



Departament d'Enginyeria Química
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

DESARROLLO METODOLÓGICO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL EN EL ANÁLISIS DE PROCESOS

Memoria presentada por
Israel Herrera Orozco
para optar al título de
Doctor por la Universitat Rovira i Virgili

Tarragona, Febrero de 2004

Composició del tribunal:

Dr. Azael Fabregat Llangostera
Catedràtic d'Universitat
Departament d'Enginyeria Química
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
Universitat: Rovira i Virgili

Dr. Jordi Gavaldà Casado
Titular d'Universitat
Departament d'Enginyeria Química
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
Universitat: Rovira i Virgili

Dr. Juan Ignacio Montero
Investigador
Departament de Tecnologia Hortícola
Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries

Dr. Antonio España Camarasa
Titular d'Universitat
Departament d'Enginyeria Química
Universitat Politècnica de Catalunya

Dr. Manel Poch
Catedràtic d'Universitat
Departament d'Enginyeria Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentaria
Universitat de Girona

Por Edith y Camilo:

Fuerza que impulsa en los momentos difíciles,

Luz que ilumina en la oscuridad

Bálsamo que alivia en el sufrimiento

Seguridad para continuar

A la memoria de mi padre:

Crispi, por tu recuerdo

Para mi madre y hermanos

Ely, Richard, Diego, Mary, Fercho y Aleja

Es su confianza en mí, lo que siempre me ha hecho llegar hasta el final

“.....Solo después de que el último árbol sea cortado
solo después de que el último río sea envenenado
solo después de que el último pez sea apresado
solo entonces, sabrás que el dinero no se puede comer....”

Profecía india

“Todo lo que sueñes se puede hacer realidad. Aunque a lo largo de la vida, te encuentres con ladrones de sueños, esos que te hacen creer que es imposible lograr

*lo que te has propuesto, si tienes paciencia, convicción y sobre todo perseverancia
lo conseguirás”.*

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido posible gracias a un gran número de personas, sin las cuales no habría podido llegar hasta aquí. Es muy difícil mencionarles uno por uno, sin embargo, intentaré mostrar mi agradecimiento a todos ellos:

A Dios..... por todo

A Edith por ser madre y padre en los momentos en que yo sólo podía ser doctorando.

A Camilo por su inagotable imaginación que me ha hecho cambiar más de un paradigma

A Marta y Francesc, por la oportunidad brindada y la dirección del trabajo de investigación.

A los becarios de doctorado, por la amistad, el respeto y la ayuda incondicional. A Toño, Guillermo y sus familias, por la compañía y el apoyo. A Luiz Kulay, por el soporte técnico en el desarrollo de la metodología

A los estudiantes de la asignatura *Laboratorio de investigación*, por la oportunidad de aprender, intentando enseñarles como investigar.

Al Personal del Departamento de Ingeniería Química, por la acogida y la posibilidad de trabajar juntos. ¿Qué sería de nosotros sin Dolors, Nuria, Sam, Alex o Toni?

Al grupo de fútbol de los lunes, por esa adecuada válvula de escape, cuando la presión aumenta.

A la Universitat Rovira i Virgili, por las ayudas y las oportunidades.... ganadas o perdidas

A Tarragona, por enseñarme la belleza del mar aún en invierno.

A tot arreu, perquè aquesta ha estat una de les millors èpoques de la meua vida.

