,000
Gas/condensado	3,065,000
Carbón	2,259,000
Carbón metalúrgico	6,060
Lignito	670
Turba	7,920
Madera (50% Agua)	809,000
Biomasa (86incl.. Agua)	498,000

Tabla 4.2.4.2.4 A. Se muestran los recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la bolsa de plástico reciclable.

Como se puede apreciar más claramente en la gráfica 4.2.4.2.5 se muestran los principales primarios brutos necesarios para la bolsa de plástico reciclable (1000 Bolsas), datos provenientes de la tabla anterior 4.2.4.2.4 A.



Gráfica 4.2.4.2.5 Principales primarios brutos necesarios para la bolsa de plástico reciclable.

Como se puede apreciar a diferencia de la bolsa de papel reciclable donde la principal materia prima era la madera (50% Agua), la bolsa de plástico usa como principal materia prima el petróleo crudo así como el gas condensado y el carbón y en menos medida al igual que la bolsa de plástico se usa el lignito, carbón metalúrgico y turba<sup>6</sup>.

La Tabla 4.2.4.2.3 B. Muestra los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados en forma de masa (en miligramos), que se requieren para la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

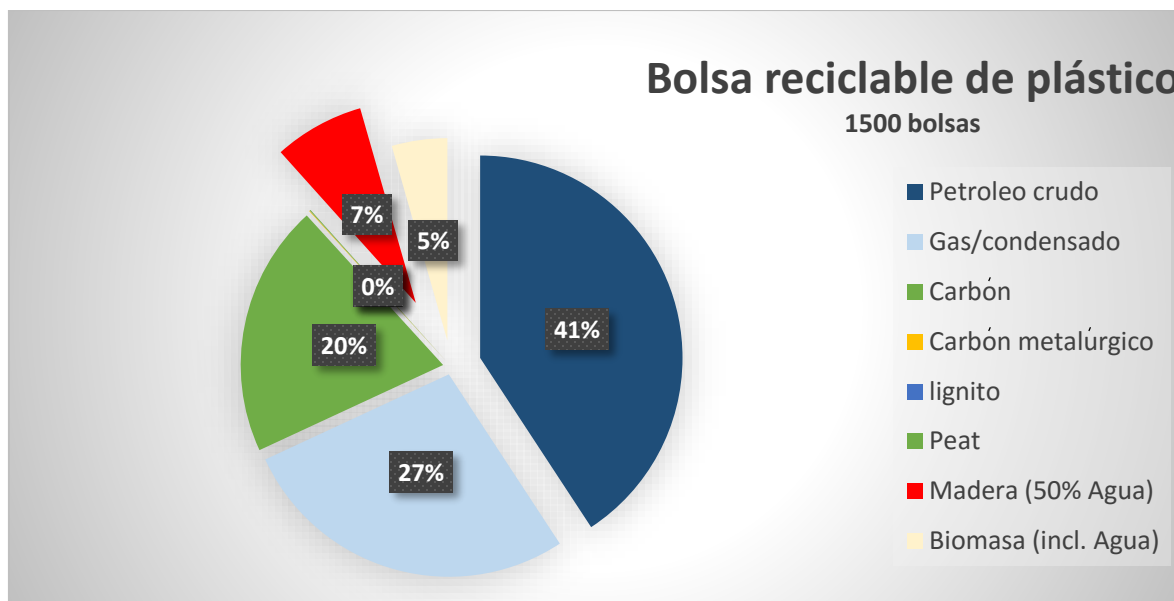
Petróleo crudo	6,857,000
Gas/condensado	4,598,000
Carbón	3,388,000
Carbón metalúrgico	9,100
lignito	1,010
Turba	11,900
Madera (50% Agua)	1,212,000
Biomasa (87abla. Agua)	746,000

Tabla 4.2.4.2.3 B. Muestra los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresados en forma de masa (en miligramos), que se requieren.

<sup>6</sup> Turba: Carbón ligero, esponjoso y de aspecto terroso que se forma en lugares pantanosos debido a la descomposición de restos vegetales, la turba es un combustible fósil con poco valor energético también es utilizado para preparar la tierra por su alto contenido de nitrógeno.



En la gráfica 4.2.4.2.6 se pueden apreciar con mayor facilidad los principales primarios brutos necesarios para la bolsa de plástico reciclable (1500 bolsas), datos provenientes de la tabla 4.2.4.2.3 B.



Gráfica 4.2.4.2.6 Principales primarios brutos necesarios para la bolsa de plástico reciclable (1500 bolsas).

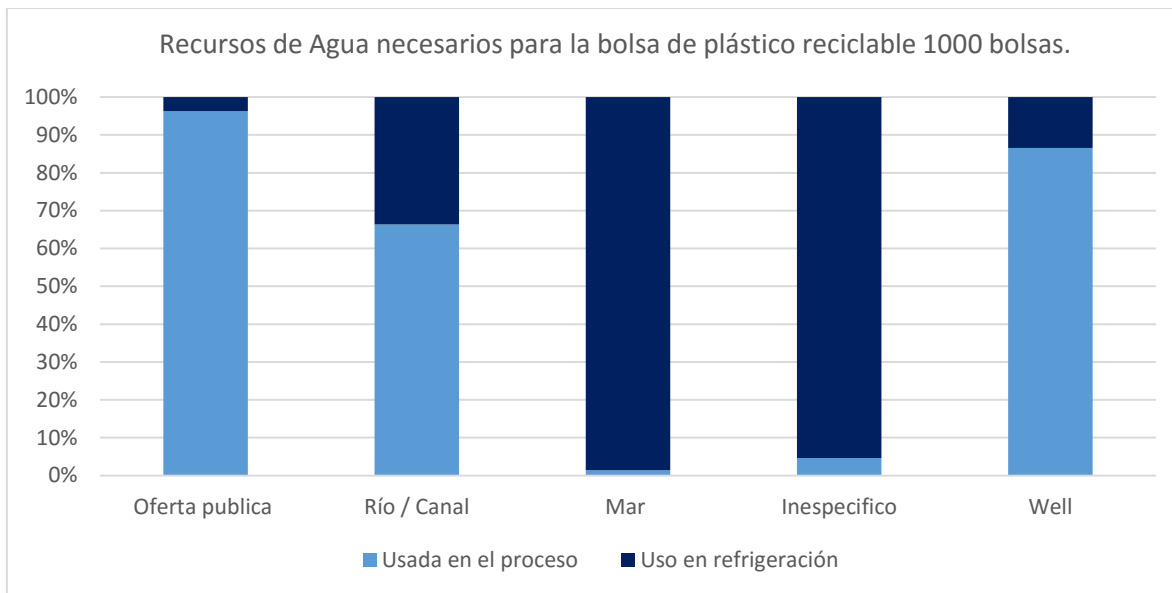
En la siguiente tabla 4.2.4.2.4 A. Se muestran los recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Fuente	Usada en el proceso	Uso en refrigeración	Totales
Suministro publico	31,900,000	1,230,000	33,150,000
Río / Canal	4,970,000	2,520,000	7,480,000
Mar	819,000	58,600,000	59,400,000
Inespecifico	5,120,000	105,400,000	110,600,000
Well	425,000	66,000	138,000
Total	43,250,000	167,800,000	211,100,000

Tabla 4.2.4.2.4 A. Se muestran los recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la bolsa de plástico reciclable.

A continuación se presenta la gráfica 4.2.4.2.7 donde se pueden apreciar los porcentajes de agua utilizados tanto en el proceso como los utilizados para la

refrigeración, cada uno de un color diferente dependiendo de su lugar de origen basados en una recolección de (1000 bolsas).



Gráfica 4.2.4.2.7 Porcentajes de agua requeridos tanto para el proceso como la refrigeración dependiendo de su origen.

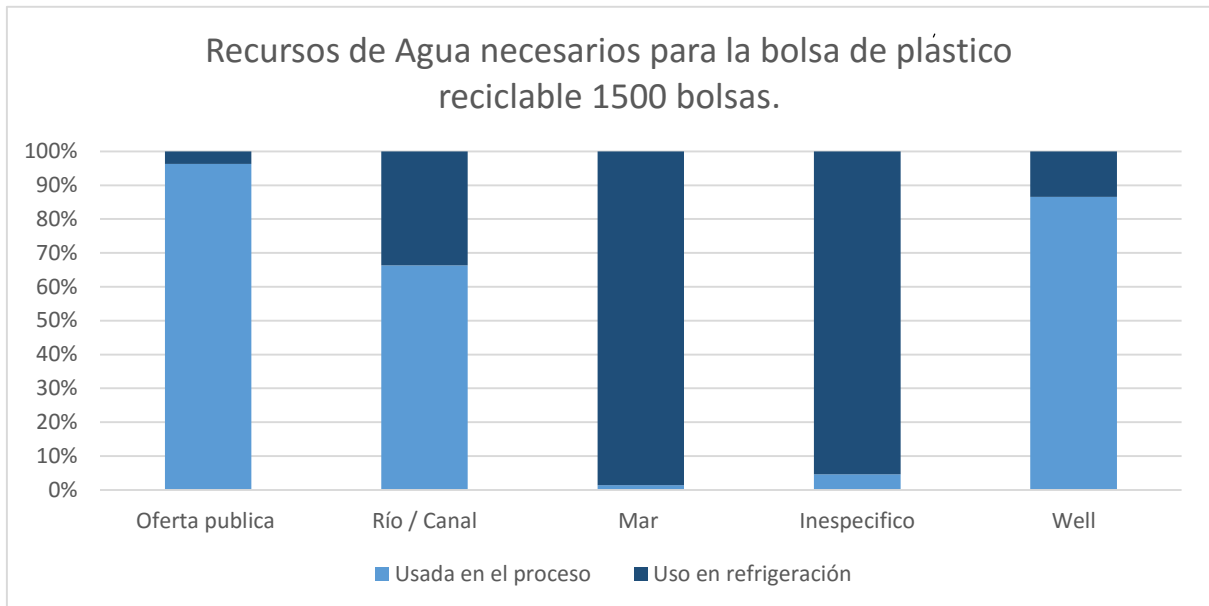
Como se puede apreciar en la gráfica 4.2.4.2.7 al igual que con la bolsa de papel reciclable la bolsa de plástico reciclable utiliza en mayor medida el agua de mar para ser usada como refrigerante, como podemos apreciar en la tabla 4.2.4.2.4<sup>a</sup> el principal lugar de origen de estos recursos es inespecífico pero seguido a él tenemos el mar y el suministro público.

En la tabla 4.2.4.2.4 B. Como en la tabla anterior se muestran los recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Fuente	Usada en el proceso	Uso en refrigeración	Totales
Oferta pública	47,900,000	1,850,000	49,700,000
Río / Canal	7,460,000	3,780,000	11,200,000
Mar	1,230,000	87,900,000	89,100,000
Inespecífico	7,680,000	158,000,000	166,000,000
Well	638,000	99,000	207,000
Total	64,900,000	252,000,000	317,000,000

Tabla 4.2.4.2.4 B. Como en la tabla anterior se muestran los recursos de agua bruta (en miligramos) necesarios para la bolsa de plástico reciclable.

A continuación se presenta la gráfica 4.2.4.2.8 donde se pueden apreciar los porcentajes de agua utilizados tanto en el proceso como los utilizados para la refrigeración, cada uno de un color diferente dependiendo de su lugar de origen basados en una recolección de (1500 bolsas), datos provenientes de la tabla 4.2.4.2.4 B.



Grafica 4.2.4.2.8 Porcentajes de agua requeridos tanto para el proceso como la refrigeración dependiendo de su origen (1500 bolsas)

En tabla 4.2.4.2.5 A. Se pueden apreciar algunas otras materias primas brutas (en miligramos) necesarias para la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Material crudo	Entrada en mg
Aire	1,436,000
materia de Animales	<1
barita	343
bauxita	111
bentonita	231
Sulfato de calcio (CaSO4)	22
arcilla	235
Cr	7
Cu	<1
Dolomita	184
Fe	15,000

feldespato	<1
Ferromanganeso	14
La fluorita	3
granito	<1
grava	56
Hg	<1
La piedra caliza (CaCO <sub>3</sub> )	542,000
Mg	<1
N <sub>2</sub>	823,000
Ni	<1
O <sub>2</sub>	110,000
olivino	141
Pb	87
Fosfato como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	743
El cloruro de potasio (KCl)	252
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	0
Rutilo	272,000
S (unido)	13
S (elemental)	1,520
Arena (SiO <sub>2</sub> )	935
esquisto	63
El cloruro de sodio (NaCl)	51,200
El nitrato de sodio (NaNO <sub>3</sub> )	0
talco	<1
Sin especificar	<1
Zn	266

Tabla 4.2.4.2.5 A. Se pueden apreciar algunas otras materias primas brutas (en miligramos) necesarias para la bolsa de plástico reciclable.

En la siguiente tabla 4.2.4.2.5 B. Como en la anterior se muestran algunas otras materias primas brutas en forma de masa (en miligramos) que son necesarias para la bolsa de plástico reciclable (LCA). Estas están basadas en el uso del consumidor y una recolección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Material crudo	Entrada en mg
Aire	2,154,000
materia de Animales	<1
barita	515
bauxita	166

bentonita	347
Sulfato de calcio (CaSO <sub>4</sub> )	33
arcilla	353
Cr	10
Cu	<1
Dolomita	276
Fe	22,600
feldespato	<1
Ferromanganeso	21
La fluorita	4
granito	<1
grava	83
Hg	<1
La piedra caliza (CaCO <sub>3</sub> )	812,000
Mg	<1
N <sub>2</sub>	1,235,000
Ni	<1
O <sub>2</sub>	165,000
olivino	212
Pb	131
Fosfato como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,120
El cloruro de potasio (KCl)	379
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	0
Rutilo	408,000
S (unido)	20
S (elemental)	2,270
Arena (SiO <sub>2</sub> )	1,400
esquisto	94
El cloruro de sodio (NaCl)	76,700
El nitrato de sodio (NaNO <sub>3</sub> )	0
talco	<1
Sin especificar	<1
Zn	399

Tabla 4.2.4.2.5 B. Como en la anterior se muestran algunas otras materias primas brutas en forma de masa (en miligramos) que son necesarias para la bolsa de plástico reciclable.

En la tabla 4.2.4.2.6 A. se muestran las emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Emisiones de aire en mg	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	fugitive	Total
Polvo (PM10)	6,340	540	430	7,000	-	-	14,300
CO	10,800	48,900	5,110	2,570	-	-	67,400
CO2	8,570,000	5,390,000	551,000	953,000	427,000	-	15,030,000
SOX como SO2	35,700	9,130	2,000	3,640	-	-	50,500
H2S	<1	-	<1	14	-	-	14
mercaptano	<1	<1	-	4	-	-	4
NOX como NO2	28,500	10,000	6,060	870	-	-	45,400
Aldehyde (-CHO)	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Aromático HC no específico	1	-	22	380	-	-	403
CD + compuestos como Cd	<1	-	<1	-	-	-	<1
CH4	40,900	1,660	3	20,700	-	-	63,300
Cl2	<1	-	<1	29	-	-	29
Cr + compuestos como Cr	<1	-	<1	-	-	-	<1
CS2	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Cu+ compuestos como Cu	<1	-	<1	-	-	-	<1
Dicloroetano (DCE)	<1	-	<1	<1	-	<1	<1
El etileno C2H4		-	<1		-	-	<1
F2	<1	-	<1	<1	-	-	<1
H2	68	2	<1	754	-	-	824
H2SO4	<1	-	<1	<1	-	-	<1
HCl	1,220	95	<1	3	-	-	1,320
HCN	<1	-	<1	<1	-	-	<1
HF	46	1	<1	<1	--	-	47
Hg+ compuestos como Hg	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Hidrocarburos no especificado	7,430	920	1,670	13,100	-	-	23,100
Metales no especificado	6	5	<1	3	-	-	14
El cloruro de metileno CH2	<1	-	<1	<1	-	-	<1
N2O	<1	<1	<1		-	-	<1
NH3	<1	-	<1	8	-	-	8
Compuestos de Ni como Ni	<1	-	<1	-	-	-	<1
NMVOC	<1	-	<1	993	-	-	994

Orgánicos	<1	<1	<1	367	-	-	367
Organoclorados no especificado	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Pb+ compuestos como pb	<1	<1	<1	<1	-	-	<1
hidrocarburo policíclico	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Sb+ compuestos como Sb	-	-	<1	-	-	-	<1
Monómero de cloruro de vinilo	<1	-	<1	<1	-	<1	<1
Zn+ compuestos como Zn	<1	-	<1	<1	-	-	<1

Tabla 4.2.4.2.6 A. Se muestran las emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable.

La Tabla 4.2.4.2.6 B. Muestra los equivalentes brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones generadas hacia la atmósfera expresadas en forma de masa (miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Tipo/mg	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	Total
Equivalente a 20 años	11,100,000	5,590,000	566,000	2,280,000	-427,000	19,200,000
Equivalente a 100 años	9,550,000	5,530,000	566,000	1,470,000	-427,000	16,700,000
Equivalente a 500 años	8,900,000	5,500,000	566,000	1,140,000	-427,000	15,700,000

Tabla 4.2.4.2.6 B. Equivalentes brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones generadas hacia la atmósfera expresadas en forma de masa (miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable

La tabla 4.2.4.2.6. C. Muestra as emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Emisiones de aire en mg	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	fugitive	Total
Polvo (PM10)	9,500	811	644	10,500	-	-	21,500
CO	16,100	73,400	7,670	3,850	-	-	101,000
CO2	12,900,000	8,082,000	826,000	1,429,000	-640,000	-	22,550,000

SOX como SO2	53,500	13,700	3,000	5,460	-	-	75,700
H2S	<1		<1	21	-	-	22
mercaptano	<1	<1	-	6	-	-	6
NOX como NO2	42,700	15,100	9,090	1,310	-	-	68,100
Aledhyde (-CHO)	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Aromático HC no especifico	2	-	33	570	-	-	604
CD + compuestos como Cd	<1	-	<1	-	-	-	<1
CH4	61,400	2,490	4	31,090	-	-	95,000
Cl2	<1	-	<1	43	-	-	43
Cr + compuestos como Cr	<1	-	<1	-	-	-	<1
CS2	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Cu+ compuestos como Cu	<1	-	<1	-	-	-	<1
Dicloroetano (DCE)	<1	-	<1	<1	-	<1	<1
El etileno C2H4		-	<1	-	-	-	<1
F2	<1	-	<1	<1	-	-	<1
H2	102	2	<1	1,130	-	-	1,240
H2SO4	<1	-	<1	<1	-	-	<1
HCl	1,830	142	<1	5	-	-	1,980
HCN	<1	-	<1	<1	-	-	<1
HF	69	2	<1	<1	-	-	71
Hg+ compuestos como Hg	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Hidrocarburos no especificado	11,100	1,380	2,510	19,700	-	-	34,700
Metales no especificado	9	7	<1	5	-	-	21
El cloruro de metileno CH2	<1	-	<1	<1	-	-	<1
N2O	<1	<1	<1		-		<1
NH3	<1	-	<1	12	-	--	12
Compuestos de Ni como Ni	<1	-	<1	-	-	-	<1
NMVOC	<1	-	<1	1,490	-	-	1,490
Organicos	<1	<1	<1	551	-	-	551



Organoclorados no especificado	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Pb+ compuestos como pb	<1	<1	<1	<1	-	-	<1
hidrocarburo policíclico	<1	-	<1	<1	-	-	<1
Sb+ compuestos como Sb	-	-	<1	-	-	-	<1
Monómero de cloruro de vinilo	<1	-	<1	<1	-	<1	<1
Zn+ compuestos como Zn	<1	-	<1	<1	-	-	<1

Tabla 4.2.4.2.6. C. Muestra las emisiones brutas de aire (en miligramos) que resultan de la bolsa de plástico reciclable.

A continuación den la tabla 4.2.4.2.6 D. se pueden apreciar las emisiones brutas de aire (en miligramos) resultantes de la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Tipo/mg	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	Total
Equivalente a 20 años	16,700,000	8,390,000	849,000	3,420,000	-641,000	28,800,000
Equivalente a 100 años	14,300,000	8,300,000	849,000	2,210,000	-641,000	25,100,000
Equivalente a 500 años	13,400,000	8,250,000	849,000	1,710,000	-641,000	23,600,000

Tabla 4.2.4.2.6 D. se aprecian las emisiones brutas de aire (en miligramos) resultantes de la bolsa de plástico reciclable.

Como se muestra en la tabla 4.2.4.2.7 A. Se pueden apreciar las emisiones brutas de agua (en miligramos), que resultan de la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de Combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
COD	9	-	8	5,390	5,410

BOD	2	-	<1	543	545
Acid (H+)	4	-	<1	9	13
Al + compuestos como Al	<1	-	<1	4	4
Compuestos de amonio como NH <sub>4</sub>	5	-	2	11	17
AOX	<1	-	<1	<1	<1
As + compuestos como As	-	-	<1	<1	<1
BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<1	-	<1	<1	<1
Ca + compuestos como Ca	<1	-	<1	20	20
Cd + compuestos como Cd	-	-	<1	-	<1
Cl <sup>-</sup>	3	-	8	3,060	3,070
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<1	-	<1	15	15
CN <sup>-</sup>	<1	-	<1	<1	<1
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		-	<1	181	182
Cr + compuestos como Cr	<1	-	<1	<1	<1
Cu + compuestos como Cu	<1	-	<1	1	1
Detergente / aceite	<1	-	2	39	40
Dicloroetano (DCE)	<1	-	<1	<1	<1
La dioxina / furano como Teq	-	-	<1	-	<1
cloro disuelto	<1	-	<1	<1	<1
Orgánicos disueltos (no-HC)	3	-	<1	44	47
Sólidos disueltos no especificados	2	-	2	947	952
F <sup>-</sup>	<1	-	<1	<1	<1
Fe + compuestos como Fe	<1	-	<1	<1	<1
Hg + compuestos como Hg	<1	-	<1	<1	<1
Hidrocarburos no especificados	26	<1	<1	3	30
K+ compuestos como K	<1	-	<1	11	11
Metales no especificados en otra partida	<1	-	<1	54	55
Mg+ compuestos como Mg	<1	-	<1	<1	<1
Mn+ compuestos como Mn	-	-	<1	<1	<1
Na+ compuestos como Na	2	-	5	3,136	3,143
Ni+ compuestos como Ni	<1	-	<1	<1	<1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1	-	<1	13	13
Organoclorados no especificado	<1	-	<1	<1	<1
Órgano-estaño como Sn		-	<1		<1
Otros nitrógeno como N	<1	-	<1	46	47
Otros compuestos orgánicos no especificados	<1	-	<1	<1	<1
P+ compuestos como P	<1	-	<1	7	7
Pb+ compuestos como Pb	<1	-	<1	<1	<1
Los fenoles	<1	-	<1	10	10
S + S como sulfuros	<1	-	<1	2	2

SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	<1	-	2	4,097	4,098
Sr+ compuestos como Sr	-	-	<1	<1	<1
Los sólidos en suspensión	573	-	861	78,300	79,800
TOC	<1	-	<1	60	60
Monómero de cloruro de vinilo	<1	-	<1	<1	<1
Zn + compuestos como Zn	<1	-	<1	<1	<1

Tabla 4.2.4.2.7 A. Se muestran las emisiones brutas de agua en forma de masa (miligramos), que resultan de la bolsa de plástico reciclable.

