

ANEXOS

ANEXO A

Herramientas utilizadas en el desarrollo metodológico

A.1 Modelos de evaluación de destino de sustancias

A.2 Herramientas de evaluación de impactos

A.3 Herramientas de simulación de procesos

A. 1 MODELOS DE EVALUACIÓN DE DESTINO

A.1.1 Evaluación del destino en entornos genéricos

Caltox®

Descripción	
<p>Modelo multimedia de evaluación del riesgo a la salud, dirigido a contaminantes que pueden transportarse entre diferentes medios (contaminantes emitidos y transferidos entre aire, tierra, agua superficial, sedimentos y agua subterránea)</p> <p>Incluye tres componentes:</p> <ul style="list-style-type: none">- Modelo de transporte multimedia y de transformación (modelo dinámico, empleado para evaluar la variación del tiempo en la variación de la concentración del suelo)- Modelos de escenarios de exposición (los modelos cubren 23 rutas de exposición), y- Componentes que cuantifican y evalúan parámetros de variabilidad e incertidumbre <p>El proceso de valoración consiste en relacionar la concentración de contaminante en los compartimentos con las concentraciones de contaminante en el medio en el cual la población esta siendo expuesta</p> <p>La dosis diaria es el producto de las concentraciones expuesta en el medio de contacto y un factor de ingestión que relaciona las concentraciones de la dosis potencial con la población.</p> <p>El modelo utiliza análisis MonteCarlo para estimar la distribución probabilísticas de la incertidumbre y/o variabilidad</p>	
Información de entrada	
Propiedades de las sustancias	Nombre Peso molecular Punto de fusión solubilidad de en agua presión de vapor
Dimensión del entorno	área total de la superficie altura media del aire profundidad media del agua profundidad media del suelo profundidad media del sedimento
Información de las sustancias	Emisiones Potencial de cáncer / no-cáncer para humanos Concentraciones iniciales de contaminantes
Información de salidas	
Concentración cada compartimento Dosis diarias en humanos por inhalación, ingestión y contacto dérmico Riesgo a la salud humana Tablas y diagramas resumen	
Usos del modelo	
En cuanto a las sustancias, se puede aplicar para orgánicos no ionicos non. Sus resultados son específicos de una zona y para bajas concentraciones. La escala temporal, debe ser de meses a años y las áreas mayores a 1000 m ²	
Características informáticas	
Proporciona una base de datos de les propiedades ambientales de Norte américa Permite la adición de nuevas regiones a la base de datos Proporciona una base de datos de sustancias y sus propiedades Permite imprimir lo resultados de las simulaciones	

EUSES

Descripción	
Modelo multimedia de transporte y transformación de contaminantes, incluye emisión, exposición, efectos a seres vivos y estimación del riesgo	
Información de entrada (datos requeridos)	
Dimensión del entorno	área total de la superficie % de agua que cubre el área longitud de la costa para regiones marinas altura media del aire profundidad media del agua profundidad media del suelo profundidad media del sedimento
Propiedades de las sustancias	Nombre Peso molecular Punto de fusión solubilidad de en agua presión de vapor
Producción de sustancias, uso y emisión, datos de efectos para organismos acuáticos y terrestres	
Información de salidas	
Concentración en agua, suelo, sedimento, peces y vegetación. Dosis diarias Caracterización del riesgo	
Usos del modelo	
Permite evaluar los riesgos a la salud humana (Riesgo de cáncer por la exposición a un compuesto). Incluye todo tipo de sustancias, pero puede presentar fallas en inorgánicos o ionizables. Es posible evaluar productos derivados del petróleo, utilizando el bloque de Hidrocarburos. No sirve para evaluaciones específicas de un sitio, y su escala temporal puede ser corta o larga, sin embargo, sólo puede ser utilizado para zonas menos extensas que las continentales.	
Características informáticas	
Proporciona una base de datos de les propiedades ambientales de Europa Permite la adición de nuevas regiones a la base de datos Proporciona una base de datos de sustancias y sus propiedades Permite imprimir las tablas de las simulaciones	

Descripción	
La herramienta ChemCAN, predice las concentraciones medias en aire, agua superficial, peces, sedimentos, suelo, vegetación y aguas costeras. La herramienta esta basada en 24 regiones de Canadá, sin embargo, se puede definir otras regiones mediante el uso y adición de información de la base de datos. Las áreas que se generen deben tener un radio de por lo menos 300 km. Para áreas menores, dominará la dispersión del aire y no es aplicable esta herramienta.	
Información de entrada (datos requeridos)	
Dimensión del entorno	área total de la superficie % de agua que cubre el área longitud de la costa para regiones marinas altura media del aire profundidad media del agua profundidad media del suelo profundidad media del sedimento profundidad media del agua costera
Fracciones de volumen para los sub-compartimentos	partículas en aire partículas en agua peces aire en suelo agua en suelo sólidos en el suelo
Régimen de temperaturas (invierno, verano o media anual)	
Velocidades de transporte	Coeficientes de transferencia aire-agua Coeficientes de transferencia de mas por difusión Coeficientes de transferencia suelo-aire Coeficientes de transferencia agua sedimento deposición del sedimento
Propiedades de las sustancias	Nombre Peso molecular Punto de fusión solubilidad de en agua presión de vapor Vida media de reacción en aire, agua, suelo y Sedimento
Velocidades de emisión	Emisión a través del agua, suelo y aire
Información de salidas	
Coeficientes de partición Valores de Z i D Tiempos de residencia Concentración i fugacidad en cada compartimento Velocidades de transferencia y transformación Diagrama resumen	
Usos del modelo	
Se utiliza para establecer las características generales del comportamiento de nuevas o ya existentes sustancias. Ayuda en la valoración de la exposición humana	
Características informáticas	
Proporciona una base de datos de les propiedades ambientales de diferentes regiones Permite la adición de nuevas regiones a la base de datos Proporciona una base de datos de sustancias y sus propiedades Permite imprimir las tablas de las simulaciones y los diagramas resumen	