Israel

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| TABLA DE CONTENIDO..... | i |
| LISTA DE TABLAS..... | v |
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| RESUMEN..... | xi |
| SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN AL TEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 1 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO..... | 3 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.2 ASPECTOS GENERALES..... | 4 |
| 1.2.1 Tendencias actuales y estado del arte del tema en estudio..... | 6 |
| 1.2.2 Hipótesis general..... | 8 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 9 |
| 1.3.1 Objetivo general..... | 9 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 9 |
| 1.4 DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO..... | 10 |
| REFERENCIAS..... | 12 |
| SECCIÓN II: FUNDAMENTOS DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN..... | 15 |
| 2 BASES TEÓRICAS..... | 17 |
| 2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA..... | 17 |
| 2.1.1 Definición de objetivos y alcance..... | 20 |
| 2.1.2 Análisis de inventario..... | 20 |
| 2.1.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA)..... | 21 |
| 2.1.4 Interpretación..... | 23 |
| 2.1.5 Análisis de mejoras..... | 24 |
| 2.2 DESTINO Y EXPOSICIÓN DE CONTAMINANTES..... | 26 |
| 2.2.1 Evaluación del destino..... | 26 |
| 2.2.2 Evaluación de la exposición..... | 27 |
| 2.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL (ERA)..... | 29 |
| 2.3.1 Evaluación de Riesgos a la salud humana (ERSH)..... | 31 |
| 2.3.2 Evaluación de Riesgos Ecológicos (ERE)..... | 31 |
| 2.4 EVALUACIÓN DE DAÑO AMBIENTAL..... | 32 |
| 2.5 ANÁLISIS DE PROCESOS..... | 35 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 2.5.1 | Diseño de procesos..... | 35 |
| 2.5.2 | Ecodiseño ó diseño para el medio ambiente (DfE)..... | 36 |
| 2.6 | EVALUACIÓN DEL COSTE TOTAL..... | 39 |
| 2.7 | TOMA DE DECISIONES AMBIENTALES..... | 44 |
| | REFERENCIAS..... | 47 |
| | | |
| 3. | DESARROLLO, EVOLUCIÓN Y APLICACIÓN DE METODOS EXISTENTES..... | 52 |
| 3.1 | EVALUACIÓN AMBIENTAL..... | 52 |
| 3.1.1 | Evaluación del impacto ambiental..... | 53 |
| 3.1.2 | Evaluación ambiental de procesos industriales..... | 55 |
| 3.1.3 | Evolución de la Inclusión de diferentes niveles en la evaluación ambiental..... | 56 |
| 3.2 | MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE PROCESOS..... | 58 |
| 3.2.1 | Aspectos generales del análisis de procesos..... | 59 |
| 3.2.2 | Evolución del análisis de procesos desde una perspectiva ambiental..... | 61 |
| | REFERENCIAS..... | 63 |
| | | |
| | SECCIÓN III: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 67 |
| | | |
| 4. | METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y/O DISEÑO AMBIENTAL DE PROCESOS (MADAP)..... | 69 |
| 4.1 | DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE..... | 71 |
| 4.1.1 | Nivel de la evaluación ambiental..... | 72 |
| 4.1.2 | Nivel de la diferenciación espacial..... | 74 |
| 4.1.3 | Definición de las fronteras del sistema..... | 76 |
| 4.1.4 | Información básica para el análisis de procesos..... | 76 |
| 4.2 | TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN DEL ANÁLISIS DE PROCESOS A LA EVALUACIÓN AMBIENTAL (INTERFAZ)..... | 78 |
| 4.2.1 | Identificación de variables..... | 80 |
| 4.2.2 | Definición de la interconexión..... | 81 |
| 4.2.3 | Captura y envío de datos..... | 82 |
| 4.3 | INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DEL PROCESO..... | 83 |
| 4.3.1 | Definición de los escenarios a evaluar..... | 84 |
| 4.3.2 | Cuantificación de recursos naturales, materiales necesarios y descargas..... | 84 |
| 4.3.3 | Evaluación de posibles descargas puntuales (accidentes)..... | 85 |