En la tabla 4.2.4.2.7 B. Se muestran las emisiones brutas de agua en forma de masa (miligramos), que resultan de la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de Combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
COD	14		12	8,080	8,110
BOD	3		<1	814	817
Acid (H <sup>+</sup> )	6		<1	13	19
Al + compuestos como Al	<1		<1	5	5
Compuestos de amonio como NH <sub>4</sub>	7		2	17	25
AOX	<1		<1	<1	<1
As + compuestos como As			<1	<1	<1
BrO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	<1		<1	<1	<1
Ca + compuestos como Ca	<1		<1	30	30
Cd + compuestos como Cd			<1		<1
Cl <sup>-</sup>	5		11	4,590	4,610
ClO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	<1		<1	22	22
CN <sup>-</sup>	<1		<1	<1	<1
CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>			1	272	273
Cr + compuestos como Cr	<1		<1	<1	<1
Cu + compuestos como Cu	<1		<1	2	2
Detergente / aceite	<1		2	59	60
Dicloroetano (DCE)	<1		<1	<1	<1
La dioxina / furano como Teq			<1		<1
cloro disuelto	<1		<1	1	1
Orgánicos disueltos (no-HC)	4		<1	66	70
Sólidos disueltos no especificados	3		3	1,420	1,430
F <sup>-</sup>	<1		<1	<1	<1

Fe + compuestos como Fe	<1		<1	<1	<1
Hg + compuestos como Hg	<1		<1	<1	<1
Hidrocarburos no especificados	39	<1	<1	4	45
K+ compuestos como K	<1		<1	16	16
Metales no especificados en otra partida	1		<1	81	83
Mg+ compuestos como Mg	<1		<1	<1	<1
Mn+ compuestos como Mn			<1	<1	<1
Na+ compuestos como Na	3		8	4,700	4,710
Ni+ compuestos como Ni	<1		<1	<1	<1
NO3-	<1		<1	19	19
Organoclorados no especificado	<1		<1	<1	<1
Órgano-estaño como Sn			<1		<1
Otros nitrógeno como N	1		<1	69	70
Otros compuestos orgánicos no especificados	<1		<1	<1	<1
P+ compuestos como P	<1		<1	10	10
Pb+ compuestos como PB	<1		<1	<1	<1
Los fenoles	<1		<1	15	15
S + S como sulfuros	<1		<1	3	3
SO4--	<1		3	6,150	6,150
Sr+ compuestos como Sr			<1	<1	<1
Los sólidos en suspensión	860		1,290	117,500	119,600
TOC	<1		<1	90	90
Monómero de cloruro de vinilo	<1		<1	<1	<1
Zn + compuestos como Zn	<1		<1	1	1

Tabla 4.2.4.2.7 B. Se muestran las emisiones brutas de agua en forma de masa (miligramos), que resultan de la bolsa de plástico reciclable.

A continuación se muestra la tabla 4.2.4.2.8 A. donde se puede apreciar la generación de residuos sólidos en forma de masa (miligramos) como resultado de la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Los residuos sólidos (mg)	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
Residuos de la construcción	<1		<1	<1	<1
Química inerte	<1		<1	3,446	3,446
Metales	<1		<1	301	301
Residuos minerales	974		8,564	324,200	333,700
Mixta industrial	-11,800		345	5,520	-5,950

Residuos sólidos municipales	-79,800			22,500	-57,300
Papel	<1		<1	<1	<1
Los recipientes de plástico	<1		<1		<1
Plásticos	<1		<1	53,600	53,600
Putrescibles	<1		2	7	10
Químicos Regulados	9,040		<1	4,720	13,800
Escorias / ceniza	180,000	4,460	3,330	1,660	189,000
Relaves	16		287	1,048	1,350
Productos químicos no regulados	6,810		11	7,190	14,000
refuse inespecífico	7,350		<1	62,900	70,200
Desperdicios regresados a la mina	443,000		316	872	444,400
Residuos a compostar				9,290	9,290
Residuos de incinerador	1		4	4,370	4,380
De basura para reciclar	<1		<1	33,200	33,200
Residuos de Madera	<1		<1	2,330	2,330
Pellets de madera a reciclar	<1		<1	298,000	298,000

Tabla 4.2.4.2.8 A. se aprecia la generación de residuos sólidos en forma de masa (miligramos) como resultado de la bolsa de plástico reciclable.

En la tabla 4.2.4.2.8 B. Se muestra la cantidad de residuos sólidos generados (en miligramos) como resultado de la bolsa de plástico reciclable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Los residuos sólidos (mg)	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
Residuos de la construcción	<1		<1	<1	<1
Química inerte	<1		<1	5,170	5,170
Metales	<1		<1	452	452
Residuos minerales	1,460		12,800	486,000	501,000
Mixta industrial	-17,700		517	8,280	-8,930
Residuos sólidos municipales	1,119,700			33,800	-85,900
Papel	<1		<1	<1	<1
Los recipientes de plástico	<1		<1		<1
Plásticos	<1		<1	80,400	80,400
Putrescibles	<1		4	11	14
Químicos Regulados	13,600		<1	7,080	20,600
Escorias / ceniza	270,000	6,680	4,990	2,480	284,000
Relaves	24		430	1,570	2,030
Productos químicos no regulados	10,200		17	10,800	21,000
refuse inespecífico	11,030		<1	94,300	105,400

Desperdicios regresados a la mina	665,000		475	1,310	667,000
Residuos a compostar				13,900	13,900
Residuos de incinerador	<1		6	6,560	6,560
De basura para reciclar	<1		<1	49,800	49,800
Residuos de Madera	<1		<1	3,500	3,500
Pellets de madera a reciclar	<1		<1	447,000	447,000

Tabla 4.2.4.2.8 B. Se muestra la cantidad de residuos sólidos generados (en miligramos) como resultado de la bolsa de plástico reciclable.

### 4.2.4.3 El sistema de bolsas de plástico biodegradable

Los resultados del LCA para el sistema de bolsa de plástico biodegradable ECO/FLEX se presentan a continuación, cada una describiendo algún aspecto del comportamiento del sistema examinado. En todos los casos, las siguientes tablas se refieren a los totales brutos o acumulativos cuando todas las operaciones se remontan a la extracción de materias primas de la tierra, las operaciones se basan en el uso del consumidor y la recopilación de 1.000 y 1.500 bolsas. Las operaciones de eliminación; reciclaje, compostaje, incineración con recuperación de energía y los vertederos no se incluyen en estas tablas de resultados y se discutirán por separado.

Para comenzar en la tabla 4.2.4.3.1A. Se puede apreciar la cantidad de energía bruta (MJ), necesario para la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una recopilación de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Tipo de Combustible	Producción de combustible y entrega	Contenido energético de los combustibles	Energía de transporte	Energía de Materias primas	Energía total
Electricidad	221	103	1	0	325
Petróleo	29	279	36	1	345
Otros	15	277	1	417	710
Total	265	659	38	418	1380

Tabla 4.2.4.3.1 A. Se puede apreciar la cantidad de energía bruta (MJ), necesario para la bolsa de plástico biodegradable.

En la tabla 4.2.4.3.1 B. Se observa la energía bruta (MJ), necesario para la bolsa de plástico biodegradable. Basado en el uso del consumidor y una recopilación de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Tipo de Combustible	Producción de combustible y entrega	Contenido energético de los combustibles	Energía de transporte	Energía de Materias primas	Energía total
Electricidad	331	154	2	0	487
Petróleo	44	418	54	1	518
Otros	22	416	2	625	1065
Total	398	988	57	627	2070

Tabla 4.2.4.3.1 B. Se observa la energía bruta (MJ), necesario para la bolsa de plástico biodegradable.

A continuación en la tabla 4.2.4.3.2 A. Se pueden apreciar los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresado en forma de energía (MJ), necesarios para la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una recopilación de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Materias primas	Total
Carbón	113	48	1	0	161
Petróleo	34	281	37	1	353
Gas	44	301	1	360	705
Hydro	7	2	0		9
39	62	11	0		74
Lignitio	0	0	0		0
Madera	0	7	0	18	26
Sulfuro	0	0	0	0	0
Hidrogeno	0	0	0	0	0
Biomasa (solida)	6	2	0	39	47
Energía de recuperamiento	-2	-5	0		-8
Geotermal	0	0	0		0
Inespecífica	0	0	0		0
Solar	0	0	0		0
Biomasa (liquido/gas)	0	0	0		0

Desperdicios industriales	1	0	0	0	1
Desechos municipales	1	0	0		1
Aire	0	11	0		11
Totales	265	659	38	418	1,380

Tabla 4.2.4.3.2 A. primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresado en forma de energía (MJ), necesarios para la bolsa de plástico biodegradable.

Ahora bien en la tabla 4.2.4.3.2 B. Como en la anterior se muestran los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresadas en forma de energía (MJ), necesarias para la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Basado en el uso del consumidor pero a comparación con la anterior esta se basa en una compilación de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Materias primas	Total
Carbón	169	72	1	0	241
Petróleo	51	422	55	1	529
Gas	65	451	1	540	1,057
Hydro	11	3	0		14
39	94	17	0		111
Lignitio	0	0	0		0
Madera	0	11	0	27	38
Sulfuro	0	0	0	0	0
Hidrogeno	0	0	0	0	0
Biomasa (solida)	9	4	0	58	71
Energía de recuperamiento	-4	-8	0		-11
Geotermal	0	0	0		0
Inespecífica	0	0	0		0
Solar	0	0	0		0
Biomasa (liquido/gas)	0	0	0		0
Desperdicios industriales	1	0	0	0	1
Desechos municipales	1	1	0		2



Aire	0	16	0		16
Totales	398	988	57	627	2,070

Tabla 4.2.4.3.2 B. primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresadas en forma de energía (MJ), necesarias para la bolsa de plástico biodegradable

En la tabla 4.2.4.3.3 A. Se muestran los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresado en forma de masa (miligramos), que requiere la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una recopilación de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Petróleo crudo	7,840,000
Gas/condensado	14,020,000
Carbón	5,760,000
Carbón metalúrgico	17,000
lignito	0
Peat	7
Madera (50% Agua)	2,210,000
Biomasa (104abla. Agua)	986,000

Tabla 4.2.4.3.3 A. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresado en forma de masa (miligramos), que requiere la bolsa de plástico biodegradable.

A continuación en la tabla 4.2.4.3.3 B. como en la anterior se pueden apreciar perfectamente los primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresado en forma de masa (miligramos), que requiere la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Estos basados en el uso del consumidor y una recopilación de 1.500 bolsas a diferencia de la tabla anterior. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Petróleo crudo	11,760,000
Gas/condensado	21,030,000
Carbón	8,630,000
Carbón metalúrgico	25,000
lignito	0
Peat	10
Madera (50% Agua)	3,310,000
Biomasa (104abla. Agua)	1,480,000

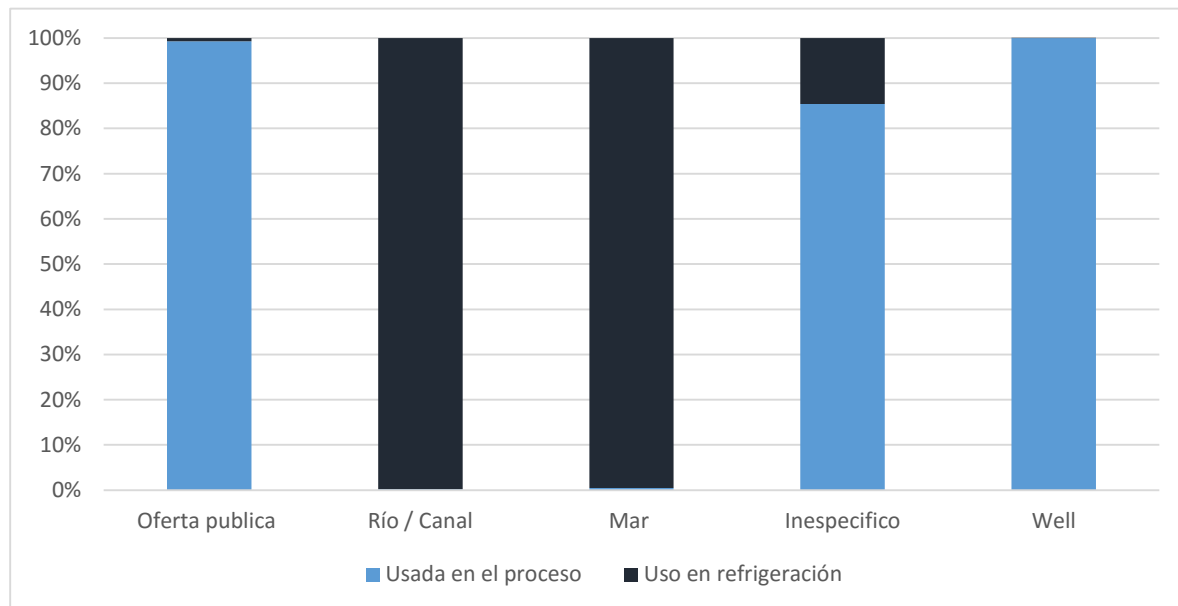
Tabla 4.2.4.3.3 B. Primarios brutos, combustibles y materias primas fósiles, expresado en forma de masa (miligramos), que requiere la bolsa de plástico biodegradable.

En la tabla 4.2.4.3.4 A. Se muestran los recursos de agua bruta (miligramos) necesarias para la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una recopilación de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Fuente	Usada en el proceso	Uso en refrigeración	Totales
Oferta publica	2,540,000,000	19,200,000	2,560,000,000
Río / Canal	3,870	1,690,000	1,700,000
Mar	13,100	2,710,000	2,720,000
Inespecífico	36,600,000	6,270,000	42,900,000
Well	564,000	49	564,000
Total	2,580,000,000	29,900,000	2,607,000,000

Tabla 4.2.4.3.4 A. Recursos de agua bruta necesarias para la bolsa de plástico biodegradable (1000 bolsas).

En la gráfica 4.2.4.3.1 Se muestran los porcentajes de los recursos de agua utilizados tanto en el proceso, como los porcentajes de agua destinados para la refrigeración para la bolsa de plástico biodegradable (1000 bolsas) dichos datos los podemos apreciar en la tabla 4.2.4.3.4 A, datos provenientes de la tabla anterior 4.2.4.3.4 A.



Gráfica 4.2.4.3.1 Porcentajes de agua requeridos tanto para el proceso como la refrigeración dependiendo de su origen para la bolsa de plástico biodegradable.

Como se puede apreciar en la gráfica anterior ya no solo se usa el agua de mar para la refrigeración también es usada el agua de ríos y canales al igual que el agua de mar a

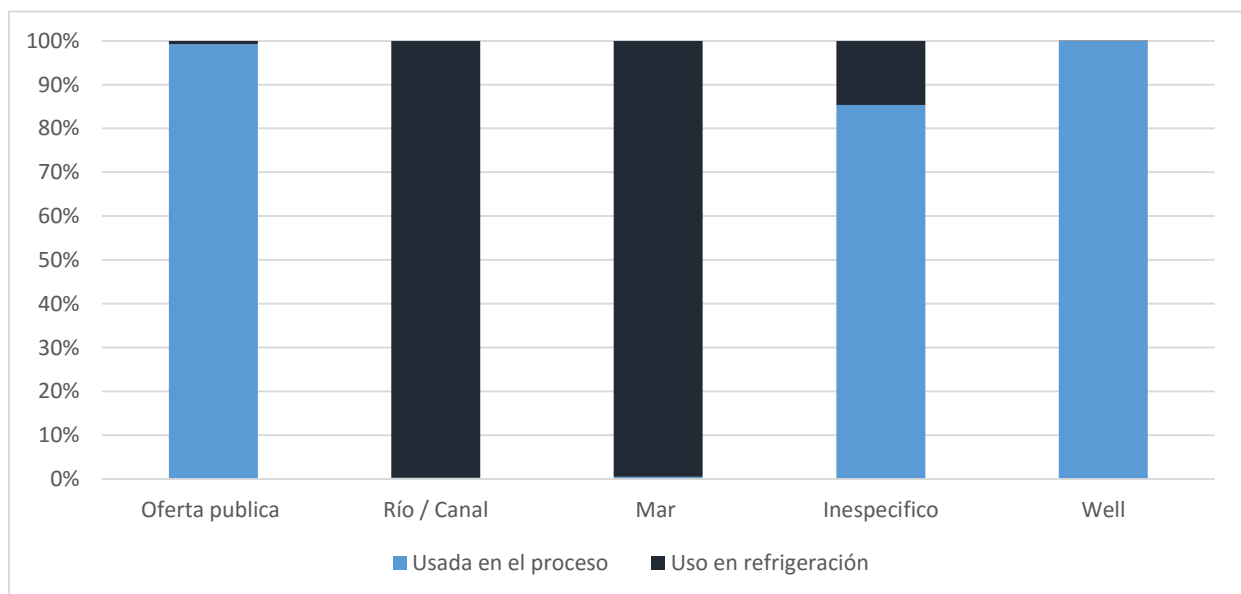
diferencia de la bolsa de plástico reciclable y la bolsa de papel reciclable, como se puede apreciar en la tabla 4.2.4.3.4 A la principal fuente utilizada es el suministro público.

En la tabla 4.2.4.3.4 B. Como en la tabla anterior los recursos de agua bruta (miligramos) necesarios para la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Están basados en el uso del consumidor y una recopilación de 1.500 bolsas a diferencia de la anterior que estaba basado en una colección de 1000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Fuente	Usada en el proceso	Uso en refrigeración	Totales
Oferta publica	3,810,000,000	28,800,000	3,840,000,000
Río / Canal	5,810	2,540,000	2,550,000
Mar	19,650	4,065,000	4,080,000
Inespecifico	54,900,000	9,410,000	64,350,000
Well	846,000	74	846,000
Total	3,870,000,000	44,900,000	3,910,000,000

Tabla 4.2.4.3.4 B. Recursos de agua bruta necesarias para la bolsa de plástico biodegradable para (1500 bolsas).

A continuación se puede apreciar en la gráfica 4.2.4.3.2 Los porcentajes de recursos de agua utilizados tanto en el proceso como en la refrigeración para la bolsa de plástico biodegradable para una colección de (1500 bolsas), datos provenientes de la tabla 4.2.4.3.4.



Gráfica 4.2.4.3.2 Porcentajes de agua requeridos tanto para el proceso como la refrigeración dependiendo de su origen para la bolsa de plástico biodegradable.

En la tabla 4.2.4.3.5 A. Se muestran algunas otras materias primas brutas en forma de masa (miligramos) que son necesarias para la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Estos datos están basados en el uso del consumidor y una recopilación de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Material crudo	Entrada en mg
Aire	1,460,000
materia de Animales	0
barita	1,700
bauxita	4,000
bentonita	99
Sulfato de calcio (CaSO <sub>4</sub> )	<1
arcilla	34,200
Cr	19
Cu	0
Dolomita	513
Fe	47,300
feldespato	0
Ferromanganeso	38
La fluorita	3
granito	0
grava	155
Hg	0
La piedra caliza (CaCO <sub>3</sub> )	4,230,000
Mg	0
N <sub>2</sub>	17,900
Ni	0
O <sub>2</sub>	1,030
olivino	394
Pb	260
Fosfato como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	12,300
El cloruro de potasio (KCl)	23,000
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	0
Rutilo	0
S (unido)	401,000
S (elemental)	23,700
Arena (SiO <sub>2</sub> )	22,400
esquisto	2

El cloruro de sodio (NaCl)	261,000
El nitrato de sodio (NaNO <sub>3</sub> )	0
talco	0
Sin especificar	0
Zn	9

Tabla 4.2.4.3.5 A. Materias primas brutas en forma de masa (miligramos) que son necesarias para la bolsa de plástico biodegradable.

Como se puede apreciar en la tabla 4.2.4.3.5 B. Al igual que en la tabla anterior se pueden apreciar otras materias primas brutas (miligramos) necesarias para la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Datos basados en el uso del consumidor pero a diferencia de la tabla anterior esta se basa en una recopilación de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Material crudo	Entrada en mg
Aire	2,190,000
materia de Animales	0
barita	2,550
bauxita	6,010
bentonita	148
Sulfato de calcio (CaSO <sub>4</sub> )	<1
arcilla	51,300
Cr	28
Cu	0
Dolomita	769
Fe	71,000
feldespato	0
Ferromanganeso	57
La fluorita	5
granito	0
grava	232
Hg	0
La piedra caliza (CaCO <sub>3</sub> )	6,350,000
Mg	0
N <sub>2</sub>	26,800
Ni	0
O <sub>2</sub>	1,550
olivino	591
Pb	390

Fosfato como P2O5	18,400
El cloruro de potasio (KCl)	34,500
Cuarzo (SiO2)	0
Rutilo	0
S (unido)	602,000
S (elemental)	35,500
Arena (SiO2)	33,600
esquisto	3
El cloruro de sodio (NaCl)	392,000
El nitrato de sodio (NaNO3)	0
talco	0
Sin especificar	0
Zn	14

Tabla 4.2.4.3.5 B. Materias primas brutas (miligramos) necesarias para la bolsa de plástico biodegradable.