| 4.3.4 | Reporte de los resultados del inventario..... | 86 |
| 4.3.5 | Análisis del inventario del ciclo de vida de un proceso..... | 88 |
| 4.3.6 | Relación de las cargas ambientales con posibles daños..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| 4.4 EVALUACIÓN DEL DESTINO Y EXPOSICIÓN..... | 89 |
| 4.4.1 Caracterización de sustancias provenientes del inventario..... | 93 |
| 4.4.2 Caracterización del entorno..... | 96 |
| 4.4.3 Aplicación de cartografía en la diferenciación espacial..... | 97 |
| 4.4.4 Estimación de la exposición..... | 97 |
| 4.5 ANALISIS DE DOMINANCIA..... | 99 |
| 4.5.1 Etapas del proceso con una mayor carga ambiental..... | 100 |
| 4.5.2 Determinación de los compartimentos predominantes..... | 100 |
| 4.6 DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE EFECTOS..... | 100 |
| 4.6.1 Selección de categorías de indicadores de categorías y unidades..... | 102 |
| 4.6.2 Cuantificación de efectos (riesgos e impactos)..... | 105 |
| 4.7 ESTIMACIÓN DE DAÑOS..... | 108 |
| 4.8 TOMA DE DECISIONES CON BASE EN CRITERIOS AMBIENTALES..... | 109 |
| 4.8.1 Objetivos de la toma de decisiones..... | 110 |
| 4.8.2 Diferenciación de alternativas..... | 110 |
| 4.8.3 Análisis de las alternativas..... | 110 |
| 4.8.4 Comparación de las alternativas..... | 110 |
| 4.8.5 Valoración de la incertidumbre..... | 111 |
| 4.8.6 Elección de las alternativas..... | 112 |
| REFERENCIAS..... | 113 |
| | |
| 5. CASOS DE APLICACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... | 117 |
| 5.1 INCINERADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS..... | 118 |
| 5.1.1 Resumen..... | 118 |
| 5.1.2 Descripción del proceso..... | 118 |
| 5.1.3 Simulación del proceso..... | 119 |
| 5.1.4 Transferencia de información..... | 125 |
| 5.1.5 Análisis ambiental del proceso..... | 129 |
| 5.1.6 Discusión de resultados..... | 135 |
| 5.2 SISTEMAS DE SEPARACIÓN..... | 136 |
| 5.2.1 Resumen..... | 136 |
| 5.2.2 Desarrollo metodológico..... | 137 |
| 5.2.3 Resultados..... | 138 |
| 5.2.4 Discusión de los resultados..... | 159 |
| 5.3 PROCESO ISOPENTANO-NAFTA..... | 161 |
| 5.3.1 Introducción..... | 161 |
| 5.3.2 Objetivos y alcances..... | 162 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.3 Modelo del proceso y transferencia de información..... | 166 |
| 5.3.4 Análisis técnico y económico del proceso..... | 174 |
| 5.3.5 Análisis del Inventario..... | 176 |
| 5.3.6 Evaluación del destino y exposición..... | 182 |
| 5.3.7 Determinación del perfil de efectos..... | 190 |
| 5.3.8 Estimación de daños..... | 196 |
| 5.3.9 Toma de decisiones para la alternativas evaluadas..... | 199 |
| 5.3.10 Discusión de resultados..... | 204 |
| REFERENCIAS..... | 207 |
| | |
| 6. CONCLUSIONES, LECCIONES APRENDIDAS Y TRABAJO FUTURO..... | 209 |
| 6.1 CONCLUSIONES..... | 209 |
| 6.2 LECCIONES APRENDIDAS..... | 211 |
| 6.3 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS..... | 211 |
| 6.3.1 Automatización de la metodología..... | 211 |
| 6.3.2 Integración con herramientas de retrofit de procesos | 212 |
| 6.3.3 Aplicación de la metodología en otros estudios..... | 212 |
| | |
| ANEXOS..... | 215 |
| CURRICULUM VITAE..... | 285 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 2.1 Receptores, mecanismos y fuentes de emisión de contaminantes..... | 27 |
| Tabla 2.2 Ejemplos de costes considerados como Overheads..... | 42 |
| Tabla 4.1 Síntesis de los modelos de evaluación del destino de sustancias..... | 75 |
| Tabla 4.2 Configuración general de la matriz de tecnología a partir del inventario..... | 88 |
| Tabla 4.3. Rangos de aplicación del criterio de persistencia en los diferentes medios..... | 94 |
| Tabla 4.4 Rango de aplicación de la bioacumulación | 94 |
| Tabla 4.5 Rango de aplicación del criterio de toxicidad. ChV expresado en mg/l..... | 95 |
| Tabla 4.6 Incidencia de las propiedades sobre la caracterización de sustancias..... | 95 |
| Tabla 4.7 Definición de indicadores de categorías como intermedios y de punto final..... | 103 |
| Tabla 5.1. Composición de la corriente de entrada al reactor de combustión..... | 123 |
| Tabla 5.2. Condiciones de operación en la simulación del proceso de incineración..... | 123 |
| Tabla 5.3. Composición y caudal másico de las corrientes del proceso..... | 124 |
| Tabla 5.4. Balance de cargas ambientales del proceso de incineración..... | 133 |
| Tabla 5.5. Condiciones de operación del proceso de separación de Propileno..... | 140 |
| Tabla 5.6. Condiciones de operación del proceso de separación de Etanol..... | 140 |
| Tabla 5.7. Composiciones de la mezcla inicial simuladas con el modelo..... | 145 |
| Tabla 5.8. Principales corrientes del proceso (modelo simulado)..... | 145 |
| Tabla 5.9. Requerimientos energéticos con las condiciones establecidas de proceso..... | 145 |
| Tabla 5.10. Producción de Propileno (líquido / vapor) a partir de la mezcla original..... | 146 |
| Tabla 5.11. Consumo de agua en función de la composición de la mezcla original..... | 147 |
| Tabla 5.12. Alternativas de proceso para comparación..... | 148 |
| Tabla 5.13. Carga ambiental por alternativa..... | 149 |
| Tabla 5.14. Eco-vector del proceso original..... | 149 |
| Tabla 5.15. Comparativa de las cargas ambientales de los escenarios desarrollados..... | 150 |
| Tabla 5.16. Composiciones de la mezcla de alimento..... | 152 |
| Tabla 5.17. Flujo másico de las principales corrientes del proceso..... | 152 |
| Tabla 5.18. Requerimientos energéticos del proceso de destilación (Etanol-Agua)..... | 152 |
| Tabla 5.19. Variación de la producción de Etanol y del consumo de energía..... | 153 |
| Tabla 5.20. Escenarios de generación de energía..... | 154 |
| Tabla 5.21. Carga ambiental por alternativa de generación energética..... | 155 |
| Tabla 5.22. Localización de cargas (allocation)..... | 156 |
| Tabla 5.23. Eco-vector por escenario de evaluación | 156 |
| Tabla 5.24. Discriminación del consumo de agua por escenario y etapa..... | 157 |
| Tabla 5.25. Discriminación de Monóxido de carbono por escenario y etapa..... | 157 |
| Tabla 5.26. Discriminación de la emisión de Óxidos de Azufre por escenario y etapa..... | 158 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 5.27. Discriminación de la emisión de Óxidos de Nitrógeno por escenario y etapa..... | 158 |
| Tabla 5.28 Corrientes de proceso tenidas en cuenta para el análisis..... | 165 |
| Tabla 5.29 Consumos de materias primas y recursos naturales..... | 173 |
| Tabla 5.30 Consumos de recursos energéticos..... | 173 |
| Tabla 5.31 Escenarios para la evaluación ambiental del proceso..... | 174 |
| Tabla 5.32 Resumen general de la caracterización técnica..... | 175 |
| Tabla 5.33 Resumen general de la caracterización económica de equipos..... | 176 |
| Tabla 5.34 flujos de materia y energía del escenario 1..... | 177 |
| Tabla 5.35. Eco-vector de cargas ambientales por escenario evaluado..... | 17 |
| Tabla 5.36 Propiedades fisicoquímicas de las sustancias emitidas por el proceso..... | 177 |
| Tabla 5.37 Coeficientes de partición de las sustancias a evaluar su destino..... | 184 |
| Tabla 5.38 Características de los compartimientos Global y Local para un entorno genérico.. | 184 |
| Tabla 5.39. Matriz de destino (ecomedia) para el escenario 5..... | 186 |
| Tabla 5.40. Matriz de destino (ecomedia) para el escenario 6..... | 187 |
| Tabla 5.41. Matriz de destino (ecomedia) para el escenario 7..... | 187 |
| Tabla 5.42. Matriz de destino (ecomedia) para el escenario 8..... | 187 |