En la siguiente tabla 4.2.4.3.6 A. se aprecian las emisiones brutas de aire (miligramos) resultantes de la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Datos basados en el uso del consumidor y una recopilación de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Emisiones de aire en mg	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	fugitive	Total
Polvo (PM10)	9,120	520	1,500	42,200	-	-	53,400
CO	16,000	4,900	16,900	4,100	-	-	41,900
CO2	13,860,000	2,620,000	2,580,000	41,800,000	4,230,000	-	56,600,000
SOX como SO2	54,900	7,210	21,100	192,000	-	-	275,000
H2S	0	0	1	40	-	-	41
mercaptano	0	0	0	11	-	-	11
NOX como NO2	50,000	8,260	24,500	221,500	-	-	304,000
Aldhyde (-CHO)	0	0	0	0	-	--	0
Aromático HC no específico	2	-	67	4	-	-	74
CD + compuestos como Cd	0	-	0	-	-	-	0
CFC/HCFC/HFC not sp	0	-	0	0	-	-	0
CH4	59,600	1,060	98	224,000	-	-	284,000
Cl2	0	-	0	0	-	-	0
Cr + compuestos como Cr	0	-	0	-	--	-	0
CS2	0	-	0	0	-	-	0
Cu+ compuestos como Cu	0	-	0	-	-	-	0
Dicloroetano (DCE)	0	-	0	0	-	0	0

El etileno C2H4		-	0	-	-	-	0
F2	0	-	0	0	-	-	0
H2	38	0	0	226	--	-	264
H2SO4	0	-	0	0	-	-	0
HCl	2,140	6	3	871	-	-	3,020
HCN	0	-	0	0	-	-	0
HF	81	0	0	0	-	-	81
Hg+ compuestos como Hg	0	-	0	0	-	-	0
Hidrocarburos no especificado	13,800	1,720	6,400	100	-	-	22,000
Metales no especificado	8	4	0	0	0	-	12
Molybdenum	0	-	-	1	-	-	1
N2O	0	0	0	53,100	-	-	53,100
NH3	0	-	0	39	-	-	39
Compuestos de Ni como Ni	0	-	0	-	-	-	0
NMVOG	0	72	410	46,400	-	-	46,900
Orgánicos	0	0	0	119	-	-	119
Organoclorados no especificado	0	-	0	16	-	-	16
Pb+ compuestos como pb	0	0	0	0	-	-	0
hidrocarburo policíclico	0	-	0	0	-	-	0
Titanio		-	-	119	-	-	119
Monómero de cloruro de vinilo	0	-	0	0	-	<1	0
Zn+ compuestos como Zn	0	-	0	0	-	-	0

Tabla 4.2.4.3.6 A. Emisiones brutas de aire (miligramos) resultantes de la bolsa de plástico biodegradable.

En la siguiente tabla 4.2.4.3.6 B. al igual que en la anterior se muestran los equivalentes brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones a la atmósfera (miligramos) de la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Tipo/mg	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	Total
Equivalente a 20 años	17,630,000	2,700,000	2,640,000	70,200,000	-4,230,000	89,000,000
Equivalente a 100 años	15,300,000	2,660,000	2,640,000	62,640,000	-4,230,000	79,000,000
Equivalente a 500 años	14,300,000	2,640,000	2,400,000	51,600,000	-4,230,000	67,000,000

Tabla 4.2.4.3.6 B. Equivalentes brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones a la atmósfera de la bolsa de plástico biodegradable.

En la siguiente tabla 4.2.4.3.6 C. Se pueden apreciar las emisiones brutas de aire (miligramos) resultantes de la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Estas están basadas en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Emisiones de aire en mg	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	fugitive	Total
Polvo (PM10)	13,700	780	2,260	63,400			80,100
CO	24,000	7,360	25,300	6,150			62,900
CO2	20,800,000	3,930,000	3,880,000	62,700,000	6,340,000	-	84,900,000
SOX como SO2	82,400	10,800	31,600	288,000			413,000
H2S	0	0	2	60			62
mercaptano	0	0	0	17			17
NOX como NO2	74,900	12,400	36,700	332,000			456,000
Aldehyde (-CHO)	0	0	0	0			0
Aromático HC no específico	3		101	7			111
CFC/HCFC/HFC not sp	0		0				0
CD + compuestos como Cd	0		0	0			0
CH4	89,500	1,590	147	335,000			426,000
Cl2	0		0	0			0
Cr + compuestos como Cr	0		0				0
CS2	0		0	0			0
Cu+ compuestos como Cu	0		0				0
Dicloroetano (DCE)	0		0	0			0
El etileno C2H4			0				0
F2	0		0	0			0
H2	57	0	0	339			397
H2SO4	0		0	0			0
HCl	3,220	8	5	1,310			4,540
HCN	0		0	0			0
HF	121	0	0	0			122
Hg+ compuestos como Hg	0		0	0			0
Hidrocarburos no especificado	20,600	2,580	9,590	150			33,000
Metales no especificado	13	5	0	0	0		18
Molybdenum				2			2
N2O	0	0	0	79,600			79,600
NH3	0		0	59			59
Compuestos de Ni como Ni	0		0				0
NM VOC	1	108	615	69,600			70,300
Organicos	0	0	0	178			178
Organoclorados no especificado	0		0	24			23
Pb+ compuestos como pb	0	0	0	0			0
hidrocarburo policíclico	0		0	0			0
Titanium				178			178



Monómero de cloruro de vinilo	0		0	0		<1	0
Zn+ compuestos como Zn	0		0	0			0

Tabla 4.2.4.3.6 C. Emisiones brutas de aire resultantes de la bolsa de plástico biodegradable.

En la siguiente tabla 4.2.4.3.6 D. Se muestran los equivalentes brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones en la atmósfera (miligramos) de la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Tipo/mg	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Biomasa	Total
Equivalente a 20 años	26,400,000	4,050,000	3,960,000	105,300,000	-6,350,000	134,000,000
Equivalente a 100 años	23,000,000	3,990,000	3,960,000	94,000,000	-6,350,000	119,000,000
Equivalente a 500 años	21,500,000	3,960,000	3,600,000	77,400,000	-6,350,000	101,000,000

Tabla 4.2.4.3.6 D. Brutos de dióxido de carbono correspondientes a las emisiones en la atmósfera de la bolsa de plástico biodegradable.

En la tabla 4.2.4.3.7 A. Se muestran las emisiones brutas de agua (miligramos), que resultan de la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Estas se encuentran basados en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de Combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
COD	15	2	57	59,700	59,800
BOD	4		4	3,190	3,200
Acid (H+)	2		0	0	3
Al + compuestos como Al	0		0	2	2
Compuestos de amonio como NH4	5		2	0	7
AOX	0		0	10	10
As + compuestos como As			0	0	0
BrO3--	0		0	0	0
Ca + compuestos como Ca	0		0	201	201
Cd + compuestos como Cd			0		0
Cl-	7		670	27,500	28,100
ClO3--	0		0	2	2
CN-	0		0	0	0
CO3--			2	5	7

Cr + compuestos como Cr	0		0	0	0
Cu + compuestos como Cu	0		0	0	0
Detergente / aceite	0		2	3	5
Dicloroetano (DCE)	0		0	0	0
La dioxina / furano como Teq			0		0
cloro disuelto	0		0	0	0
Orgánicos disueltos (no-HC)	6		0	0	6
Sólidos disueltos no especificados	2	0	6	59	67
F-	0		6	0	6
Fe + compuestos como Fe	0		1	20	22
Hg + compuestos como Hg	0		0	0	0
Hidrocarburos no especificados	0		1	334	337
K+ compuestos como K	0		0	2	2
Metales no especificados en otra partida	0		0	52	52
Mg+ compuestos como Mg	0		0	2	2
Mn+ compuestos como Mn			0	0	0
Na+ compuestos como Na	3		15	1,270	1,290
Ni+ compuestos como Ni	0		0	0	0
NO <sub>3</sub> -	0		0	1,910	1,910
Organoclorados no especificado	0		0	0	0
Órgano-estaño como Sn			0		0
Otros nitrógeno como N	0		0	4,300	4,300
Otros compuestos orgánicos no especificados	0		0	0	0
P+ compuestos como P	0		0	41	41
Pb+ compuestos como PB	0		0	0	0
Los fenoles	0		0	0	0
S + S como sulfuros	0		0	5	5
SO <sub>4</sub> --	0		5	6,287	6,290
Sr+ compuestos como Sr			0	0	0
Los sólidos en suspensión	945		2,660	396,000	399,000
TOC	0		15	2,460	2,480
Monómero de cloruro de vinilo	0		0	0	0
Zn + compuestos como Zn	0		0	0	0

Tabla 4.2.4.3.7 A. Emisiones brutas de agua, que resultan de la bolsa de plástico biodegradable.

Como se puede apreciar en la tabla 4.2.4.3.7 B. se pueden apreciar las emisiones brutas de agua (miligramos), que resultan de la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Datos basados en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

	Producción de Combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
COD	22	2	86	89,500	89,600
BOD	6		6	4,790	4,800
Acid (H+)	4		0	1	5
Al + compuestos como Al	0		0	3	3
Compuestos de amonio como NH4	7		2	1	11
AOX	0		0	15	15
As + compuestos como As			0	0	0
BrO3--	0		0	0	0
Ca + compuestos como Ca	0		0	302	302
Cd + compuestos como Cd			0		0
Cl-	10		1,010	41,200	42,200
ClO3--	0		0	2	2
CN-	0		0	0	0
CO3--			3	7	10
Cr + compuestos como Cr	0		0	0	0
Cu + compuestos como Cu	0		0	0	0
Detergente / aceite	0		2	4	7
Dicloroetano (DCE)	0		0	0	0
La dioxina / furano como Teq cloro disuelto	0		0	0	0
Orgánicos disueltos (no-HC)	9		0	1	10
Sólidos disueltos no especificados	2		10	89	101
F-	0		9	0	9
Fe + compuestos como Fe	0		2	31	33
Hg + compuestos como Hg	0		0	0	0
Hidrocarburos no especificados	1	1	2	501	505
K+ compuestos como K	0		0	3	3
Metales no especificados en otra partida	0		0	76	76
Mg+ compuestos como Mg	0		0	3	3
Mn+ compuestos como Mn			0	0	0
Na+ compuestos como Na	4		23	1,900	1,930
Ni+ compuestos como Ni	0		0	0	0
NO3-	0		0	2,860	2,860
Organoclorados no especificado	0		0	0	0
Órgano-estaño como Sn			0		0
Otros nitrógeno como N	0		0	6,440	6,440
Otros compuestos orgánicos no especificados	0		0	0	0
P+ compuestos como P	0		0	62	62
Pb+ compuestos como PB	0		0	0	0

Los fenoles	0		0	0	0
S + S como sulfuros	0		0	7	7
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	0		8	9,430	9,440
Sr+ compuestos como Sr			0	0	0
Los sólidos en suspensión	1,420		3,990	594,000	599,000
TOC	0		23	3,690	3,710
Monómero de cloruro de vinilo	0		0	0	0
Zn + compuestos como Zn	0		0	0	0

Tabla 4.2.4.3.7 B. Emisiones brutas de agua, que resultan de la bolsa de plástico biodegradable.

En la siguiente tabla 4.2.4.3.8 A. se muestra la generación de residuos sólidos (miligramos) como resultado de la bolsa de plástico biodegradable (LCA). Basado en el uso del consumidor y una colección de 1.000 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Los residuos sólidos (mg)	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
Residuos de la construcción	0		0	0	0
Química inerte	0		0	5	5
Metales	0		0	822	822
Residuos minerales	1,110		26,500	405,000	433,000
Mixta industrial	-12,800		1,100	2,620	-9
Residuos sólidos municipales	-130,000			205,000	75,000
Papel	0		0	0	0
Los recipientes de plástico	0		0		0
Plásticos	0		0	1,580	1,580
Putrescibles	0		7	1	8
Químicos Regulados	18,400		4,830	133	23,400
Escorias / ceniza	308,000	660	10,300	2,690,000	3,009,000
Relaves	27		15,900	284	16,300
Productos químicos no regulados	14,000		0	82,400	96,400
refuse inespecífico	15,100		0	171,700	186,800
Desperdicios regresados a la mina	731,000		980	108	732,100
Residuos a compostar				25,400	25,400
Residuos de incinerador	0		12	67	80
De basura para reciclar	0		0	32,500	32,500
Residuos de Madera	0		0	6,370	6,370
Pellets de madera a reciclar	0		0	812,700	812,700

Tabla 4.2.4.3.8 A. Generación de residuos sólidos como resultado de la bolsa de plástico biodegradable (1000 bolsas).

En la siguiente tabla 4.2.4.3.8 B. Se puede apreciar la generación de residuos sólidos (miligramos) como resultado de la bolsa de plástico degradable LCA. Datos basados en el uso del consumidor y una colección de 1.500 bolsas. Los totales pueden no estar de acuerdo debido a redondeo.

Los residuos sólidos (mg)	Producción de combustible	Uso de combustible	Transporte	Proceso	Total
Residuos de la construcción	0		0	0	0
Química inerte	0		0	6	6
Metales	0		0	1,230	1,230
Residuos minerales	1,660		39,800	608,000	649,000
Mixta industrial	-19,200		1,650	3,940	-13,600
Residuos sólidos municipales	-195,000			308,000	113,000
Papel	0		0	0	0
Los recipientes de plástico	0		0		0
Plásticos	0		0	2,380	2,380
Putrescibles	0		11	<1	11
Químicos Regulados	27,600		7,250	199	35,100
Escorias / ceniza	462,000	985	15,500	4,035,000	4,510,000
Relaves	40		23,900	427	24,400
Productos químicos no regulados	20,900		52	124,000	145,000
refuse inespecífico	22,600		0	258,000	280,000
Desperdicios regresados a la mina	1,097,000		1,470	162	1,098,000
Residuos a compostar				38,000	38,000
Residuos de incinerador	0		18	101	120
De basura para reciclar	0		0	48,800	48,800
Residuos de Madera	0		0	9,550	9,550
Pellets de madera a reciclar	0		0	1,220,000	1,220,000

Tabla 4.2.4.3.8 B. Generación de residuos sólidos como resultado de la bolsa de plástico degradable (1500 bolsas).

#### 4.2.5 Opciones de disposición final de residuos sólidos: Reciclaje, combustión con recuperación de energía, vertedero y compostaje

A continuación como se mencionó previamente se abordara por separado las diferentes opciones de disposición final de las bolsas de papel (residuos sólidos) de cada uno de los diferentes tipos de bolsa algunas de las opciones que abordaremos como bien lo

indica el título de dicho capítulo es el reciclaje que como lo hablamos con anterioridad en algunos casos solo es un porcentaje el que se puede reciclar, tenemos la combustión con recuperación de energía, compostaje y los vertederos o rellenos sanitarios como última opción de disposición dado que al llegar aquí difícilmente sufren algún cambio.

#### 4.2.5.1 Reciclaje

Un objetivo importante del reciclado es reducir la generación de residuos sólidos. El proceso de fabricación de bolsas de papel y plástico genera residuos. La mayoría de estos residuos, conocidos como residuos molino, se recicla internamente. Por lo tanto, en este estudio BCAL, ha tratado de incluir este residual de molienda en un esfuerzo de reciclado en circuito cerrado que devuelve los residuos al proceso de producción.

Todas las bolsas son reciclables para otros productos de papel y plástico. Datos de la EPA a partir del 2005 muestran que el 21% de las bolsas de papel kraft se reciclan y solo el 5,2% de las bolsas de plástico se reciclan. La decisión de asignación para estos materiales reciclados es que los materiales reciclados no están cargados con cualquiera de las entradas o salidas asociadas con su fabricación anterior, el uso, la eliminación antes de reciclar.

BCAL utiliza este enfoque de la asignación, y trató a los materiales reciclados como residuos desviados. Residuos desviados, como materias primas, están agobiados con su valor intrínseco como materia prima y posteriormente se carga con el uso de los recursos, el consumo de energía y las emisiones ambientales asociados a su recolección, limpieza y reprocesamiento, uso y eliminación. Por lo tanto, el valor de la energía inherente de la materia prima de material reciclado se asigna a los residuos desviados.

Con respecto a las bolsas de plástico biodegradables, BCAL supone que inicialmente la misma tasa que se aplica al reciclado de bolsas de plástico estándar (5,2%) sería apropiado para la tasa de envío a compostaje. Esto refleja un enfoque conservador utilizando sólo los datos que actualmente reflejan el comportamiento del consumidor con respecto a las bolsas de plástico. Se espera que el porcentaje de las bolsas de plástico biodegradables enviadas al compostaje, en realidad será mayor una vez que se pongan a disposición y recolección, esto puede ocurrir dentro de los municipios, por lo que es más fácil para los consumidores en general, enviar estas bolsas a través de una ruta diferente de la eliminación. El reciclaje de bolsas de plástico es actualmente bajo. Esto puede ser por varias razones, no menos de la que parece ser la falta de infraestructura y la mala conciencia de los consumidores sobre la reciclabilidad inherente de bolsas de plástico.

### 4.2.5.2 La combustión de residuos sólidos con recuperación de energía

En años anteriores, se utilizó un proceso de quema controlada llamada combustión o incineración únicamente para reducir el volumen de residuos sólidos. Sin embargo, la recuperación de energía se hizo más frecuente en los años 80's. Por lo tanto, hoy en día, la mayoría de la combustión de residuos sólidos urbanos en los EE.UU. incorpora la recuperación de energía. Datos de la EPA a partir del 2005 muestran que el 13,6% de los MSW realizan la incineración con recuperación de energía.

Los valores caloríficos brutos para las diversas bolsas de supermercado se estiman de la siguiente manera:

- Para bolsas de papel kraft: 17,7 MJ / kg.
- Para bolsa de plástico reciclable: 40,0 MJ // kg.
- Para bolsa de plástico biodegradable: 19,6 MJ / kg.

Estos materiales se utilizan como combustibles en los residuos a las plantas de energía, sin embargo las eficiencias térmicas para masa de quema, varía en las plantas WTE del 15% al 23% en las plantas nuevas. Este estudio utilizó la eficiencia térmica del 23% para la recuperación de energía.

Suponiendo una combustión completa, las emisiones de CO<sub>2</sub> estimadas resultantes son:

- Para las bolsas de papel kraft: 1.650.000 mg bolsa de papel / kg
- Para las bolsas de plástico reciclable: 3.150.000 mg / kg bolsa de plástico reciclable
- Para las bolsas plásticas degradables: 1.360.000 mg / kg bolsa de plástico degradable

La energía recuperada (23% de eficiencia térmica) es el siguiente:

- Para las bolsas de papel kraft: 4,07 MJ / kg bolsa de papel
- Para las bolsas de plástico reciclable: 9,20 MJ / kg bolsa de plástico reciclable
- Para las bolsas plásticas degradables: 4,51 MJ / kg bolsa de plástico degradable

Por lo tanto, con el uso de la información anterior, la siguiente tabla se prepara sobre la base de 1.000 bolsas de supermercado y muestra la energía recuperada y resultando las emisiones de dióxido de carbono cuando el 13,6% de las 1.000 bolsas de supermercado se queman con recuperación de energía.

En la siguiente tabla 4.2.5.2.1. Se muestra la energía recuperada (MJ) y las emisiones de dióxido de carbono resultantes (mg) al 13,6% de las 1.000 bolsas de supermercado se queman con recuperación de energía.

	Bolsa de papel Kraft	Bolsa de plástico reciclable.	Bolsa de plástico biodegradable.
Energía de recuperación.	28.7 MJ	7.2 MJ	9.7 MJ
Emisiones de CO2	11,640,000 mg	2,150,000mg	2,920,000mg

Tabla 4.2.5.2.1. Energía recuperada y las emisiones de dióxido de carbono resultantes al 13,6% de las 1.000 bolsas de supermercado se queman con recuperación de energía.

La tabla 4.2.5.2.1 muestra que la bolsa de papel kraft tiene la energía más alta de recuperación y las más altas emisiones de CO<sub>2</sub>. Las bolsas de plástico reciclable y biodegradable, tienen significativamente menor cantidad de energía de recuperación y emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 4.2.5.3 Residuos Sólidos al Relleno Sanitario

Un relleno sanitario tiene varias fases de descomposición. Inicialmente, la descomposición anaeróbica tendrá lugar donde se consume el oxígeno para producir gas dióxido de carbono y otros subproductos. Durante la primera fase de descomposición anaeróbica, dióxido de carbono es el principal gas generado. Como producto de la descomposición anaeróbica hacia la segunda fase, la cantidad de metano generado aumenta hasta que la concentración de metano alcanza 50% a 60%. El relleno sanitario continuará generando metano en estas concentraciones durante 10 o 20 años, y posiblemente más tiempo.

Las emisiones de metano de los rellenos sanitarios en los Estados Unidos se estimaron en 8,0 millones de toneladas métricas en el 2001. Además, 2,5 millones de toneladas fueron recuperadas para el uso de energía y 2,4 millones de toneladas fueron recuperadas y se encendieron. Por lo tanto, más del 60% del metano producido en vertederos no se recupera.

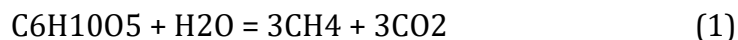
El destino preciso del papel depositado en un vertedero es desconocido. El papel puede descomponerse por completo en un corto espacio de tiempo o puede permanecer intacta durante largos períodos. Esto depende de una variedad de factores tales como la temperatura, el pH, la presencia de bacterias y nutrientes, la composición de los residuos y la forma del papel en papel desmenuzado es mucho más probable que se descomponga que un libro telefónico. Para tener en cuenta esta variabilidad, se utilizaron dos escenarios para calcular las emisiones asociadas con la eliminación de bolsas de papel (ambos de ajuste para 40% del metano recuperado señalado



anteriormente). El primer escenario es el peor escenario del caso que sigue a la reacción de descomposición de base para la celulosa y el segundo escenario es uno que estima el secuestro de carbono para el papel en los vertederos de MSW.

#### 4.2.5.3.1 Escenario 1 de Bolsas de Papel

La reacción básica de descomposición para la celulosa es bien conocida y sigue la forma de:



Por lo tanto, se espera que solamente la mitad del presente carbono en bolsas de papel kraft dará lugar a la formación de metano durante la descomposición. Típicamente el carbono representa 45% de la masa de papel. Por lo tanto, el contenido de carbono de 1 kg de papel será 0,45 kg. Esa proporción dando lugar a metano, asumiendo el 100% de descomposición, sería entonces 0,225 kg. Basado en esto, la masa de metano producido sería 0,30 kg y la masa correspondiente del dióxido de carbono coproducido serían 0,83 kg.

#### 4.2.5.3.2 Escenario 2 de Bolsas de Papel

Aunque la descomposición de la celulosa en el relleno sanitario está bien documentada, sigue habiendo bastante incertidumbre en el máximo que la celulosa puede descomponerse, puede que se realice en condiciones de relleno sanitario.

Varios estudios indican que el secuestro de carbono significativo se produce en los vertederos debido a la limitada degradación de los productos de madera. En un estudio se calculó un factor de almacenamiento de carbono (CSF) que representa la masa de carbono almacenado (no degradado) por masa inicial de carbono del componente.

Para el siguiente documento MSW niegan componentes del CSF se calculó:

- Viejo papel prensa = 0,42 kg de carbono secuestrados
- Papel recubierto = 0,34 kg de carbono secuestrados
- Viejo corrugado = 0,26 kg de carbono secuestrado.

En este escenario, se ha supuesto que las bolsas de papel son similares a las antiguas corrugadas, y por lo tanto hemos asignado el mismo valor de 0,26 kg C secuestrado. Dado que los 0,26 kg de la bolsa de papel kraft se supone que es secuestrado, 0,74 kg de las bolsas de papel kraft de resultados en las emisiones de dióxido de carbono de 1,23 kg.

Las bolsas de plástico reciclables no se consideran para degradarse en vertederos, lo que sugiere que toda la energía inherente, materia prima y las emisiones se secuestrarán. Por lo tanto, no hay emisiones de dióxido de carbono o el metano asociadas con las bolsas de plástico reciclables enviados a los rellenos sanitarios.

Muchos tipos de polímeros biodegradables están disponibles para degradarse en una variedad de entornos, incluyendo el suelo, el aire, o composta. Los productos biodegradables se degradan en condiciones anaerobias en dióxido de carbono, agua y en presencia de oxígeno. Las bolsas de plástico biodegradables, compostables en este estudio están hechos de una mezcla de PLA y Ecoflex. Ecoflex está hecha de copoliéster alifático aromático mezclado con cantidades iguales de almidón. De acuerdo con información proporcionada por la empresa BASF, Ecoflex cumple con los requisitos para la clasificación de polímero biodegradable basado en estándares, Japoneses Europeos y en Estados Unidos, y porque Ecoflex puede ser degradado por microorganismos.

PLA es un polímero biodegradable hecho de maíz y se convierte completamente a dióxido de carbono y agua por microorganismos. Además, se han descubierto formas para que las bolsas de plástico compostables puedan degradarse como se diseñó en un plazo permisible, en instalaciones de compostaje apropiados. En las instalaciones de compostaje, se espera que la descomposición de bolsas biodegradables de plástico hechas de una mezcla de Ecoflex y PLA liberen principalmente las emisiones de dióxido de carbono y agua. Sin embargo, si son enviadas a un vertedero, el plástico biodegradable puede no degradarse por completo, o puede seguir vías similares como bolsas de papel (una combinación de ambos aeróbico y degradación anaeróbica). BCAL ha tratado de examinar estas bolsas en ambos sentidos en este estudio.

#### 4.2.5.4 Compostaje de Residuos Sólidos

Las bolsas de plástico biodegradables compostables en este estudio han demostrado biodegradación en varias pruebas estandarizadas en varios países. Ecoflex y PLA conocen, los estándares de Estados Unidos, Australianos y Japoneses y Europeos de degradar en 12 semanas en condiciones aeróbicas en un entorno de composta y por romper con el dióxido de carbono y agua. La extensión de la degradación de Ecoflex fue de 2 a 6 meses en composta dependiendo de la temperatura, y por PLA fue de 1 a 3 meses en composta dependiendo de la temperatura. Por lo tanto, en el entorno de compostaje, se espera que la descomposición de bolsas biodegradables de plástico hechas de una mezcla de PLA y Ecoflex a degradarse con el tiempo con el lanzamiento principalmente de las emisiones de dióxido de carbono y agua.

## 4.2.6 Los cálculos de LCA de Impactos Ambientales

Como se señaló en la sección sobre metodología del LCA, los modelos de evaluación del ciclo de vida permiten examinar los problemas específicos, así como realizar comparaciones para determinar si hay efectos secundarios graves en cualquiera de los sistemas mencionados en este estudio. En todos los sistemas hay múltiples parámetros ambientales que deben abordarse de lo global a lo local, y a veces hay una única solución que es probablemente tratar todos los temas de forma simultánea. Además, casi todos los cambios a un sistema crean soluciones de compromiso, y es la identificación de estas compensaciones, que es importante, cuando se trata de determinar la mejor solución para cualquier problema dado.

Para reiterar, una evaluación del ciclo de vida puede:

1. Cuantificar aquellos parámetros que puedan ser responsables de los efectos ambientales (el componente de inventario del análisis del ciclo de vida).
2. Identificar los parámetros que pudieran contribuir a un problema ambiental específico (caracterización o interpretación fase de evaluación de impacto). Un ejemplo sería identificar que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) son gases de efecto invernadero.
3. Agregar los parámetros relacionados con un problema específico (de la fase de valoración o interpretación de la evaluación de impacto). Un ejemplo sería la producción de dióxido de carbono equivalente para los componentes de gases de efecto invernadero.

Los cálculos del LCA proporcionan una recopilación de información de la cual el usuario puede abordar problemas específicos, tales como la conservación de los combustibles fósiles, el calentamiento global, la lluvia ácida, y los residuos sólidos urbanos. Además, el usuario también es capaz de determinar qué ventajas y desventajas existen entre los sistemas y examinar los parámetros específicos que puedan contribuir a estos problemas. Al hacerlo, el usuario puede tratar de lograr la reducción óptima en cada parámetro debido a una mejor comprensión de cómo estos parámetros cambian en asociación con cada sistema de bolsas de supermercados.

### 4.2.6.1 Calentamiento global

Una cuestión importante que se está abordando en la actualidad usando estudios de LCA es un examen para analizar la contribución que los sistemas industriales tienen al cambio climático.

El trabajo del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) proporciona un marco para la agregación de datos sobre esas emisiones a la atmósfera

que se cree que son importantes contribuyentes al calentamiento global. El efecto agregado de cualquier sistema se puede resumir como un parámetro conocido como potencial de calentamiento global (GWP) o dióxido de carbono equivalente. Cualquier emisión gaseosa que se cree que contribuyen al calentamiento global se asigna un valor igual a la cantidad equivalente de CO<sub>2</sub> que se necesitaría para producir el mismo efecto. Multiplicando cada emisión gaseosa por su equivalente de CO<sub>2</sub> permite los efectos separados de diferentes emisiones que se suman para dar una medida global de potenciales de calentamiento atmosférico.

Los principales gases de efecto invernadero de importancia en este eco-perfil son el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Las tablas de resultados mostrados anteriormente (véase capítulo 4.2.4) mostraron los impactos del calentamiento global (con dióxido de carbono equivalente).

En la siguiente tabla se presentan los impactos del calentamiento global única y exclusivamente de la recolección y eliminación de las bolsas de supermercado.

Como se discutió previamente, dos escenarios serán considerados para las bolsas de papel kraft, el primero es el peor escenario este sigue a la reacción de descomposición básica para la celulosa y el segundo escenario es uno que estima el secuestro de carbono para el papel en los vertederos de MSW.

Las bolsas de plástico reciclables no se degradarán en el relleno sanitario; toda la energía se secuestrará inherentemente, materia prima y emisiones. Por lo tanto, no hay emisiones de dióxido de carbono de las bolsas de plástico reciclables en los vertederos. En el relleno sanitario, se espera que la descomposición de bolsas biodegradables de plástico hechas de una mezcla de PLA y Ecoflex, degradará con el tiempo con el lanzamiento principalmente de las emisiones de dióxido de carbono y agua.

Como se mencionó anteriormente en la tabla 4.2.61.1 A. Se muestran las emisiones de gases de efecto invernadero. Equivalentes a 20 años de dióxido de carbono (en miligramos) como resultado de la eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.

Proceso de eliminación	Bolsa de papel con "peor escenario" de las emisiones de metano	Bolsa de papel con "escenario secuestrado" de las emisiones	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico degradable con 100% de descomposición aeróbica en relleno sanitario	Bolsa de plástico biodegradable con 50% aeróbico y 50% de descomposición anaerobia en el relleno sanitario (usando la misma vía como se describe
------------------------	--	---	------------------------------	---	--

	para las bolsas de papel)				
<b>Reciclaje.</b>	21% reciclado y la carga es transferida	21% reciclado y la carga es transferida	5.2% reciclado y la carga es transferida	5,2% reciclado para el compostaje y la carga es transferida	5,2% reciclado para el compostaje y la carga es transferida
<b>La incineración con recuperación de energía 13,6%</b>	11,640,000	11,640,000	2,150,000	2,920,000	2,920,000
<b>Relleno Sanitario 65,4% de papel, 81,2% de plástico</b>	412,000,000	41,300,000	0	17,400,000	129,400,000
<b>Total de emisiones relacionadas disposición</b>	423,640,000	52,940,000	2,150,000	20,320,000	132,320,000

Tabla 4.2.61.1 A. Emisiones de gases de efecto invernadero. Equivalentes a 20 años de dióxido de carbono (1000 bolsas).

En la tabla 4.2.6.1.1 B. al igual que en la tabla anterior se pueden apreciar las emisiones de gases de efecto invernadero. Equivalentes de dióxido de carbono de 20 años (en miligramos) como resultado de la eliminación de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico biodegradable y plástico reciclable.

Proceso de eliminación	Bolsa de papel con "peor escenario" de las emisiones de metano	Bolsa de papel con "escenario secuestrado" de las emisiones	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico degradable con 100% de descomposición aeróbica en relleno sanitario	Bolsa de plástico biodegradable con 50% aeróbico y 50% de descomposición anaerobia en el relleno sanitario (usando la misma vía como se describe
------------------------	--	---	------------------------------	---	--

	para las bolsas de papel)				
<b>Reciclaje.</b>	21% reciclado y la carga es transferida	21% reciclado y la carga es transferida	5.2% reciclado y la carga es transferida	5,2% reciclado para el compostaje y la carga es transferida	5,2% reciclado para el compostaje y la carga es transferida
<b>La incineración con recuperación de energía 13,6%</b>	11,640,000	11,640,000	3,230,000	4,380,000	4,380,000
<b>Relleno Sanitario 65,4% de papel, 81,2% de plástico</b>	412,000,000	41,300,000	0	26,100,000	194,400,000
<b>Total de emisiones relacionadas disposición</b>	423,640,000	52,940,000	3,230,000	30,500,000	198,000,000

Tabla 4.2.6.1.1 B. Emisiones de gases de efecto invernadero y equivalentes de dióxido de carbono proyectados a 20 años (1500 bolsas).

La tabla 4.2.6.1.1 B muestra que incluso el uso de bolsas de plástico de 1.5 a 1 bolsa de papel, después de su eliminación, la bolsa de plástico reciclable tiene las más bajas emisiones de gases de efecto invernadero. La bolsa de papel con una relación de 1 a 1.5, con el “escenario secuestrado”, tiene más de 10 veces las emisiones de gases de efecto invernadero de la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de papel con el “peor de los casos” tiene más de 130 veces las emisiones de gases de efecto invernadero de la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable tiene más de 9 veces las emisiones de gases de efecto invernadero de la bolsa de plástico reciclable con la descomposición aeróbica al 100% y más de 60 veces las emisiones de gases de efecto invernadero de la bolsa de plástico reciclable con el 50% de descomposición aeróbica / 50% de la descomposición anaeróbica.

Como podemos apreciar en la tabla 4.2.6.1.2 A. Se pueden apreciar los equivalentes de dióxido de carbono (miligramos) como resultado de todas las operaciones justo antes de la disposición final, gracias a un estudio equivalente a 1.000 bolsas de supermercado.

	Bolsa de papel reciclado y reciclable. (de la Tabla 6B)	Bolsa de plástico reciclable (de la Tabla 14B)	Bolsa de plástico biodegradable (de la Tabla 22B)
Equivalente a 20 años de CO <sub>2</sub>	23,710,000 mg	19,200,000 mg	89,000,000 mg

Tabla 4.2.6.1.2 A. Equivalentes de dióxido de carbono.

*\* Debe tenerse en cuenta que estas emisiones incluyen el "crédito" cuando el dióxido de carbono se absorbe durante el cultivo de árboles.*

La tabla 5.2.6.1.2 A muestra que a partir de todas las operaciones justo antes de la eliminación, los equivalentes de CO<sub>2</sub> resultantes son más de un 20% mayor para la bolsa de papel, en comparación con la bolsa de plástico reciclable. De todas las operaciones justo antes de su eliminación, los equivalentes de CO<sub>2</sub> resultantes de la bolsa de plástico biodegradable son los más altos alrededor de 4 veces mayor que la bolsa de plástico reciclable.

En la tabla 4.2.6.1.2 B. Se pueden apreciar los equivalentes de dióxido de carbono (miligramos) como resultado de todas las operaciones justo antes de la disposición final de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico biodegradable y reciclable.

	Bolsa de papel reciclado y reciclable. (de la Tabla 6B)	Bolsa de plástico reciclable (de la Tabla 14B)	Bolsa de plástico biodegradable (de la Tabla 22B)
Equivalente a 20 años de CO <sub>2</sub>	23,710,000 mg	28,800,000 mg	134,000,000 mg

Tabla 4.2.6.1.2 B. Equivalentes de dióxido de carbono (miligramos) como resultado de todas las operaciones justo antes de la disposición final de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico biodegradable y reciclable.

*\* Debe tenerse en cuenta que estas emisiones incluyen el "crédito" cuando el dióxido de carbono se absorbe durante el cultivo de árboles.*

La Tabla 4.2.6.1.2 B muestra que a partir de todas las operaciones justo antes de la disposición, los equivalentes de CO<sub>2</sub> resultantes son más del 20% mayor para la bolsa de plástico reciclable en comparación con la bolsa de papel. De todas las operaciones justo antes de su disposición final, los equivalentes de CO<sub>2</sub> resultantes de la bolsa de plástico biodegradable son los más altos aproximadamente 4 veces más que la bolsa de plástico reciclable y 5 veces más que la bolsa de papel.

Ahora, la adición de las emisiones de gases de efecto invernadero de las tablas 4.2.6.1.1 y 4.2.6.1.2 de las emisiones totales de gases de efecto invernadero LCA de inicio a fin para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado se dan en la Tabla 4.2.6.1.3.

En la siguiente tabla 4.2.6.1.3. A como se mencionó anteriormente se muestra el total del LCA de inicio a fin mostrando como resultado la cantidad de CO2 (miligramos) para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado:

	Bolsa de papel con "peor escenario" de las emisiones de metano	Bolsa de papel con "escenario secuestrado" de las emisiones de dióxido de carbono	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable con 100% de descomposición aeróbica en relleno sanitario	Bolsa de plástico biodegradable con el 50% y el 50% aeróbico descomposición anaeróbica en relleno sanitario
Equivalente a 20 años de CO2	447,350,000	76,650,000	21,350,000	109,300,000	221,300,000
Equivalente a 100 años de CO2	202,200,000	65,490,000	18,850,000	99,300,000	134,800,000
Equivalente a 500 años de CO2	90,410,000	60,910,000	17,850,000	87,320,000	92,100,000

Tabla 4.2.6.1.3. Cantidad de CO2 (miligramos) para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.

La Tabla 4.2.6.1.3<sup>a</sup> muestra que la bolsa de plástico reciclable tiene los resultados más bajos, del total de equivalentes de CO2 de inicio a fin en el (LCA). La bolsa de papel con el "escenario secuestrado" tiene más de 3,5 veces el total de equivalentes de inicio a fin de CO2 en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de papel con el "peor escenario" tiene más de 20 veces el total de equivalentes de inicio a fin de CO2 en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable tiene más de 5 veces más el total de equivalentes de CO2 de inicio a fin en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

La Tabla 4.2.6.1.3B. LCA Totales equivalentes de la cuna a la tumba de CO2 (en miligramos) para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 plástico reciclable y bolsas de plástico degradables.

	Bolsa de papel con "peor escenario" de	Bolsa de papel con "escenario secuestrado" de las	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico degradable con 100% de descomposición	Bolsa de plástico degradable con el 50% y el 50% aeróbico descomposición
--	--	---	------------------------------	---	--



	las emisiones de metano	emisiones de dióxido de carbono		aeróbica en relleno sanitario	anaeróbica en relleno sanitario
Equivalente a 20 años de CO <sub>2</sub>	447,350,000	76,650,000	32,030,000	164,000,000	332,000,000
Equivalente a 100 años de CO <sub>2</sub>	202,200,000	65,490,000	28,300,000	149,000,000	202,000,000
Equivalente a 500 años de CO <sub>2</sub>	90,410,000	60,910,000	26,800,000	131,000,000	138,000,000

Tabla 4.2.6.1.3B. LCA Totales equivalentes de la cuna a la tumba de CO<sub>2</sub> (en miligramos) para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 plástico reciclable y bolsas de plástico degradables.

La Tabla 4.2.6.1.3B muestra que incluso el uso de bolsas de plástico de 1.5 a 1 bolsa de papel, la bolsa de plástico reciclable tiene las más bajas emisiones del total de equivalentes de CO<sub>2</sub> de la cuna a la tumba. La bolsa de papel, en una proporción de 1 a 1.5, con el “escenario secuestrado”, tiene cerca de 2,3 veces más el total de equivalentes de la bolsa de plástico reciclable de la cuna a la tumba de CO<sub>2</sub>, dependiendo del horizonte temporal. La bolsa de papel con el “peor escenario” tiene más de 20 veces el total de equivalentes de la cuna a la tumba de CO<sub>2</sub> de la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico degradable tiene más de 5 veces el total de equivalentes de la cuna a la tumba de CO<sub>2</sub> de la bolsa de plástico reciclable.

#### 4.2.6.2 Agotamiento del ozono estratosférico

La capa de ozono estratosférico se produce a una altura de entre 10 a 40 km. La máxima generación de ozono (O<sub>3</sub>) se produce en la capa exterior, en donde las moléculas de oxígeno (O<sub>2</sub>) reaccionan con el oxígeno atómico. La presencia de otros compuestos, particularmente compuestos halogenados, promueve la descomposición de este ozono en la presencia de una fuerte radiación ultravioleta.

En este estudio no se encontraron sustancias químicas que agotan el ozono asociados con los sistemas de bolsas estudiados, y por lo tanto no hay contribuciones a la destrucción del ozono estratosférico.

#### 4.2.6.3 Lluvia ácida

La producción de lluvia ácida en el noreste de Estados Unidos se reconoce como un problema regional. La lluvia ácida resulta cuando azufre y óxidos de nitrógeno y sus productos de transformación regresan de la atmósfera a la superficie de la tierra. La

fueron la fuente principal de la lluvia ácida es la emisión de estos contaminantes procedentes de instalaciones de generación de electricidad y de carbón alimentado.

Los siguientes datos fueron extraídos de las tablas de resultados. No hay datos disponibles sobre emisiones de SOX y NOX después de la eliminación.

Como se puede apreciar en la tabla 4.2.6.3.1 A. Se muestran las emisiones de lluvia ácida (en miligramos de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>) como resultado de todas las operaciones justo antes de su eliminación dicho estudio está realizado sobre una base de 1.000 bolsas de supermercado.

Emisiones de lluvia acida en mg	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
SOX	579,000 mg	50,500 mg	275,000 mg
NOX	264,000 mg	45,400 mg	304,000 mg

Tabla 4.2.6.3.1 A. Emisiones de lluvia ácida (en miligramos de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>) como resultado de todas las operaciones justo antes de su eliminación dicho estudio está realizado sobre una base de 1.000 bolsas de supermercado.

En la Tabla 4.2.6.3.1 A muestra que la bolsa de plástico reciclable tiene menos emisiones de SOX y NOX. La bolsa de papel tiene más de 10 veces las emisiones de SOX en comparación con la bolsa de plástico reciclable y más de 5 veces las emisiones de NOX en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable tiene más de 5 veces las emisiones de SOX y NOX en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

Emisiones de lluvia acida en mg	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico degradable
SOX	579,000 mg	75,800 mg	413,000 mg
NOX	264,000 mg	68,100 mg	456,000 mg

Tabla 4.2.6.3.1 B. Emisiones de la lluvia ácida (en miligramos de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>) resultantes de todas las operaciones justo antes de su eliminación para un estudio de 1500 bolsas de supermercado, (bolsas de papel, plástico reciclable y bolsas de plástico biodegradables).