| Tabla 5.43. Impactos potenciales de los escenarios estudiados..... | 185 |
| Tabla 5.44. Clasificación de efectos, categorías de impacto y sus unidades..... | 191 |
| Tabla 5.45. Relación entre la concentración en el medio y el riesgo de una sustancia..... | 192 |
| Tabla 5.46. Impactos potenciales de los escenarios estudiados..... | 194 |
| Tabla 5.47 Impactos específicos por unidad de energía generada..... | 195 |
| Tabla 5.48. Daños ambientales en costes monetarios por unidad de energía producida..... | 196 |
| Tabla 5.49 Potencial de efecto invernadero en geq de CO ₂ anual..... | 198 |
| Tabla 5.50. Ejemplos de los costes tipo III y IV para los escenarios evaluados..... | 200 |
| Tabla 5.51. Comparativa de inventario por escenario..... | 202 |
| Tabla 5.52. Comparativa de los escenarios por categoría de impacto..... | 203 |
| Tabla 5.53. Clasificación de escenarios por incidencia ambiental..... | 203 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|------|
| Figura 0.1 Esquema general de evaluación ambiental en el análisis de procesos..... | xii |
| Figura 0.2 Aspectos generales del análisis de procesos..... | xii |
| Figura 0.3 Fases de la evaluación ambiental de un proceso..... | xiii |
| Figura 0.4 Aspectos de comparación en la evaluación ambiental de procesos..... | xiv |
| Figura 2.1 Fases del análisis de ciclo de vida..... | 19 |
| Figura 2.2 Diagrama esquemático de la metodología de análisis de ciclo de vida..... | 20 |
| Figura 2.3 Esquema de la metodología del TCA | 41 |
| Figura 2.4 Ciclo del análisis de Decisiones..... | 45 |
| Figura 3.1 Desarrollo consecutivo de los niveles de detalle en la evaluación ambiental..... | 59 |
| Figura 3.2 Relación entre la simulación, la síntesis y el diseño de procesos..... | 60 |
| Figura 4.1 Esquema metodológico de evaluación ambiental en el análisis de procesos..... | 70 |
| Figura 4.2 Diagrama esquemático para la definición de objetivos y alcances..... | 72 |
| Figura 4.3. Etapas de la transferencia de información..... | 79 |
| Figura 4.4 Mecanismo de transferencia de información..... | 79 |
| Figura 4.5 Diagrama esquemático para la obtención del inventario del proceso..... | 83 |
| Figura 4.6 Relación entre etapas, cargas y efectos..... | 89 |
| Figura 4.7 Pasos para la evaluación del destino y exposición..... | 90 |
| Figura. 4.8 Resultados de la evaluación del destino y exposición de sustancias..... | 91 |
| Figura 4.9 Perfil de efectos a partir del inventario y destino..... | 101 |
| Figura 4.10 Funciones dosis-respuesta para contaminantes cancerígenos y no-cancerígenos.. | 102 |
| Figura 4.11 Caracterización y clasificación de indicadores intermedios y finales..... | 104 |
| Figura 4.12 Determinación del perfil de daños..... | 109 |
| Figura 4.13 Toma de decisiones con criterios ambientales en el análisis de procesos..... | 109 |
| Figura 5.1 Figura 5.1. Diagrama esquemático de la Planta de incineración de residuos..... | 119 |
| Figura 5.2 Subsistemas del proceso de incineración..... | 121 |
| Figura 5.3. Composición del residuo urbano..... | 122 |
| Figura 5.4 Diagrama de Flujo del Proceso de Incineración, simulado en HysysPlant..... | 124 |
| Figura 5.5. Diagrama esquemático de la transferencia de información Hysy-Excel..... | 126 |
| Figura 5.6 Estructura interconexión Excel - TEAM™..... | 127 |
| Figura 5.7 Interfaz de transferencia..... | 128 |
| Figura 5.8. Módulos del proceso de incineración para el sistema creado en TEAM™..... | 130 |
| Figura 5.9. Módulo Combustor creado en TEAM™..... | 131 |
| Figura 5.10 Sistema del proceso de incineración con la herramienta TEAM™..... | 131 |
| Figura 5.11 Metodología para la evaluación ambiental en el análisis de procesos..... | 137 |