La tabla anterior muestra que incluso utilizando 1.5 bolsas de plástico a 1 bolsa de papel, la bolsa de plástico reciclable tiene menos emisiones de Sox y Nox. La bolsa de papel, en una proporción de 1 a 1,5, cuenta con más de 7 veces las emisiones de SOX en comparación con la bolsa de plástico reciclable y casi 4 veces las emisiones de NOX en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico degradable tiene

más de 5 veces las emisiones de SOX y NOX en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

#### 4.2.6.5 Residuos sólidos municipales

Otro problema ambiental generalizado se refiere a la generación y eliminación de residuos sólidos urbanos. Los residuos minerales de la minería, las escorias y desechos de cenizas procedentes de la producción de petróleo y gas y la utilidad de combustión de carbón y desechos químicos regulados son manejados generalmente por la regulación y permisos que excluyen a estos residuos del flujo de residuos sólidos urbanos. El tipo de residuos en los residuos industriales mixtos puede contribuir al problema de residuos sólidos municipales. Si, como en este estudio, existe un interés en centrarse en el problema de residuos sólidos municipales, los resultados de los residuos minerales, escorias y cenizas, y los productos químicos regulados pueden ser ignorados. Seleccionando sólo los residuos sólidos resultantes de sólo la disposición de las bolsas de supermercado en el relleno sanitario, se puede preparar la siguiente tabla 4.2.6.5.1<sup>a</sup> considerando eliminación de 1.000 bolsas de supermercado y una tabla 4.2.6.5.1B considerando la eliminación de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico degradables y reciclables. La tabla refleja los residuos que se depositan en vertederos como el 65,4% de bolsas de papel y el 81,2% las bolsas de plástico.

	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
Residuos sólidos municipales en mg	33,900,000	4,690,000	12,800,000

Tabla 4.2.6.5.1 A. Residuos sólidos urbanos (miligramos) solo como resultado de la disposición de bolsas de supermercado en el relleno sanitario. Sobre la base de 1.000 bolsas de supermercado, pero sólo el 65,4% de las bolsas de papel se depositan en vertederos y el 81,2% de las bolsas de plástico se depositan en vertederos.

La tabla anterior muestra qué, la bolsa de plástico reciclable tiene menos residuos sólidos municipales. La bolsa de papel tiene 7 veces más residuos sólidos municipales en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico degradable tiene casi 3 veces más residuos sólidos urbanos en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

La tabla 4.2.6.5.1 B. Muestra la cantidad de residuos sólidos urbanos (en mg) como resultado de única y exclusivamente la disposición de bolsas de supermercado en el relleno sanitario. Sobre la base de 1.000 bolsas de papel kraft, pero sólo el 65,4% de las bolsas de papel se depositan en vertederos y 1.500 bolsas de plástico de los cuales el

81,2% de las bolsas de plástico se depositan en vertederos, mismo porcentaje aplica a las bolsas de plástico biodegradables como se mencionó previamente.

	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
Residuos sólidos municipales en mg	33,900,000	7,035,000	19,200,000

Tabla 4.2.6.5.1 B. Muestra la cantidad de residuos sólidos urbanos (en mg) como resultado de única y exclusivamente la disposición de bolsas de supermercado en el relleno sanitario.

La tabla anterior muestra que incluso el uso de bolsas de plástico de 1,5 a 1 bolsa de papel, la bolsa de plástico reciclable tiene menos residuos sólidos municipales. La bolsa de papel, en una proporción de 1 a 1.5, tiene casi 5 veces más residuos sólidos urbanos en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable tiene casi 3 veces más residuos sólidos urbanos en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

#### 4.2.6.6 Conservación de los combustibles fósiles

Los problemas de conservación se ocupan de la disminución y el posible agotamiento de las materias primas y combustibles. Con el uso continuo, se agotará un día la oferta limitada de materias primas y combustibles fósiles especialmente. La conservación de los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural es un importante problema global. Por tanto, es importante asegurarse de que estos recursos se utilicen con la máxima eficacia y el mínimo de residuos para el ambiente un ejemplo de esto es la siguiente tabla.

Energía en MJ	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
Carbón	324	65	161
Petróleo	207	206	353
Gas	391	186	705
Totales	922	457	1,219

Tabla 4.2.6.6.1 A. Combustibles fósiles brutos y materias primas, expresados en forma de energía (MJ) necesarios para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.

En la tabla 4.2.6.6.1 A se muestra que la bolsa de plástico reciclable utiliza menor cantidad de combustibles y materias primas fósiles. La bolsa de papel emplea más de 2 veces los combustibles fósiles y materias primas en comparación con la bolsa de

plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable utiliza más de 2.5 veces los combustibles fósiles y materias primas en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

Energía en MJ	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
Carbón	324	98	242
Petróleo	207	309	530
Gas	391	279	1,058
Totales	922	686	1,830

Tabla 4.2.6.6.1 B. Combustibles, fósiles brutos y materias primas, expresados en forma de energía (MJ) necesarios para la producción, uso y disposición pero en una relación de 1000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico biodegradable y reciclable.

En la tabla anterior se puede apreciar que incluso utilizando 1,5 bolsas de plástico para 1 bolsa de papel, la bolsa de plástico reciclable utiliza menos combustibles y materias primas fósiles. La bolsa de papel, en una proporción de 1 a 1.5, utiliza 34% más combustibles fósiles y materias primas en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable utiliza más de 2.5 veces los combustibles fósiles y materias primas en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

## 4.2.7 Uso local y regional de la red eléctrica

Los EE.UU. recientemente han experimentado problemas graves relacionados con su red eléctrica local y regional. Debido a estas “lagunas mentales,” recientes “caídas de tensión”, y las interrupciones de electricidad, la necesidad de medidas de conservación adecuadas ha crecido paulatinamente.

	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
Energía Eléctrica MJ	649	148	325

Tabla 4.2.7.1 A. Cantidad de energía eléctrica (MJ) necesaria para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.

La Tabla 4.2.7.1 A muestra que la bolsa de plástico reciclable utiliza menos energía eléctrica en comparación con sus dos contrapartes. La bolsa de papel utiliza más de 4 veces la energía eléctrica en comparación con la bolsa de plástico reciclable y La bolsa

de plástico biodegradable utilizado más del doble de energía eléctrica en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
Energía Eléctrica MJ	649	222	488

Tabla 4.2.7.1 B. Cantidad de energía eléctrica (MJ) requerida para la producción, uso y disposición de las bolsas de supermercado pero con una relación de; 1000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico biodegradables, y reciclables.

Se puede observar que incluso utilizando 1,5 bolsas de plástico a 1 bolsa de papel, la bolsa de plástico reciclable utiliza menos energía eléctrica. La bolsa de papel, en una proporción de 1 a 1.5, utiliza casi 3 veces la energía eléctrica en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable utiliza más de 2 veces la energía eléctrica en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

#### 4.2.8 El uso del agua y el suministro público

Algunas partes de los EE.UU. siguen siendo afectadas por las sequías periódicas. Durante estos tiempos, las leyes y reglamentos relativos a la conservación del agua se hacen cumplir. Desde que los problemas de suministro de agua pública se han identificado como un problema, la siguiente tabla se ha preparado para comparar el servicio público utilizado para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.

	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
Suministro público de agua en mg (en mg)	3,895,000,000	31,150,000	2,560,000,000

Tabla 4.2.8.1 A Cantidad de agua proveniente del suministro público (mg) se utiliza para la producción, uso y eliminación de 1.000 bolsas de supermercado.

Se puede apreciar claramente que la bolsa de plástico reciclable utiliza menos agua proveniente del suministro de agua pública. La bolsa de papel emplea más de 125 veces más el servicio público de agua, en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable utiliza más de 80 veces el agua del servicio público en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

	Bolsa de papel	Bolsa de plástico reciclable	Bolsa de plástico biodegradable
Suministro público de agua en mg (en mg)	3,895,000,000	46,700,000	3,840,000,000

Tabla 4.2.8.1 B. Cantidad de agua proveniente del suministro público (mg) que se utiliza para la producción, uso y eliminación de las bolsas de supermercado pero con una relación de 1.000 bolsas de papel kraft y 1.500 bolsas de plástico degradables y reciclables.

La Tabla 4.2.8.1 B muestra que incluso utilizando 1.5 bolsas de plástico a 1 bolsa de papel, la bolsa de plástico reciclable utiliza menos el suministro de agua público. La bolsa de papel, en una proporción de 1 a 1.5, utiliza más de 80 veces al servicio público de agua en comparación con la bolsa de plástico reciclable. La bolsa de plástico biodegradable utiliza más de 80 veces el agua del servicio público en comparación con la bolsa de plástico reciclable.

## 4.3 Resultados de simulación

La simulación se ha construido bajo el conjunto de conceptos relacionados con el desarrollo sustentable, su normatividad, los objetivos de producción de las bolsas de supermercado; papel reciclable, plástico reciclable y biodegradables, en conjunto con sus consecuentes resultados obtenidos en miligramos y MJ, las siguientes secciones presentan a detalle la simulación que ha sido tomada de múltiples secciones 4.2. a 4.2.8.

### 4.3.1 Simulación del sistema de bolsas de papel

Para comenzar se mostrarán los datos que se dan como resultado después de la simulación del modelo de dinámica de sistemas dicho modelado fue realizado en el programa Vensim, en la siguiente tabla se muestra la energía requerida en MJ necesaria para la creación de la bolsa de papel dichos modelado se podrá apreciar más adelante.

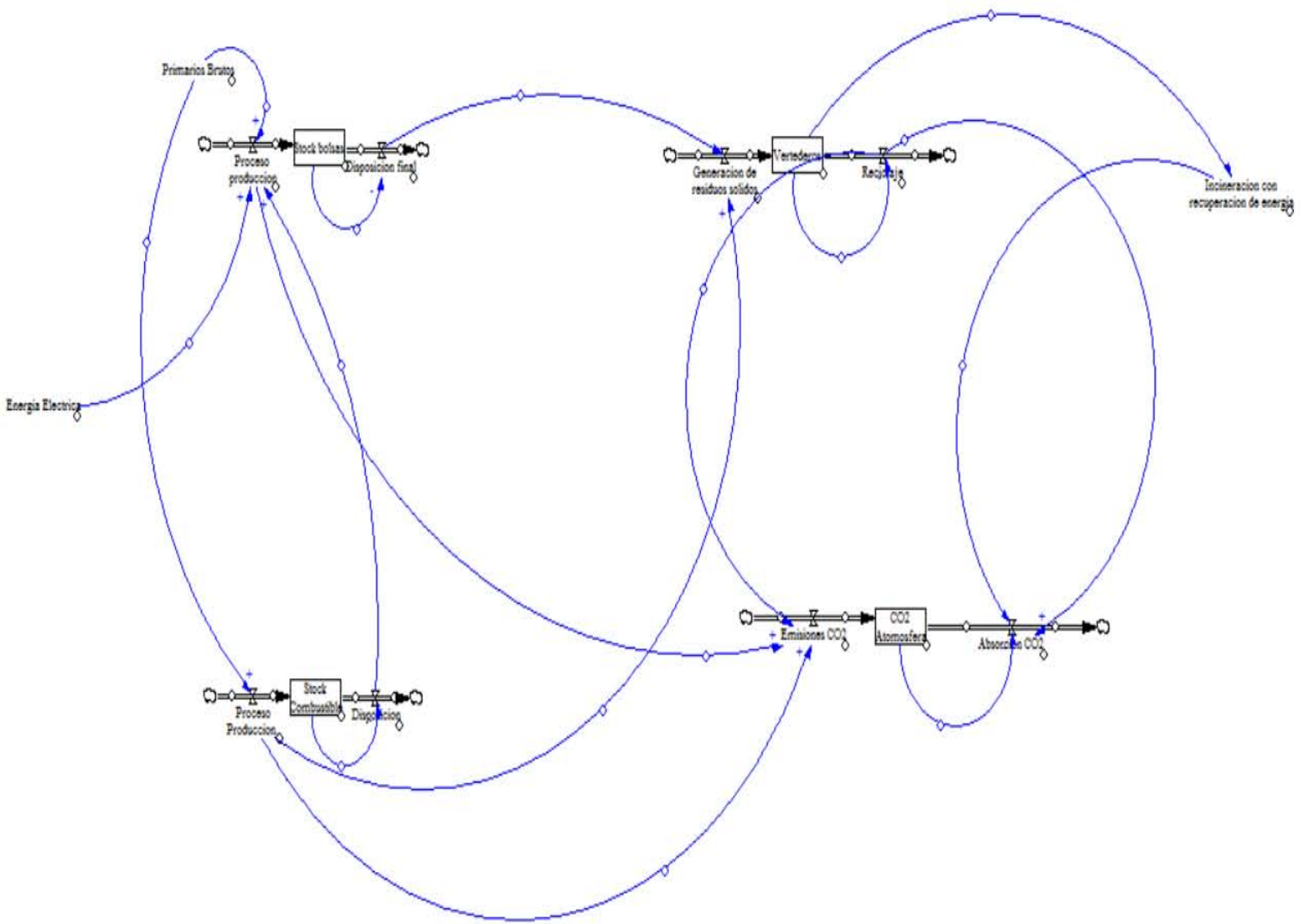
Gracias al previo análisis y el estudio del entorno fue posible estructurar las bases teóricas que favorecieron a la construcción del modelo 4.3.1. La estructuración, el pensamiento sistémico y la correcta jerarquización ayudo a desglosar las relaciones tanto individuales como para elaborar dicho sistema para la elaboración del modelado destacando cada uno de los niveles, variables de flujo y las variables auxiliares así como los posibles bucles o causales así como realimentaciones que puedan existir en el modelo.

A continuación se muestra el Modelo 4.3.2.1, modelo que representa el sistema de las bolsas de papel en dicho modelo se analizaron los datos de los capítulos 4.2 a 4.2.8 en

este en especial se analizó la energía requerida en ( $MJ$ ) para la creación de bolsas de papel.

En el modelo 4.3.2.1 se muestra la propuesta heurística del modelo de simulación realizada con el programa Vensim en el que se visualiza los conceptos previamente mostrados en el capítulo 4.2.4 a 4.2.8 y las relaciones matemáticas y lógicas que permiten describir el comportamiento de la producción de bolsas de papel, generada en el periodo 2010 al 2030 y como se muestra en la tabla siguiente 4.3.2, representación comprendida entre el 2010 al 2020.





Modelo 4.3.2.1 elaborado en el programa Vensim que representa el sistema de las bolsas de papel.

En la siguiente tabla se muestra la energía requerida en MJ para la creación de la bolsa de papel datos recopilados de las tablas mostradas en el capítulo 4.2.3. y proyectados gracias al modelo desarrollado en el programa Vensim.

Time (Year)	Selected Variables	Absorcion CO2	CO2 Atmosferico	Disposicion	Disposicion final	Emisiones CO2	Energia Electrica	Generacion de electricidad	Emisiones CO2 Primarios
2010	0	0	0	0	0	2631	649	991	0
2011	Runs:	2631	2631	991	1640	3622	649	2631	0
2012	Prueba 4	3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2013		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2014		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2015		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2016		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2017		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2018		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2019		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2020		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2021		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2022		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2023		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2024		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2025		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2026		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2027		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2028		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2029		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0
2030		3622	3622	991	2631	3622	649	3622	0

Energia producida	Proceso Produccion	Reciclaje	Stock bolsas	Stock Combustible	Vertido
1640	991	0	0	0	0
2631	991	0	1640	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0
2631	991	0	2631	991	0

Tabla 4.3.1.1 Energía requerida en MJ para la creación de la bolsa de papel.

La tabla 4.3.1 lleva el escenario comprendido entre el 2010 al 2030 con los valores proporcionadas por la Bousted Consulting (BCAL), mostrados en las tablas 4.2.4.1.1 y 4.2.4.1.2 datos que permiten cuantificar la producción de una bolsa de papel en tiempo real, datos otorgados por las empresas productores entre ellas (BASF) estos factores fueron proyectados y muestran que la cantidad de energía que se requiere, esta energía crece con el paso de los años hasta llegar a un punto máximo para después mantenerse

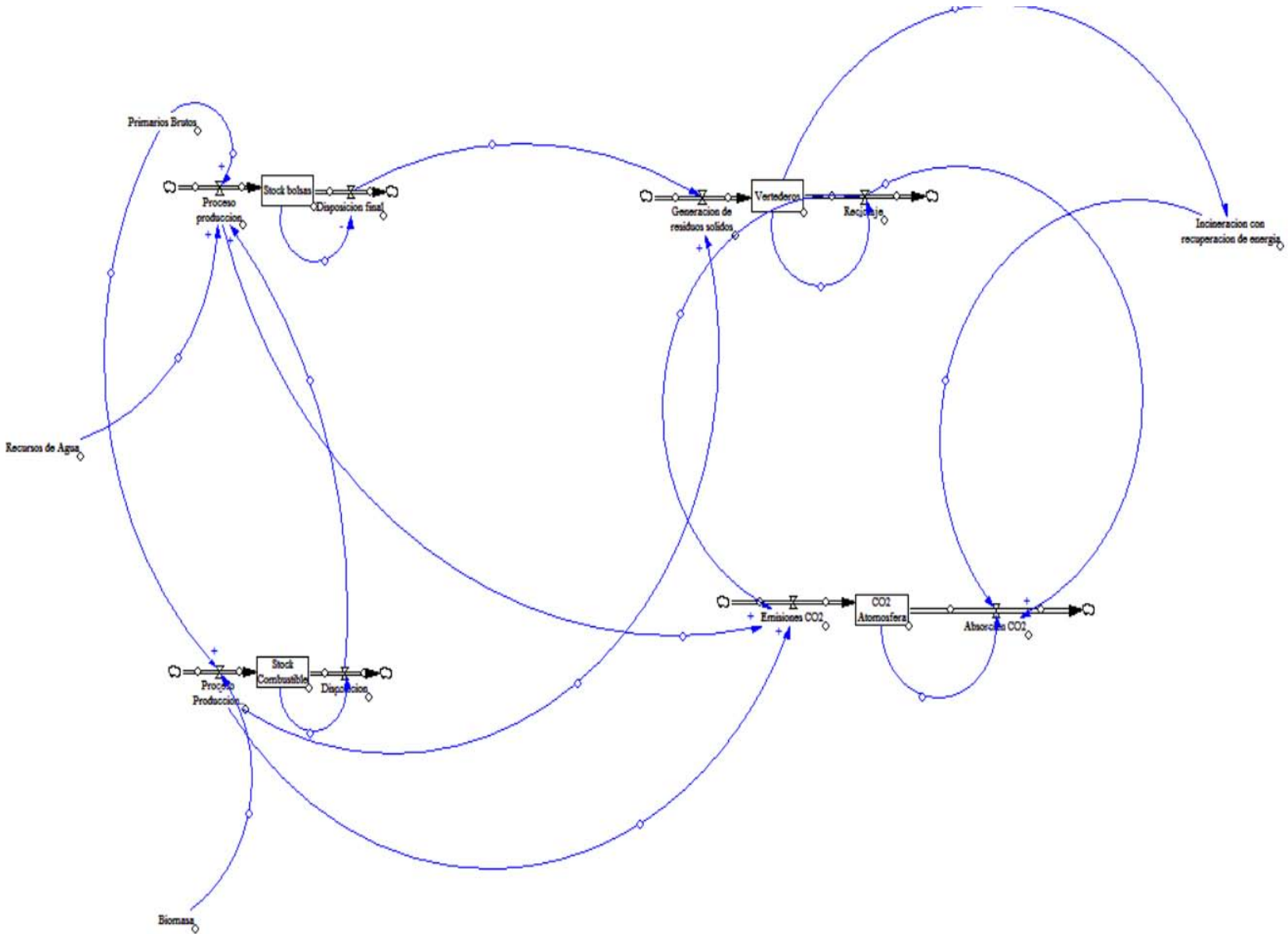
estable en los años consecutivos. Estos datos nos ayudan a comprender no solo aspectos energéticos, estos sirven para poder predecir aspectos económicos, ambientales y así poder elaborar mejores estrategias de producción para tener un mejor desarrollo sustentable.

Time (Year)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Selected Variables Runs:	Prueba 4										
Absorcion CO2	0	2631	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622
CO2 Atmosfera	0	2631	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622
Disposicion	0	991	991	991	991	991	991	991	991	991	991
Disposicion final	0	1640	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631
Emisiones CO2	2631	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622
Energia Electrica	649										
Generacion de residuos solidos	991	2631	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622	3622
Incineracion con recuperacion de energí	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Primarios Brutos	991										
Proceso produccion	1640	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631
"Proceso Produccion."	991	991	991	991	991	991	991	991	991	991	991
Reciclaje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock bolsas	0	1640	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631	2631
Stock Combustible	0	991	991	991	991	991	991	991	991	991	991
Vertederos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.3.2.1 lleva el escenario comprendido entre el 2010 al 2030 con los valores proporcionadas por la Bousted Consulting (BCAL), mostrados en las tablas 4.2.4.1.1 y 4.2.4.1.2

La representación gráfica de la tabla 4.3.2 nos facilita el análisis de la información al mostrar en la primer columna las variables y los respectivos niveles, entre las que destacan; emisiones de CO2 a la atmósfera, generación de residuos sólidos, vertederos, proceso de producción entre otros, en la segunda columna podemos apreciar los valores útiles necesarios en la elaboración del modelo de simulación para así tener los valores proyectados como se pueden apreciar en las siguientes columnas.

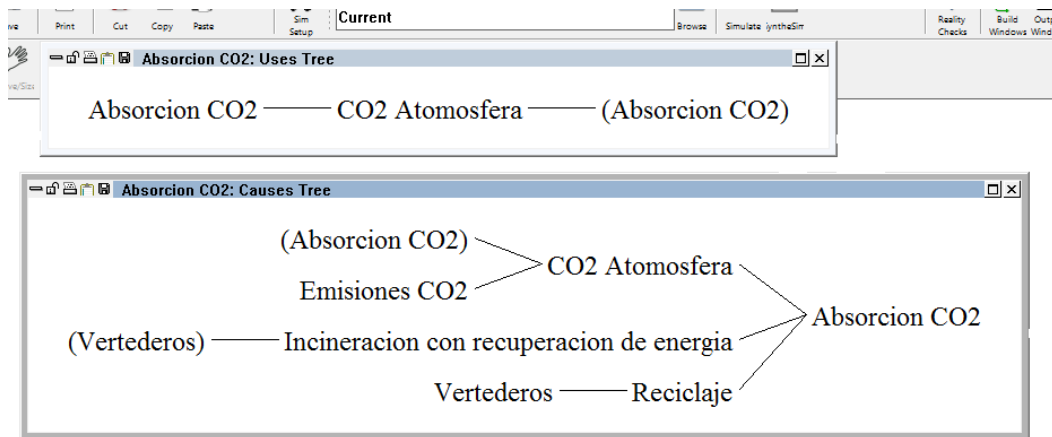
En el modelo 4.3.2. Al igual que el anterior fue creado gracias a los datos proporcionados por la (BCAL) además de cómo se mencionó antes este analiza las emisiones brutas de aire en (Miligramos) para la creación de bolsas de papel analizando cada aspecto mencionado en el (LCA).



Modelo 4.3.2.1 elaborado en el programa Vensim que representa el sistema de las bolsas de papel sobre las emisiones brutas de aire que estas producen.

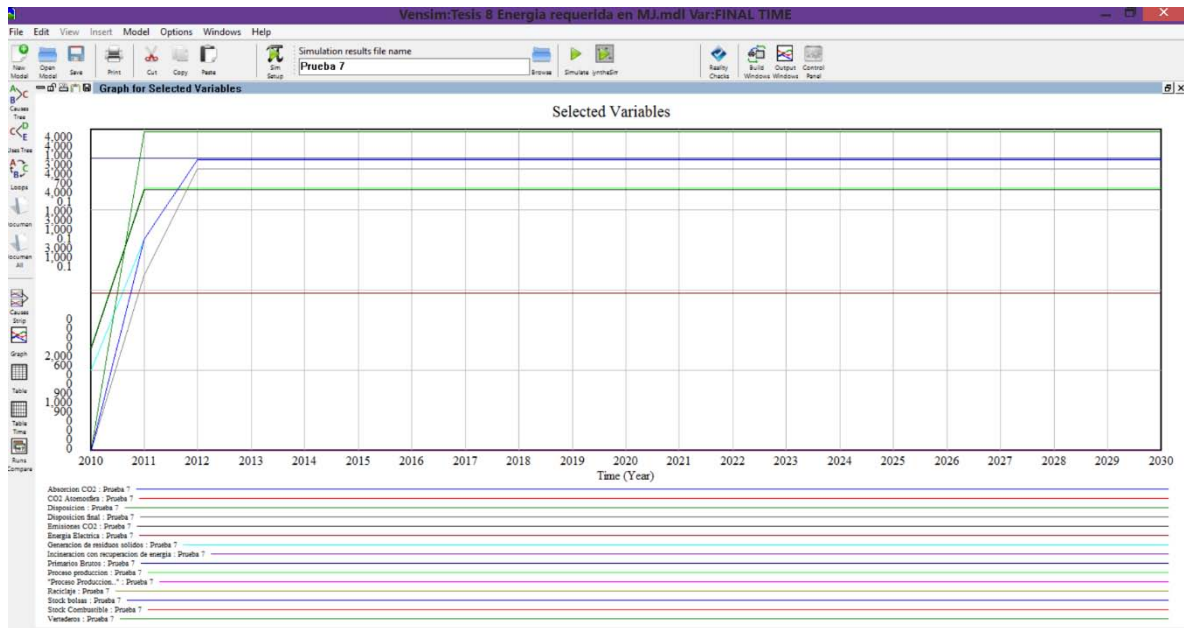
El proceso epistemológico de producción de conocimiento basado en el análisis de ciclo de vida, y en la dinámica de sistemas, ha permitido realizar el modelo 4.3.2 que es un soporte para evaluar el comportamiento del funcionamiento del sistema y que a continuación muestra la creación de escenarios correspondientes que parten del año 2010 al 2030.

Como se puede apreciar en la figura 4.3.1 se pueden apreciar algunos de los diagramas causales que forman el modelo 4.3.1 dichos diagramas muestran las relaciones que forman parte en el modelo así como se pueden apreciar tanto las relaciones como las variables y los niveles que lo forman así es más fácil la comprensión de dicho modelo y permite el análisis de la estructuración de él.



Gráfica 4.3.1 Cantidad de energía requerida para el sistema de bolsas de papel.

Como se puede apreciar en la gráfica 4.3.1 se muestra la cantidad de energía requerida en (MJ) para el sistema de la bolsa de papel reciclable en un 30% según datos obtenidos del (LCA, BCAL).

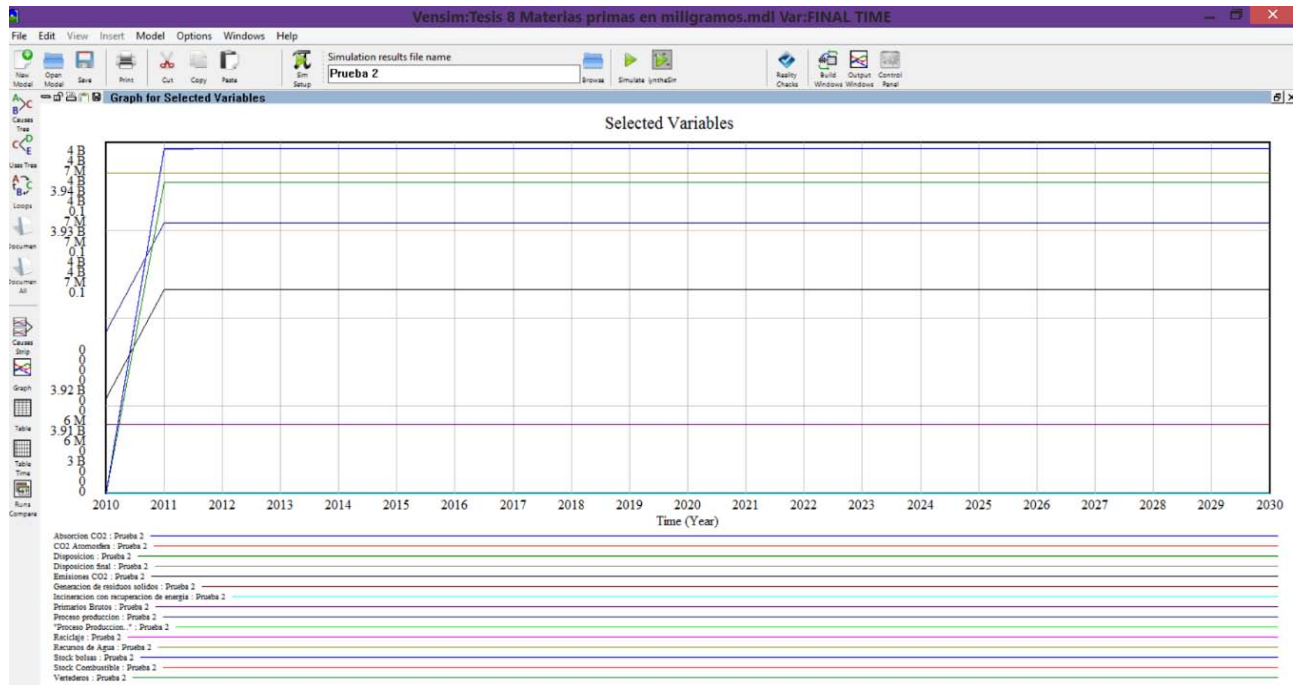


Gráfica 4.3.1 Cantidad de energía requerida para el sistema de bolsas de papel.

Es notable que el concepto de desarrollo sustentable se visualiza en la gráfica 4.3.1, en donde la inflexión de crecimiento y la dificultad para encontrar un equilibrio busca no pasar el nivel de tolerancia con valor teórico 4000 MJ.

Por supuesto las políticas gubernamentales deberán promover iniciativas para incrementar la oferta y demanda de las bolsas de papel pero cuidando aspectos ambientales que cada vez son más visuales en nuestro país, pero para encontrar un balance en dicha relación es necesaria la creación de nuevas tecnologías o metodologías que prevean dichos aspectos cuidando también el aspecto económico que permita a las empresas como a la economía de la población alcanzar dichas propuestas, permitiendo así un desarrollo sustentable.

En la gráfica 4.3.2 se muestran las materias primas necesarias en miligramos para el sistema de las bolsas de papel según el análisis de ciclo de vida realizado por (BCAL).



Gráfica 4.3.2 Materias primas necesarias en miligramos para el sistema de las bolsas de papel.

En la gráfica 4.3.2 se observa que el aumento en la demanda de bolsas como se puede apreciar en la gráfica 1.2.2 ha ido en aumento desde 1950 aumentando así la demanda de materias primas y no solo eso sino la búsqueda por alcanzar la demanda de la gente y tratando de solventar esta con diversos medios entre ellas las bolsas de papel y más adelante las bolsas biodegradables que como podemos observar se encuentra claramente en aumento hasta llegar a una fase (Metodología para evaluar el desarrollo sustentable de productos industriales con criterios múltiples, Segunda parte Biopolímeros, innovación y tendencias tecnológicas, Ángel Cámara Rascón, Carlos Enrique Escobar-Toledo Nelly Rigaud Téllez).

En la gráfica 4.3.3 se pueden apreciar las emisiones de aire bruta en miligramos como resultado del sistema de bolsas de papel reciclable a un 30%, dicho estudio fue realizado utilizando los valores obtenidos por BCAL y publicados en el LCA que fue realizado por ellos, datos que como hemos mencionado anteriormente fueron proporcionados por los principales productores entre ellos BASF que es una de las principales industrias químicas en el mundo.





Gráfica 4.3.3 Emisiones de aire brutas en miligramos como resultado del sistema de bolsas de papel reciclable.

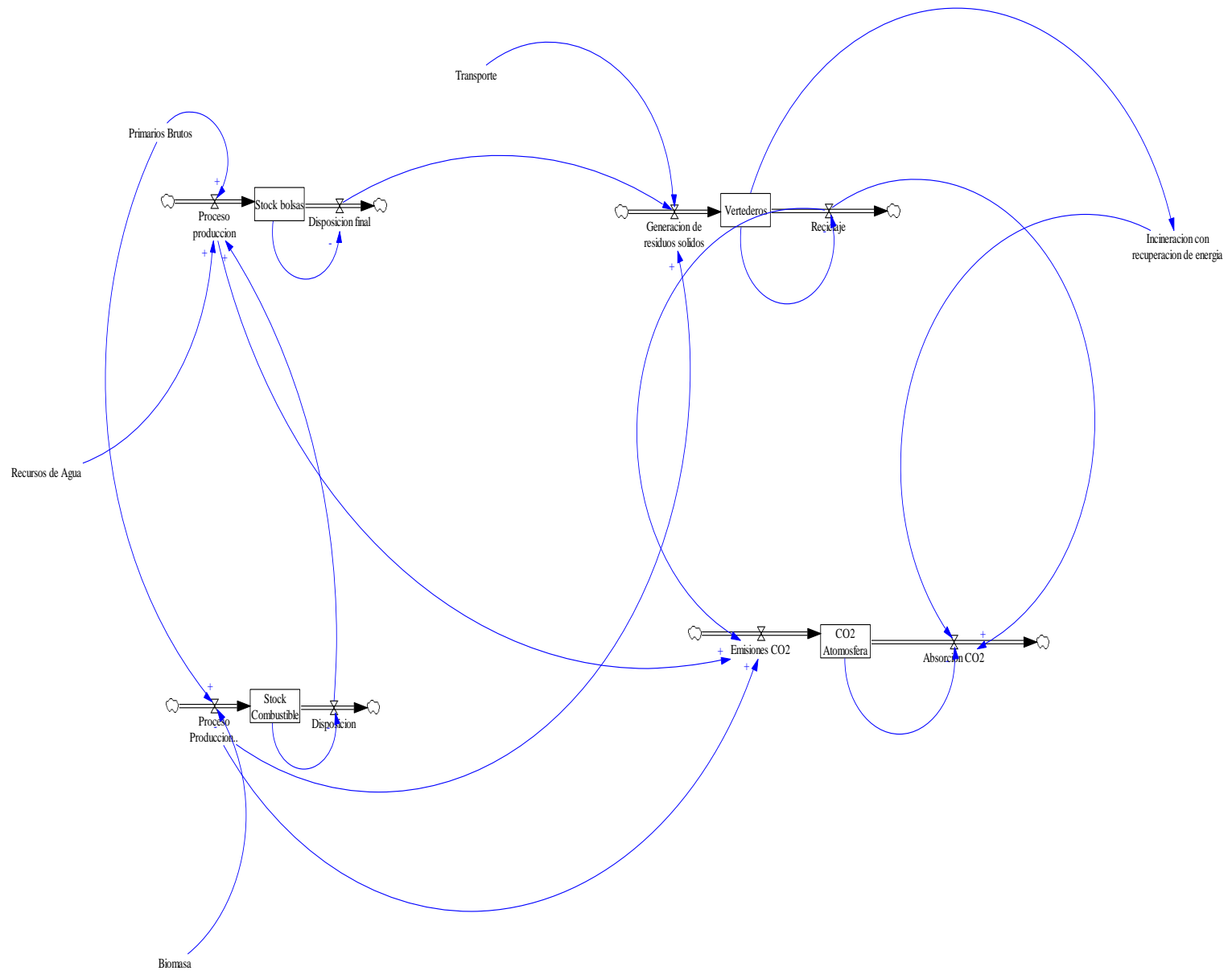
Como se puede apreciar en la gráfica 4.3.3 existe un claro crecimiento en la generación de emisiones brutas de aire entre ellas CO<sub>2</sub> hasta alcanzar un pico, para después decrecer constantemente hasta llegar a 0.

#### 4.3.2 Simulación del sistema de bolsas de plástico

A continuación se iniciará con el modelo del sistema de la bolsa de plástico reciclable, como se mencionó en el capítulo anterior dicho modelo fue realizado en el programa Vensim, el modelo de dinámica de sistemas fue realizado al igual que el anterior de una manera sistémica desglosando las relaciones lineales e identificando cada una de las variables que forman parte; stocks, variables externas o auxiliares y las diferentes variables, los datos que fueron simulados fueron los obtenidos en el análisis de ciclo de vida elaborado por (BCAL) que se muestran en el capítulo 4.2.4.

Para comenzar se muestra el modelo 4.3.2.1 que como se puede apreciar es muy parecido al anterior a diferencia que se le añadió una nueva variable auxiliar que es el transporte.





Modelo 4.3.2.1 elaborado en el programa Vensim que representa el sistema de las bolsas de plástico.

En el modelo 4.3.2.1 se muestra fueron introducidos y evaluadas las emisiones brutas de aire en miligramos correspondientes a las bolsas de plástico correspondientes al periodo que abarca del 2010 al 2030, resultados que se podrán observar con más detenimiento en las gráficas y tablas siguientes.

En la figura 4.3.2.1 se muestran las relaciones que existen en el modelo 4.3.2.1 cómo se puede apreciar no son las mismas que en el modelo anterior dado que los datos analizados son diferentes que en el anterior por lo tanto las retroalimentaciones no son las mismas.

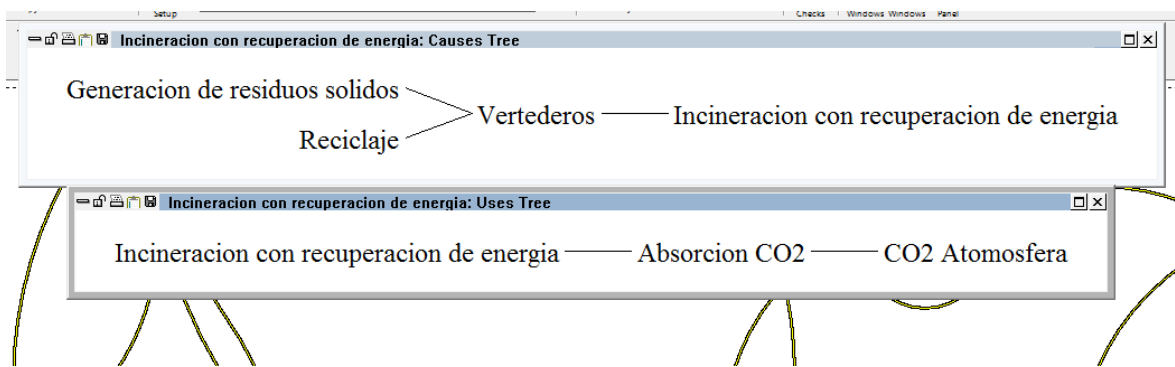
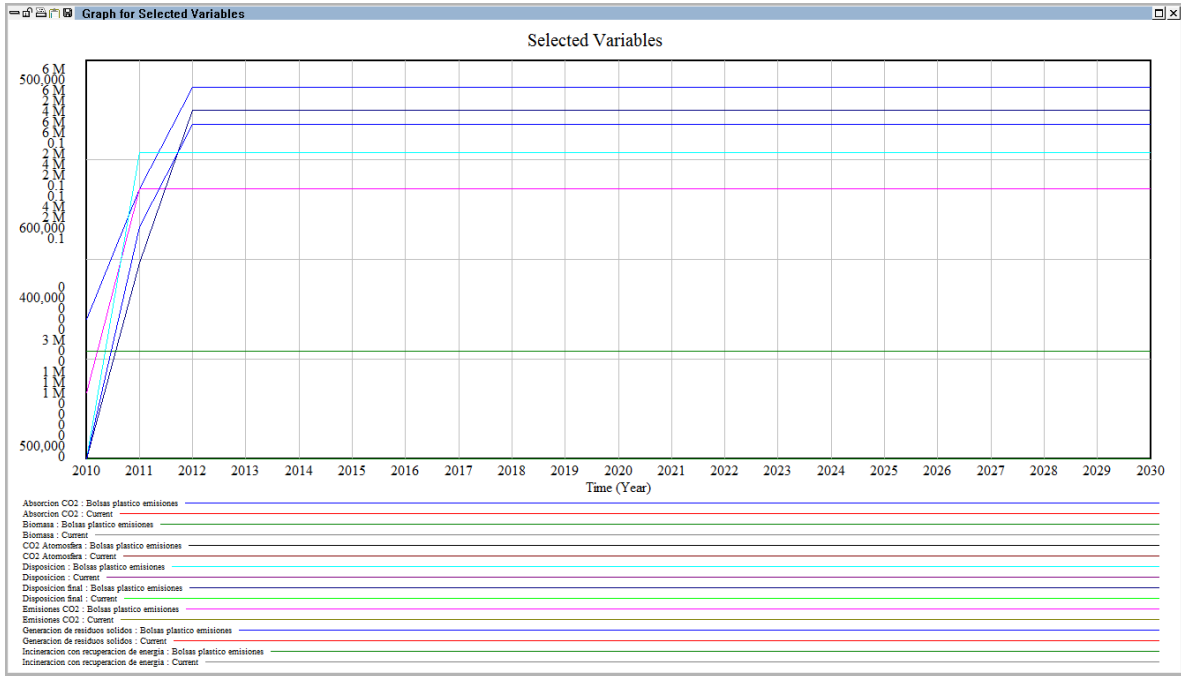


Figura 4.3.2.1 se muestran las relaciones que existen en el modelo 4.3.2.1.

En la gráfica 4.3.2.1 Se puede apreciar que la cantidad de emisiones que llegan al aire (miligramos) crece hasta alcanzar un pico y mantenerse estable a diferencia del anterior donde este alcanza un pico para después tener un brusco decrecimiento dado que no puede soportarse en cambio en el sistema de las bolsas de plástico este tiene la capacidad de sostenerse por una cantidad de años, no hay que olvidar que dicho estudio abarca un periodo del 2010 al 2030 únicamente.



Gráfica 4.3.2.1 Emisiones brutas de aire como resultado del sistema de las bolsas de plástico.

En la tabla 4.3.2.1 se muestran los valores como se puede apreciar en la primera columna se muestran todas las variables del sistema y en las columnas posteriores se muestran los años así como los datos y su respectivo crecimiento a través de los años

Time (Year)	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Selected Variables Runs:						
Absorcion CO2	3.49707e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
: Current	3.49707e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
Biomasa	427000					
: Current	427000					
CO2 Atmosfera	3.49707e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
: Current	3.49707e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
Disposicion	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
: Current	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
Disposicion final	1.96204e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
: Current	1.96204e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
Emissiones CO2	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
: Current	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
Generacion de residuos solidos	4.06337e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006
: Current	4.06337e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006
Incineracion con recuperacion de energí	0	0	0	0	0	0
: Current	0	0	0	0	0	0
Primarios Brutos	1.96204e+006					
: Current	1.96204e+006					
Proceso produccion	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
: Current	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
"Proceso Produccion.."	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
: Current	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
Reciclaje	0	0	0	0	0	0
: Current	0	0	0	0	0	0
Recursos de Agua	0					
: Current	0					
Stock bolsas	1.96204e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
: Current	1.96204e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
Stock Combustible	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
: Current	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
Transporte	566295					
: Current	566295					
Vertederos	0	0	0	0	0	0
: Current	0	0	0	0	0	0

mismos.

Time (Year)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Selected Variables Runs:							
Absorcion CO2	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
: Current	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
Biomasa	427000						
: Current	427000						
CO2 Atmosfera	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
: Current	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
Disposicion	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
: Current	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
Disposicion final	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
: Current	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
Emissiones CO2	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
: Current	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
Generacion de residuos solidos	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006
: Current	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006
Incineracion con recuperacion de energí	0	0	0	0	0	0	0
: Current	0	0	0	0	0	0	0
Primarios Brutos	1.96204e+006						
: Current	1.96204e+006						
Proceso produccion	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
: Current	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
"Proceso Produccion.."	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
: Current	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
Reciclaje	0	0	0	0	0	0	0
: Current	0	0	0	0	0	0	0
Recursos de Agua	0						
: Current	0						
Stock bolsas	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
: Current	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
Stock Combustible	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
: Current	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
Transporte	566295						
: Current	566295						
Vertederos	0	0	0	0	0	0	0
: Current	0	0	0	0	0	0	0

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006	5.03211e+006
5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006
5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006	5.5984e+006
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006	3.49707e+006
1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006	1.53504e+006
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.3.2.1 Datos obtenidos después de la simulación del sistema de las bolsas de plástico.

A continuación se muestra la figura 4.3.2.2 donde se puede apreciar las relaciones que existen con el modelo 4.3.2.1 pero en este caso se evaluó la energía requerida para el sistema de bolsas de plástico con base en el LCA elaborado por (BCAL).