| Figura 5.12 Simplificación del proceso de separación para su análisis..... | 138 |
| Figura 5.13 Diagrama de flujo proceso de separación de Propano-Propileno..... | 141 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.14 Diagrama de flujo proceso de separación de Etanol-Agua..... | 142 |
| Figura 5.15. Interfaz de transferencia para el proceso separación de Propileno..... | 143 |
| Figura 5.16 Interfaz de transferencia del proceso Etanol-Agua..... | 144 |
| Figura 5.17. Variación de la producción de Propileno en función de la mezcla original..... | 146 |
| Figura 5.18 Comparativo del consumo de agua y su relación con la mezcla original..... | 147 |
| Figura 5.19 Representación gráfica del eco-vector para el análisis ambiental del proceso..... | 148 |
| Figura 5.20 Cargas ambientales por etapa en el proceso original | 150 |
| Figura 5.21 Carga ambiental del proceso y alternativas por sustancia | 151 |
| Figura 5.22. Producción de Etanol en función de la concentración de mezcla..... | 153 |
| Figura 5.23. Consumo de energía en función de la concentración de Etanol..... | 153 |
| Figura 5.24. Eco-vector del proceso Etanol-Agua..... | 154 |
| Figura 5.25. Carga ambiental por alternativa de generación de energía..... | 155 |
| Figura 5.26. Carga ambiental discriminada por sustancia y escenario de producción..... | 157 |
| Figura 5.27. Emisión de SO ₂ por escenario y porcentaje de Etanol en la mezcla..... | 158 |
| Figura 5.28. Emisión de CO por escenario y porcentaje de Etanol en la mezcla..... | 159 |
| Figura 5.29. Emisión de NO _x por escenario y porcentaje de Etanol en la mezcla..... | 159 |
| Figura 5.30 Diagrama del sistema general de separación de Isopentano..... | 164 |
| Figura 5.31 Diagrama del subsistema de separación en el proceso general..... | 164 |
| Figura 5.32 Subsistema de generación de energía..... | 164 |
| Figura 5.33 Diagrama de flujo del proceso de separación..... | 167 |
| Figura 5.34 Diagrama de flujo del proceso de generación de energía..... | 168 |
| Figura 5.35 Extensión en C++..... | 170 |
| Figura 5.36. Extensión en Visual Basic..... | 170 |
| Figura 5.37 Interfaz proceso de separación..... | 172 |
| Figura 5.38. Comparación de costes en el análisis económico del proceso..... | 176 |
| Figura 5.39. Cargas ambientales a evaluar en el inventario del proceso de separación..... | 178 |
| Figura 5.40 Consumo de agua por escenario..... | 179 |
| Figura 5.41 Consumo de combustibles en el proceso de separación de Isopentano..... | 179 |
| Figura 5.42 Emisiones del proceso por escenario..... | 180 |
| Figura 5.43 Emisiones de interés en el estudio..... | 181 |
| Figura 5.44. Esquema de transformación de los óxidos de azufre y nitrógeno..... | 181 |
| Figura 5.45. Transformación de contaminantes primarios y secundarios..... | 182 |
| Figura 5.46 Destino de sustancias en el escenario 5..... | 188 |
| Figura 5.47 Destino de sustancias en el escenario 6..... | 188 |
| Figura 5.48 Destino de sustancias en el escenario 7..... | 188 |
| Figura 5.49 Destino de sustancias en el escenario 8..... | 188 |
| Figura 5.50 Relación entre las cargas y efectos..... | 189 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.51 Dosis de las sustancias con una mayor presencia en los compartimentos..... | 190 |
| Figura 5.52 Estimación de la Relación de Peligro a la salud humana..... | 193 |
| Figura 5.53. Evaluación de los impactos potenciales de los escenarios 1 a 4..... | 194 |
| Figura 5.54 Evaluación de los impactos potenciales para los escenarios 5 al 8..... | 194 |
| Figura 5.55 Impactos específicos de los escenarios de producción..... | 195 |
| Figura 5.56. Estimación de los daños ambientales | 197 |
| Figura 5.57. Comparación gráfica del Efecto invernadero como indicador potencial..... | 199 |