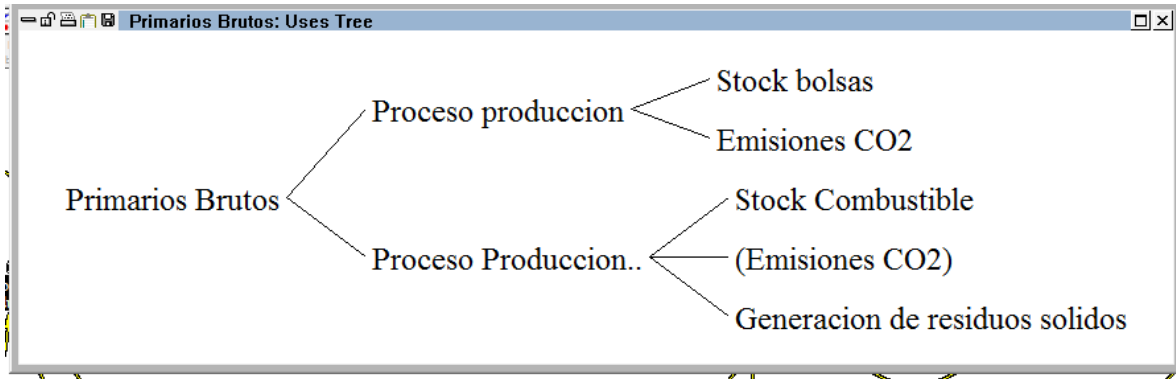
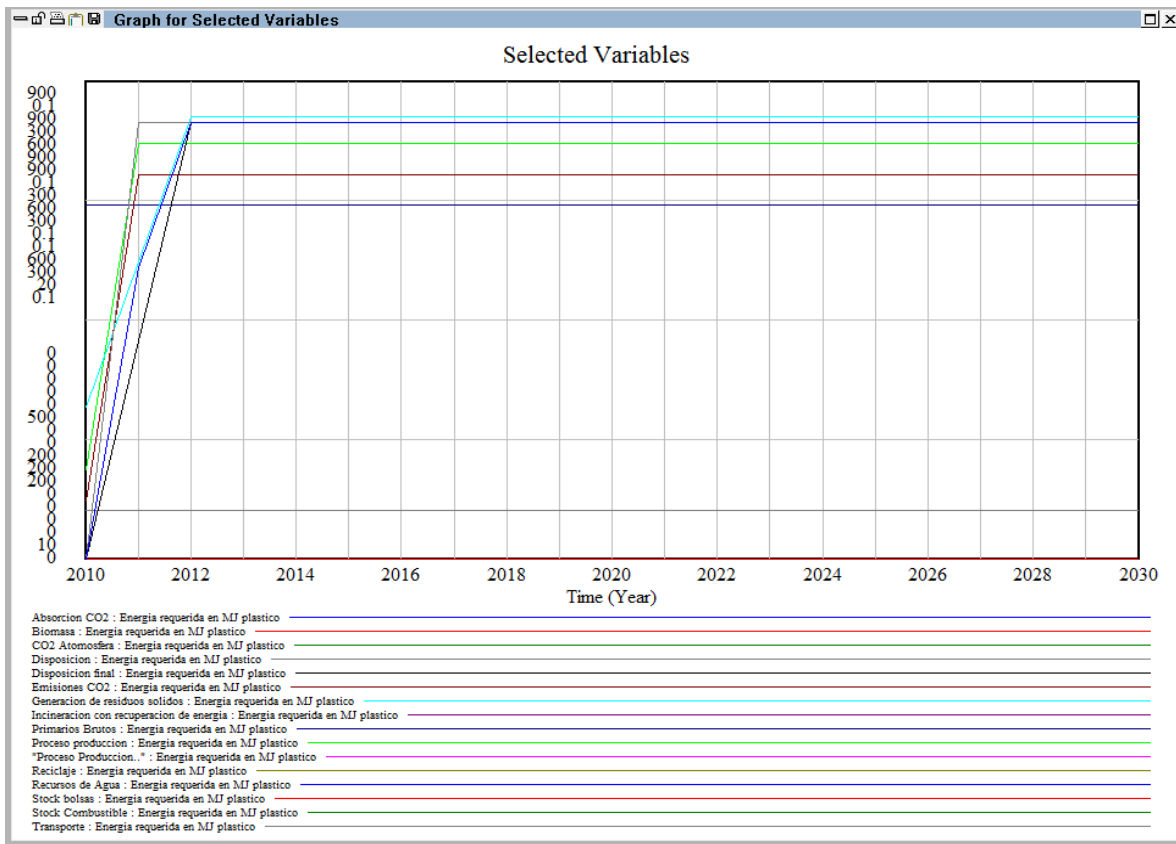


Figura 4.3.2.2 donde se puede apreciar las relaciones que existen con el modelo 4.3.2.1.

Como se puede apreciar las relaciones son diferentes que en la simulación de las emisiones de aire en miligramos aquí tenemos diferentes variables de flujo, que en comparación con el anterior siendo otros los niveles que se toman en cuenta en dicho análisis aunque el modelo es el mismo los valores que son introducidos en el hacen que cambie la temática hay que recordar que en la dinámica de sistemas, la relación tiene que ser lineal no pueden analizarse todo en conjunto este tiene q desglosarse para que el programa permita analizar y simular los datos.

En la gráfica 4.3.2.2 se muestra la energía requerida en (MJ) para el sistema de las bolsas de plástico basado en el análisis de ciclo de vida realizado por el (BCAL).



Gráfica 4.3.2.2 energía requerida en (MJ) para el sistema de las bolsas de plástico.

Como se puede apreciar en la imagen esta crece paulatinamente en los primeros años para después mantenerse estable, comportamiento muy similar al que ocurre con la bolsa de papel aunque a diferencia de este esté alcanza un pico por debajo de los 1000 MJ a diferencia de su contra parte el papel que llega a casi los 4000 MJ por lo tanto si dicho sistema establece que este puede estabilizarse con las cantidades requeridas por la bolsa de papel era de suponerse que al igual que este el sistema de las bolsas de plástico iba a continuar con dicha hipótesis, aunque a diferencia de las bolsas de papel que su principal proveedor de materia prima es el papel en las bolsas de plástico son

los recursos fósiles por tanto de este depende mucho la sustentabilidad que pueda tener el sistema.

Dado que no hay que olvidar que el desarrollo sustentable no solo abarca el ámbito ambiental (energético) si no también económico social y tecnológico y ante el inminente descenso de las reservas los precios se elevaran.

En la siguiente tabla 4.3.2.2 se muestran los datos evaluados en el modelo anterior en dichas tablas al igual que en las anteriores podemos apreciar con mayor facilidad los datos que fueron tomados del análisis de ciclo de vida elaborado por (BCAL) en la primera columna tenemos las diferentes variables que fueron contempladas en el y en las siguientes columnas los valores con su respectiva simulación paulatina con el correr de los años.

Table							
Time (Year)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Selected Variables Runs:	Energia requerida en MJ plastico						
Absorcion CO2	0	548	822	822	822	822	822
Biomasa	0						
CO2 Atmosfera	0	548	822	822	822	822	822
Disposicion	0	274	274	274	274	274	274
Disposicion final	0	274	548	548	548	548	548
Emisiones CO2	548	822	822	822	822	822	822
Generacion de residuos solidos	285	559	833	833	833	833	833
Incineracion con recuperacion de energia		0	0	0	0	0	0
Primarios Brutos	274						
Proceso produccion	274	548	548	548	548	548	548
"Proceso Produccion.."	274	274	274	274	274	274	274
Reciclaje	0	0	0	0	0	0	0
Recursos de Agua	0						
Stock bolsas	0	274	548	548	548	548	548
Stock Combustible	0	274	274	274	274	274	274
Transporte	11						
Vertederos	0	0	0	0	0	0	0

Table							
Time (Year)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Selected Variables Runs:	Energia requerida en MJ plastico						
Absorcion CO2	822	822	822	822	822	822	
Biomasa	0						
CO2 Atmosfera	822	822	822	822	822	822	
Disposicion	274	274	274	274	274	274	
Disposicion final	548	548	548	548	548	548	
Emisiones CO2	822	822	822	822	822	822	
Generacion de residuos solidos	833	833	833	833	833	833	
Incineracion con recuperacion de energia		0	0	0	0	0	
Primarios Brutos	274						
Proceso produccion	548	548	548	548	548	548	
"Proceso Produccion.."	274	274	274	274	274	274	
Reciclaje	0	0	0	0	0	0	
Recursos de Agua	0						
Stock bolsas	548	548	548	548	548	548	
Stock Combustible	274	274	274	274	274	274	
Transporte	11						
Vertederos	0	0	0	0	0	0	

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
822	822	822	822	822	822	822	822
822	822	822	822	822	822	822	822
274	274	274	274	274	274	274	274
548	548	548	548	548	548	548	548
822	822	822	822	822	822	822	822
833	833	833	833	833	833	833	833
0	0	0	0	0	0	0	0
548	548	548	548	548	548	548	548
274	274	274	274	274	274	274	274
0	0	0	0	0	0	0	0
548	548	548	548	548	548	548	548
274	274	274	274	274	274	274	274
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.3.2.2 Resultados obtenidos de la simulación del modelo del sistema de las bolsas de plástico biodegradables.

### 4.3.3 Simulación del sistema de bolsas de plástico biodegradables

Para comenzar se mostrarán las relaciones que se dan en el modelo de las bolsas de plástico biodegradables como se mencionó antes las relaciones son diferentes a sus contrapartes las bolsas de papel y plástico para continuar tenemos los datos que se dan como resultado después de la simulación del modelo de dinámica de sistemas dicho modelado fue también realizado en Vensim en un periodo que abarca del 2010 al 2030.

Como se mencionó antes, gracias al constante análisis y el estudio del entorno es posible estructurar las bases teóricas que favorecen a la creación del modelo dicho modelo se puede apreciar a continuación (modelo) 4.3.3.1 este modelo fue utilizado para la elaboración del sistema de la bolsa de plástico biodegradable tanto en la energía en MJ como para las emisiones en miligramos ocurridas desde la obtención de las materias primas hasta su disposición final según los datos obtenidos el análisis de ciclo de vida elaborado por (BCAL), que fueron utilizados para la creación de dicho sistema.



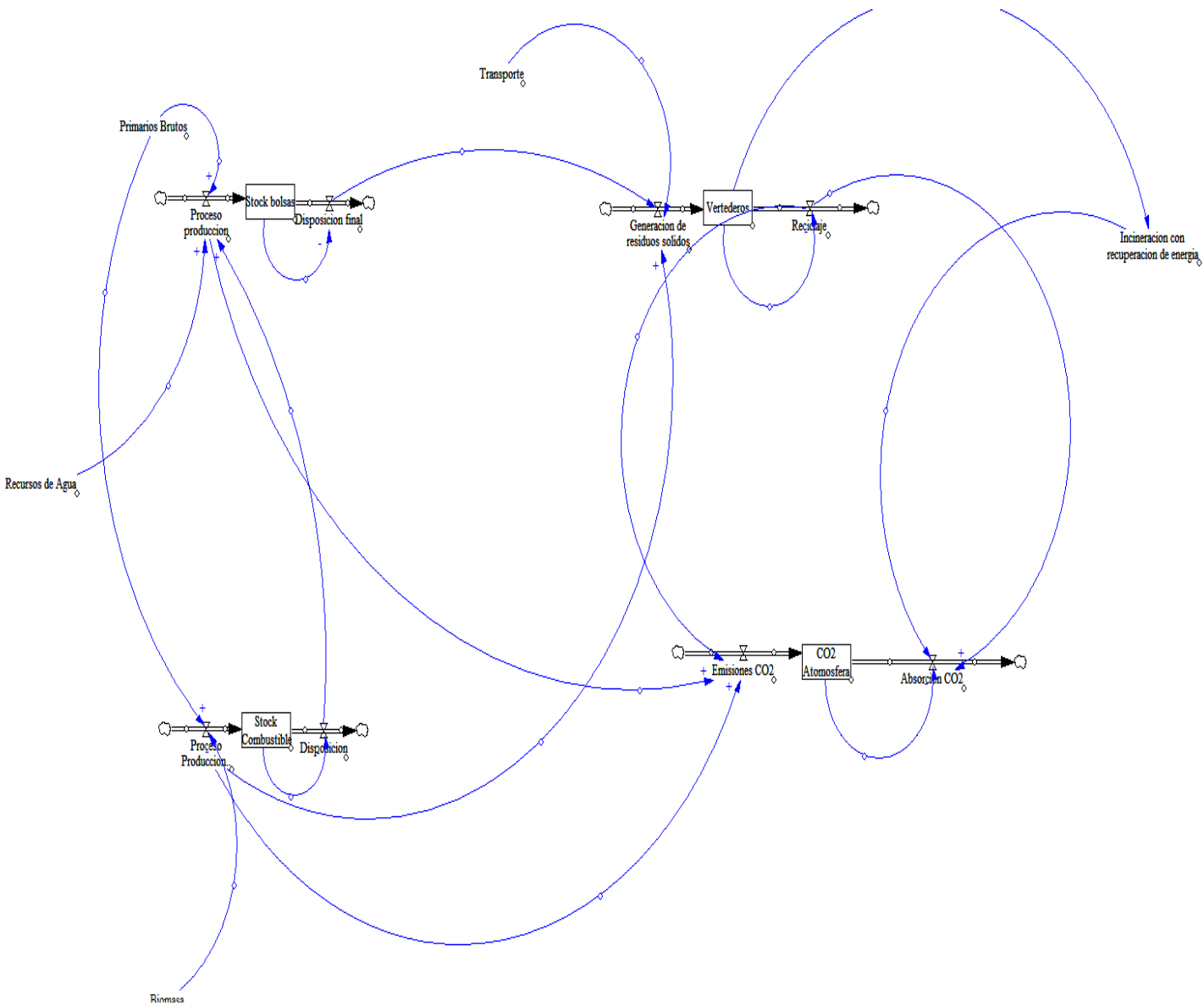


Tabla 4.3.2.2 Resultados obtenidos de la simulación del modelo del sistema de las bolsas de plástico biodegradables.

A continuación en la figura 4.3.3.1 cómo se mencionó previamente se muestra un diagrama de árbol donde se pueden apreciar las diferentes relaciones que existen en el modelo de las bolsas de plástico biodegradables en dicho árbol se pueden apreciar las diferentes variables de flujo auxiliares así como los niveles.

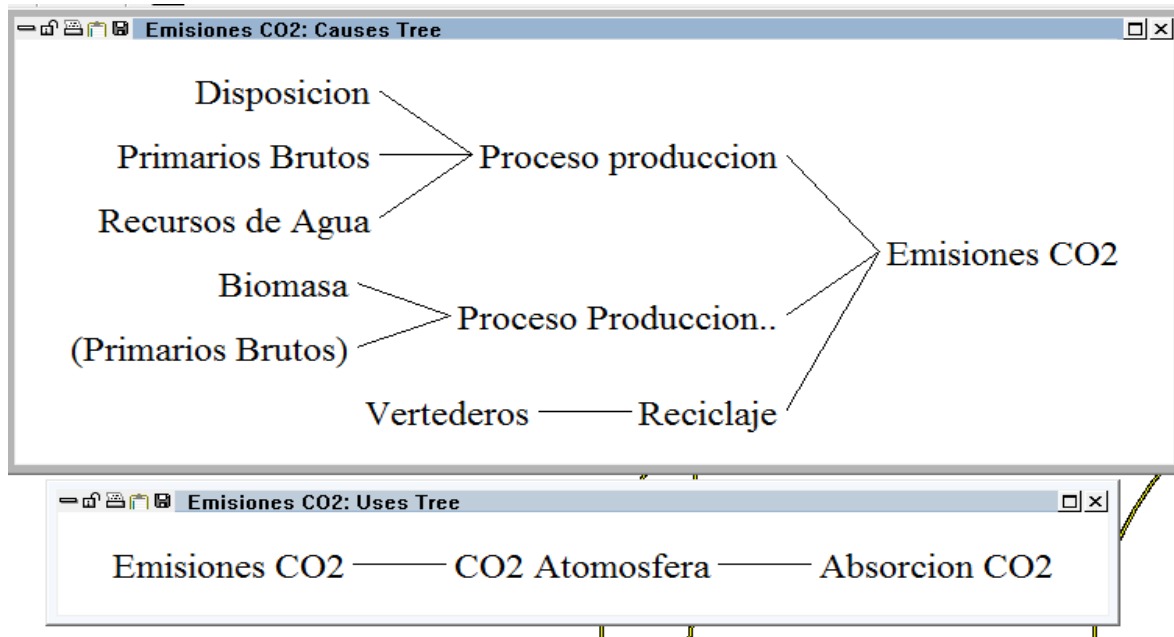
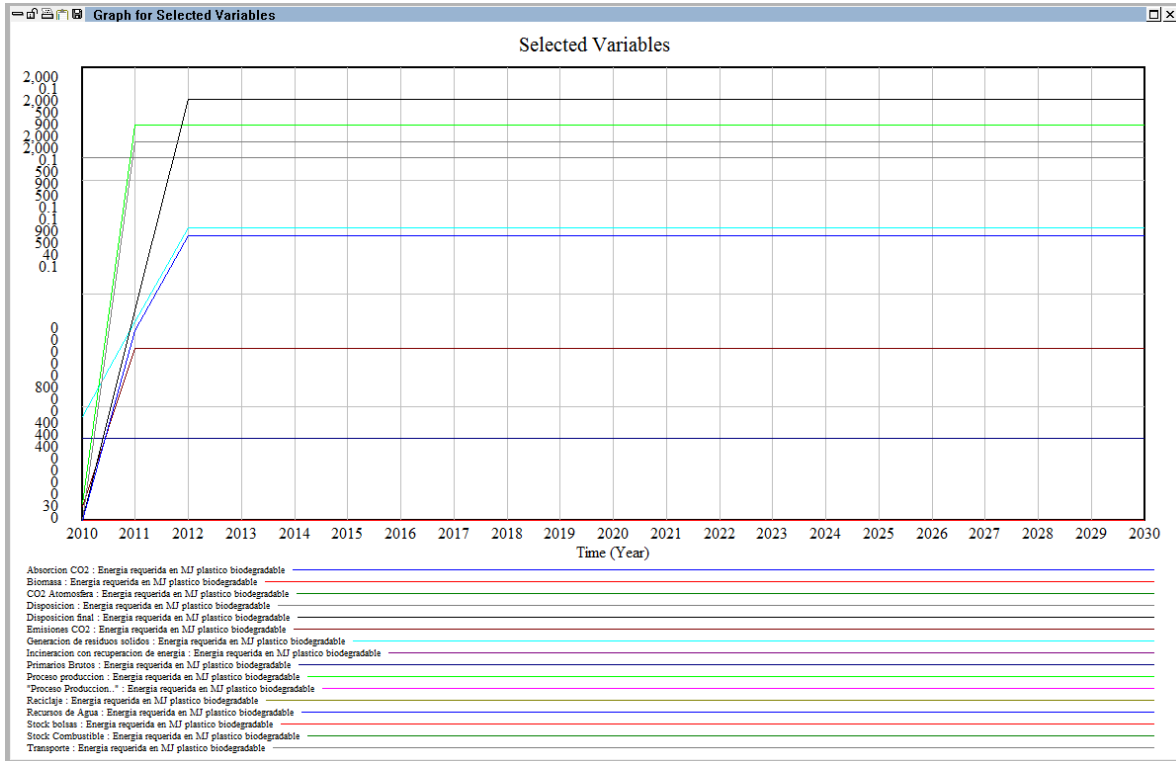


Figura 4.3.3.1 Diagrama de árbol de las relaciones existentes en el modelo de las bolsas de plástico biodegradables.

En la gráfica 4.3.3.1 se muestra la energía requerida en MJ necesaria para la creación de la bolsa de plástico biodegradable, los valores fueron tomados del LCA elaborado por (BCAL) dichos datos fueron introducidos en el modelo elaborado en el programa Vensim donde fue simulado en un periodo comprendido entre el 2010 al 2030. En dicha gráfica se muestra que dichos datos a diferencia de sus contrapartes el papel y la bolsa de plástico alcanzan un pico para mantenerse estables solo que a diferencia de sus contrapartes esta alcanza un pico en los 2000 MJ por debajo de la bolsa de papel pero este valor es más del doble que la bolsa de plástico reciclable.



Grafica 4.3.3.1 Energía requerida en (MJ) para el sistema de las bolsas de plástico biodegradables.

En la siguiente tabla 4.3.3.1 se muestra la energía requerida en MJ necesaria para la creación de la bolsa de plástico biodegradable al igual que en las tablas 4.3.2.1 y 4.3.1.1 se muestra en la primera columna todas las variables a examinar en el modelo elaborado en Vensim, en las siguientes columnas tenemos en la parte posterior los años que van aumentando este abarca del 2010 al 2030 como en cada uno de los sistemas examinados.

Table						
Time (Year)	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Stock bolsas	0	418	836	836	836	836
Stock Combustible	0	418	418	418	418	418
Transporte	38					
Vertederos	0	0	0	0	0	0
Selected Variables Runs: Energia requerida en MJ plastico biodegradable						
Absorcion CO2	0	836	1254	1254	1254	1254
Biomasa	0					
CO2 Atmosfera	0	836	1254	1254	1254	1254
Disposicion	0	418	418	418	418	418
Disposicion final	0	418	836	836	836	836
Emisiones CO2	836	1254	1254	1254	1254	1254
Generacion de residuos solidos	456	874	1292	1292	1292	1292
Incineracion con recuperacion de energia	418	0	0	0	0	0
Primarios Brutos	418					
Proceso produccion	418	836	836	836	836	836
"Proceso Produccion.."	418	418	418	418	418	418
Reciclaje	0	0	0	0	0	0
Recursos de Agua	0					
Stock bolsas	0	418	836	836	836	836
Stock Combustible	0	418	418	418	418	418
Transporte	38					
Vertederos	0	0	0	0	0	0

Table							
Time (Year)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Stock bolsas	836	836	836	836	836	836	836
Stock Combustible	418	418	418	418	418	418	418
Transporte	38						
Vertederos	0	0	0	0	0	0	0
Selected Variables Runs: Energia requerida en MJ plastico biodegradable							
Absorcion CO2	1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254
Biomasa	0						
CO2 Atmosfera	1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254
Disposicion	418	418	418	418	418	418	418
Disposicion final	836	836	836	836	836	836	836
Emisiones CO2	1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254
Generacion de residuos solidos	1292	1292	1292	1292	1292	1292	1292
Incineracion con recuperacion de energia	418	0	0	0	0	0	0
Primarios Brutos	418						
Proceso produccion	836	836	836	836	836	836	836
"Proceso Produccion.."	418	418	418	418	418	418	418
Reciclaje	0	0	0	0	0	0	0
Recursos de Agua	0						
Stock bolsas	836	836	836	836	836	836	836
Stock Combustible	418	418	418	418	418	418	418
Transporte	38						
Vertederos	0	0	0	0	0	0	0

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
836	836	836	836	836	836	836	836
418	418	418	418	418	418	418	418
38							
0	0	0	0	0	0	0	0
Energía requerida en MJ plástico biodegradable							
1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254
0							
1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254
418	418	418	418	418	418	418	418
836	836	836	836	836	836	836	836
1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254	1254
1292	1292	1292	1292	1292	1292	1292	1292
0	0	0	0	0	0	0	0
418							
836	836	836	836	836	836	836	836
418	418	418	418	418	418	418	418
0	0	0	0	0	0	0	0
0							
836	836	836	836	836	836	836	836
418	418	418	418	418	418	418	418
38							
0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.3.3.1 Datos obtenidos de la simulación sobre la energía requerida en (MJ) necesaria para el sistema de la bolsa de plástico biodegradable.

A continuación vamos a analizar el modelo 4.3.3.1 pero con nuevos valores datos que contienen las emisiones de aire en miligramos que surgen como resultado de las bolsas biodegradables desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final como lo indica el análisis de ciclo de vida dichos valores fueron tomados por el estudio de (LCA) realizado por (BCAL).

En la siguiente figura 4.3.3.2 se muestra el diagrama de árbol del sistema de las bolsas biodegradables como se puede observar se toma en cuenta el combustible la disposición y la extracción de las materias primas para el proceso de producción así como las emisiones que estos generan hasta su disposición final, dicho diagrama de árbol nos ayuda a comprender y analizar la veracidad de nuestro modelo.

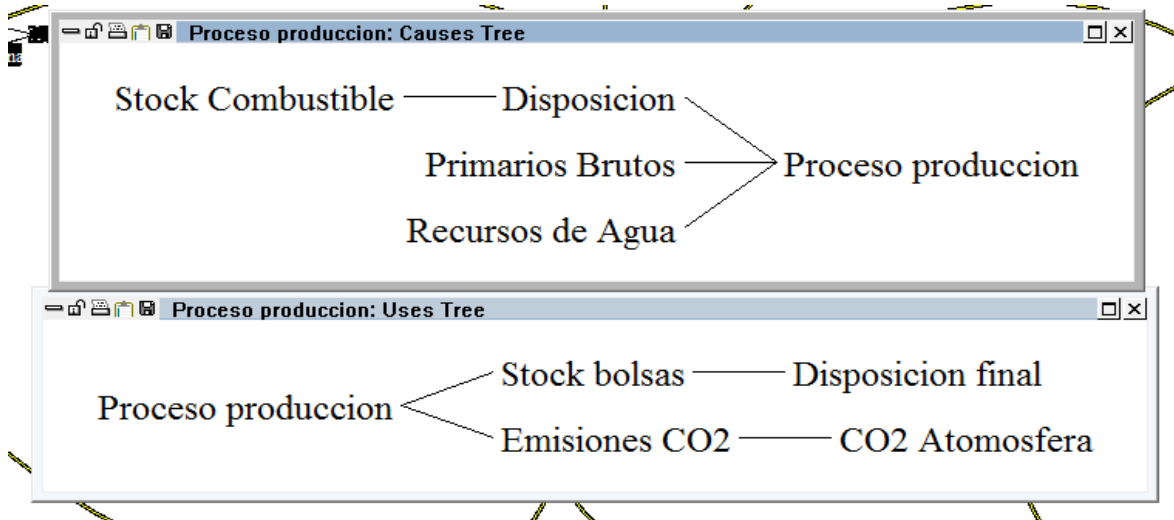
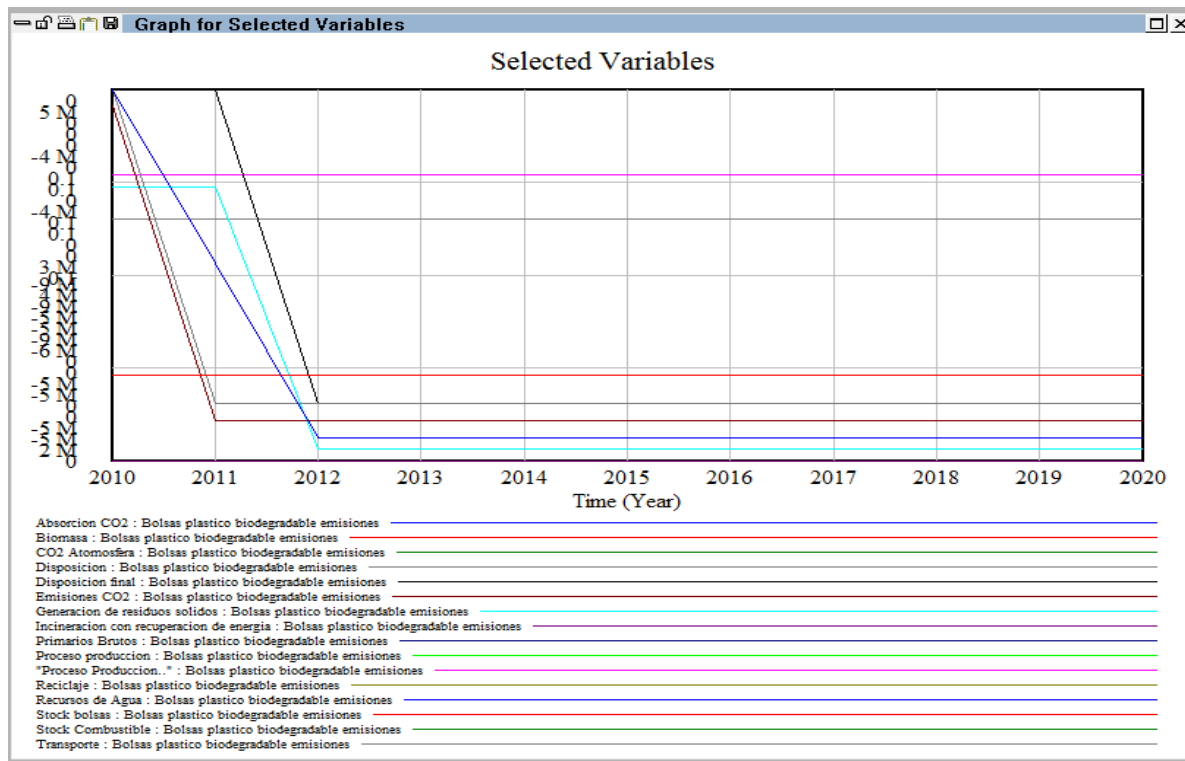


Figura 4.3.3.2 Relaciones en forma de diagrama de árbol de las relaciones del modelo de las bolsas biodegradables.

En la gráfica 4.3.3.2 se muestran los resultados de la simulación del modelo de las bolsas de plástico biodegradables en un periodo comprendido a diferencia de los anteriores de 2010 al 2020 como se puede apreciar en la imagen desde un inicio la cantidad de emisiones brutas de aire a la atmósfera parece insostenible por ende cae estrepitosamente con el pasar de los años.





	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006
	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006
	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006
	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006
	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006	-8.46e+006
5	-5.80902e+006	-5.80902e+006	-5.80902e+006	-5.80902e+006	-5.80902e+006	-5.80902e+006
	0	0	0	0	0	0
	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006
	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006
	0	0	0	0	0	0
	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006
	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006	-4.23e+006
	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.3.3.2 Datos obtenidos de la simulación sobre la energía requerida en (MJ) necesaria para el sistema de la bolsa de plástico biodegradable.



## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Los recientes esfuerzos alrededor del mundo y nuestro país por encontrar una solución ante los constantes problemas que acarrearán las bolsas de plástico a base de polietileno han orillado a algunos países y estados alrededor del mundo a la prohibición de las bolsas de plástico o a una posible transición a nuevas tecnologías y materiales. Esto ha incrementado el debate a nivel mundial, ¿son estas nuevas tecnologías y materiales mejores para el ambiente?

Gracias a los constantes estudios que se han realizado alrededor del mundo se cree que estas nuevas tecnologías crean un mayor daño para el ambiente.

Después de analizar algunos de los resultados presentados en este trabajo, entre ellos el análisis de ciclo de vida realizado por BCAL o estudios realizados por el (Science and Engineering, IIT – Delhi) muestran que las bolsas de plástico a base de polietileno generan menor carga para el ambiente contra sus contrapartes el papel reciclable al 30% o el plástico biodegradable PLA/Ecoflex.

En nuestro país también fue realizado un análisis de ciclo de vida por la (SEMARNAT) donde se mostró al igual que en el análisis de ciclo de vida realizado por BCAL y estudios realizados por el Instituto de Ingeniería de Delhi, que las diferentes alternativas que existen en la actualidad entre ellas las bolsas de papel y las bolsas biodegradables generan un daño más grande al ambiente desde la extracción de las materias primas necesarias para su creación hasta su disposición final.

Esta clase de resultados aumentan el debate tanto en nuestro país como a nivel mundial.

Es aún más sorprendente que en cada una de las categorías analizadas en dichos estudios se muestre que la tendencia es la misma para la mayoría de las categorías individuales. En ninguna categoría se mostró un menor impacto ambiental, ya sea para la bolsa de plástico biodegradable o para la bolsa de papel, únicamente el sistema de bolsa de papel parece ser capaz de proporcionar una ligera mejora en el uso de combustibles fósiles dado que la principal materia prima para su elaboración es la madera que es en un 50% agua, dicha mejora es posible únicamente si el sistema de bolsa de plástico utiliza es en realidad 1.5 bolsas de plástico por cada bolsa de papel. Si esta suposición no puede ser soportada, entonces el sistema de la bolsa de papel no proporcionaría incluso una ligera ventaja, aunque esta ventaja es un tanto efímera dado que los combustibles utilizados tanto en el proceso como en la disposición final son mucho mayores sobrepasando así los usados por la bolsa de plástico.

Sin mencionar la bolsa de plástico biodegradable que utiliza más del doble de combustibles fósiles que su contra parte el plástico a base de polietileno por ende no solo genera más emisiones brutas de aire para el ambiente si no que reduce más las reservas de combustibles fósiles, a pesar de que esta puede también estar elaborada por resinas vegetales, la elaboración de la misma requiere de combustibles, energía eléctrica y agua que como se puede apreciar en las tablas del análisis de ciclo de vida 4.2.4 a 4.2.8, la bolsa de plástico a base de polietileno utiliza cantidades significativamente menores que los otros dos tipos de bolsas en estudio.

Pero esto no es solo es un tema de tipo ambiental como podemos apreciar la cantidad de materia prima requerida para la creación de las bolsas como los insumos necesarios es un tema a analizar dado que la cantidad de energía eléctrica, agua y combustibles que es necesaria desde la extracción hasta la disposición final de las mismas es mucho mayor por ende es de suponerse que los gastos de las misma son mucho mayores afectando no solo a las empresas si no a su vez a los mismo consumidores que se ven afectados por el alza de los precios para que las empresas puedan seguir con la elaboración de la mismas y seguir obteniendo réditos, este es un tema muy importante por que como se puede apreciar ya no es solo una categoría si no que ahora bien afecta el aspecto tanto económico social y ambiental afectando el desarrollo sustentable esto bien nos indica que los avances tecnológicos en esta materia no van por buen camino o que es necesario corregir la línea de investigación o la creación de nuevos medios de disposición final en conjunto con el apoyo de la sociedad en un rehusó de las mismas o en nuevas políticas que generen realmente un beneficio tanto para la economía de la sociedad y de las industrias como para el ambiente creando así un verdadero desarrollo sustentable.

Uno de los principales detonantes para creer que las bolsas biodegradables son mejores para el ambiente sobre las bolsas de plástico a base de polietileno es que estas se degradan en un periodo más corto de tiempo pero como se puede ver en este trabajo hay que tomar en cuenta no solo el producto final ya que estos resultados pueden parecer lo contrario a lo que la intuición o lo que las apariencias nos pudieran indicar, dado que la cantidad de materias primas que es usada en el proceso es mucho mayor que la que es usada en las bolsas de plástico a base de polietileno y no solo eso en todo el proceso la generación de residuos sólidos que se da como resultado de toda la operación es mucho mayor tanto en las bolsas biodegradables como en las bolsas de papel.

Actualmente, más cantidad de espacios se están dedicando a la eliminación de los desechos sólidos, y la falta de contención adecuada en instalaciones de residuos sólidos esto está causando problemas en términos de contaminación del suelo y la contaminación del agua.

Los resultados del estudio apoyan la conclusión de que la decisión de prohibir las bolsas de plástico de polietileno tradicionales en favor de bolsas hechas de materiales alternativos (plástico biodegradable o papel reciclado) será contraproducente y como resultado se dará un aumento significativo de los impactos ambientales a través de una serie de categorías, desde calentamiento global y efectos a la utilización de los valiosos recursos de agua potable, forestales nuevos problemas por la generación de residuos sólidos y un desbalance a nivel mundial no solo en materia ambiental sino también en materia económica y social

## Recomendaciones

Es muy importante tanto que las instituciones gubernamentales, como las empresas analicen los resultados obtenidos por el análisis de ciclo de vida como la simulación que se pudo elaborar gracias a la dinámica de sistemas y el modelo elaborado en el programa Vensim dado que estos nos ayudan a tener una mejor perspectiva dentro del entorno de las bolsas de plástico a base de polietileno que a diferencia de lo que las apariencias nos indican estas pueden ser una mejor opción que las nuevas alternativas que han surgido como son las bolsas biodegradables o su antecesor el papel, tanto en términos ambientales como en aspectos económicos aunque no se mencionan cifras, como se mencionó previamente es de suponerse dado que estos necesitan tanto más materias primas, agua, energía eléctrica y combustibles fósiles para la creación de las mismas. Sin hablar de las políticas de tala tanto de bosques y sembradíos. Fuente indispensable para la absorción de CO<sub>2</sub>.

Aunque, en parte de este estudio, en particular el análisis de ciclo de vida y en los modelos elaborados en la dinámica de sistemas no se habla de las bolsas de tela o jute en algunos otros estudios han llegado a existir resultados favorables pero de la mano de cambios en el comportamiento del consumidor final, dado que este no es solo un problema de las fábricas o de las legislaturas elaboradas por el gobierno, este es un problema también del consumidor final. Si los comportamientos de consumo no cambian, y las leyes de prohibición de un tipo de bolsa sean aprobadas simplemente significara que estos materiales serán remplazados por otros nuevos y que como vimos en este estudio materiales que son más nocivos para el ambiente afectado el desarrollo sustentable, esto significa que no solo el perjudicado será el ambiente si no la economía de las personas al igual que en las empresas dado que en un periodo de tiempo no muy lejano no se encontraran los insumos necesarios para la creación de las mismas llevando así a una fase del sistema.

Los modelos creados han seguido la metodología de la Dinámica de Sistemas, sus resultados son válidos y consistentes para el corto plazo. En este sentido, si el estudio se deseara realizar a un mayor plazo, se requeriría de más información, de considerar nuevos criterios asociados al dinamismo del entorno y a la volatilidad del mercado, sin menoscabo del impacto ambiental.

Deben crearse nuevas líneas de investigación, para el desarrollo de nuevas tecnologías para la creación de materiales más amigables para la naturaleza en todo sentido desde la recolección de la materia prima hasta su disposición final, la adopción de una nueva cultura de consumo enfocada al rehusó de las actuales bolsas de plástico a base de polietileno logrando así que estas no solo sean elaboradas para un solo uso. Junto con el esfuerzo por parte del gobierno tanto de municipios estados y países por proporcionar la infraestructura necesaria para la correcta contención de las bolsas de polietileno para que estas sean localizadas en los lugares adecuados para su depósito, sin afectar colinas ríos y mares.

Se deben de proporcionar los recursos necesarios para continuar con el estudio de nuevas tecnologías de reciclaje e incineración con recuperación de energía más eficientes.

Es por todo esto que no se debe hacer una transición a corto plazo entre las materias primas para la elaboración de las bolsas de supermercado, se debe de realizar un rediseño del sistema analizar los datos que se muestran tanto en el análisis de ciclo de vida como en el modelo de dinámica de sistemas y antes de plantear nuevas legislaturas de prohibición elaborar, talleres de concientización así como de consumo, para educar al consumidor final y realmente ejercer un cambio de raíz.

Como un primer esfuerzo de realización de un trabajo de investigación, me gustaría recomendar que los estudiantes de Ingeniería Industrial conozcan más acerca de la Dinámica de Sistemas, ya que proporciona el marco metodológico para el análisis, organización de información, además de ser una base para determinar su utilidad en el mejoramiento de nuevos procesos, en el ámbito público y privado.

Asimismo, me gustaría invitar que los estudiantes y profesionistas tengan la iniciativa de fomentar su aprendizaje fuera de las aulas, ya que las instituciones educativas requieren cada vez más, de contar con software educativo, complementado con los medios impresos que permitan potencializar su desarrollo.

Finalmente, esta tesis contribuye al mejoramiento de conocimientos en los campos disciplinarios de la Ingeniería de Sistemas, Conformado de Materiales, Aplicaciones y Propiedades de la Materia y Logística.

## Referencias bibliográficas

Private communication between PBA member and Weyerhaeuser, June 2007.

Report by Centre for Polymer Science and Engineering, IIT – Delhi

Focus on “Biobased,” “Biodegradable,” and “Compostable” Plastics, Department of Ecology State of Washington, August 2014.

Valoración económica del ambiente, Ing. Agr. Daniel Tomasini, Departamento de Economía, Desarrollo y Planteamiento Agrícola.

Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria, Iñaki Morlán Santa Catalina, San Sebastian, Septiembre 2010.

Seminario de Dinámica de sistemas, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Málaga.

Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático, Naciones Unidas, 1998

Plastic Debris in the Worlds Oceans, Michelle Allsopp, Adam Walters, David Santillo, and Paul Johnston.

Redefining pollution plastics in the wild, Max Liboiron, 2012

Plastic Waste to Wealth Potential, Neha Sinha, Department of Mechanical Engineering, Delhi Technological University.

Plastic Bags, House of Commons Environmental Audit Committee, Eleventh Report of Session 2013-14, 2014.

Modelización y simulación de sistemas complejos, Antonio Caselles Moncho, Universidad de valencia.

Modeling Dynamic Economic Systems, Second Edition, Matthias Ruth and Bruce Hannon, Springer, 2012.

Manual de Medio Ambiente y Comercio, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Division de Tecnología, Industria y Economía Servicio de Economía y Comercio e Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible, 2005.

Material on Plastic Waste Management, Central Pollution Control Board, Delhi, June 2012.

Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags, Progressive Bag Alliance, Chet Chaffee and Bernard R. Yaros, Boustead Consulting and Associates Ltd.

World Jute and Kenaf Statistics: at a Glance, International Jute Study Group (IJSJG), 2012.

Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics, 2013

Estudio comparativo de bolsas de plástico degradables versus convencionales mediante la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida, M. en I. Guillermo Encarnación Aguilar, SEMARNAT, 2010.

Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tercera edición, William F. Smith, 1999.

Plastics – the Facts 2013 An analysis of European latest plastics production, demand and waste data, PlasticsEurope, 2013.

Dinámica de Sistemas Elementos y estructura de un modelo, Javier Torrealdea.

Vigilancia Tecnológica Aplicada para identificar tendencias tecnológicas en los biopolímeros y plásticos biodegradables, Iber James Quiñones, 2009.

Confused by the terms Biodegradable and Biobased, BPI Biodegradable Products Institute.

Uso eficiente de energía, desarrollo sustentable y conservación de recursos naturales no renovables, el caso de las bolsas de polietileno versus la utilización de otros materiales, Barbara Margarita Ramirez, 2010.

Arquetipo de la naturaleza estocástica de la evolución de los precios petroleros, Armando Córdova, 2004

Estándar for Aerobic, David Tushie, 2012

Municipal Solid Waste in the USA: 2005 Facts & Figures, USEPA, Office of Solid Waste, EPA530-R-06-011, October 2006.

Boustead, I. Eco-profiles of the European plastics industry: Report 3 – polyethylene and polypropylene. A report for the European Centre for Plastics in the Environment (PwMI), Brussels, May 1993. Revised 1999.

Vink, E. T. H., Rabago, K. R., Glassner, D. A., Gruber, P. R, Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production. Polymer Degradation and Stability 80 (2003) Elsevier, The Netherlands.

Robinson, W. D., *The Solid Waste Handbook*, John Wiley & Sons, New York, 1986.

Methane Emissions, Energy Information Administration/Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2001.

Evaluation of the Performance of Rigid Plastic Packaging Containers, Bags, and Food Service Packaging in Full Scale Commercial Composting. California State University, Chico Research Foundation. 2007. Prepared for the California Integrated Waste Management Board under Contract IWM-C2061.

EPA of Polyethylene and Unbleached Paper Grocery Sacks, Prepared for the Solid Waste Council, Franklin Associates Report, June 1990.

Life Cycle Inventory of Packaging Options For Shipment of Retail Mail-order Soft Goods, Prepared For Oregon Dept. of Environmental Quality (DEQ) and U.S. EPA Environmentally Preferable Purchasing Program, Franklin Associates, 2004.

Dinámica de Sistemas, Javier Aracil, 1996.

Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework, ISO 14040, Second edition, 2006.