LEVEL III®

Descripción	
<p>La sustancia se descarga continuamente a velocidad constante consiguiendo la condición del estado estacionario, donde las velocidades de entrada y salidas son constantes.</p> <p>Los procesos de pérdida son debidos a las reacciones de degradación y advección.</p> <p>No se asume equilibrio entre medios y en general, los medios se encuentran a diferentes fugacidad</p> <p>Se deben definir las entradas de las sustancias por cada medio, así como la velocidad total de entradas.</p> <p>Los balances de materia se calculan en los cuatro compartimentos: aire, agua, suelo y sedimentos</p> <p>Las propiedades fisicoquímicas de las sustancias, se utilizan para cuantificar su comportamiento en los medios de estudio.</p> <p>Se involucran tres tipos de sustancias: sustancias con partición en el medio (tipo 1), Sustancias no volátiles (tipo 2), y sustancias con solubilidad cero o cercana a cero (tipo 3)</p> <p>El modelo de evaluación del destino es simple, con volúmenes y densidades definidas para aire, agua, suelo y sedimentos. Las velocidades medias de reacción, son para estos cuatro medios.</p>	
Información de entrada (datos requeridos)	
Propiedades de las sustancias	<p>Nombre</p> <p>Peso molecular</p> <p>Punto de fusión</p> <p>solubilidad de en agua</p> <p>presión de vapor</p> <p>Vida media de reacción en aire, agua, suelo y sedimento</p> <p>Sustancias tipo 1: solubilidad en agua, presión de vapor, kow, punto de fusión</p> <p>Sustancias tipo 2: coeficientes de partición</p>
Propiedades ambientales	<p>área total de la superficie</p> <p>% de agua que cubre el área</p> <p>longitud de la costa para regiones marinas</p> <p>altura media del aire</p> <p>profundidad media del agua</p> <p>profundidad media del suelo</p> <p>profundidad media del sedimento</p> <p>Fracciones volumétricas para todos los compartimentos</p> <p>Densidades</p> <p>Contenido de carbón orgánico</p> <p>Tiempos de residencia de los flujo advectivos</p>
Emisiones	<p>Velocidades de entrada de la sustancia por cada medio o compartimento</p> <p>Concentración previa en los compartimentos</p>
Variables de salida	
<p>Coeficientes de partición (tipo 1)</p> <p>Valores de Z</p> <p>Fugacidad de cada medio</p> <p>Velocidades de transporte intermedio y valores de D</p> <p>Reacción y velocidades de pérdida</p> <p>Tiempos de residencia o persistencia</p> <p>Concentración y cantidad por cada medio</p> <p>Diagrama resumen</p>	

Usos del modelo
<p>Establecer las características generales del comportamiento de nuevas o ya existentes sustancias</p> <p>Describir el destino de la sustancia incluyendo pérdidas por degradación, advección y transporte</p> <p>Permite calcular tres tipos de persistencia: valor total (TO), persistencia individual atribuida a reacción (TR), y sólo advección, TA. (De donde $1/TO = 1/TR + 1/TA$)</p> <p>La vida media de reacción en la totalidad de los compartimentos evaluados.</p> <p>Los tiempos de residencia de advección en aire</p> <p>El modelo no permite tratar sustancias ionizantes</p>
Características informáticas
<p>Proporciona una base de datos de sustancias y sus propiedades</p> <p>Permite cambios y adición de las sustancias y sus propiedades para nuevas simulaciones</p> <p>Proporciona una base de datos de las propiedades del entorno (genérico)</p> <p>Muestra y permite imprimir los resultados calculados por el modelo</p> <p>Los resultados del programa pueden ser guardados como hojas de cálculo (tipo Microsoft Excel)</p>

Descripción	
<p>Este modelo se basa en una simulación tipo Level III para evaluar la persistencia y el potencial de una sustancia en transporte de largo recorrido (long-range) en un medio móvil, tal como aire o agua. El modelo Level III debe ser utilizado para aplicaciones más generales</p> <p>La sustancia se descarga continuamente a velocidad constante consiguiendo la condición del estado estacionario, donde las velocidades de entrada y salidas son constantes</p> <p>Los procesos de pérdida involucrados son reacción, degradación i advección.</p> <p>Cada compartimento se encuentra a una fugacidad diferente y el balance de materia se aplica a cada compartimento y al sistema como un todo.</p> <p>Es posible calcular la velocidad de transporte entre compartimentos.</p> <p>Se tratan tres tipos de sustancias:</p> <p>sustancias con partición en el medio (tipo 1), Sustancias no volátiles (tipo 2), y sustancias con solubilidad cero o cercana a cero (tipo 3)</p> <p>La sustancia entra en cada medio móvil separándose a una velocidad fija.</p>	
Datos de entrada	
Propiedades de la sustancia	<p>Nombre</p> <p>Peso molecular</p> <p>Punto de fusión</p> <p>solubilidad de en agua</p> <p>presión de vapor</p> <p>Vida media de reacción en aire, agua, suelo y sedimento</p> <p>Sustancias tipo 1: solubilidad en agua, presión de vapor, kow, punto de fusión</p> <p>Sustancias tipo 2: coeficientes de partición</p>
Propiedades ambientales	<p>área total de la superficie</p> <p>densidad de todos los compartimentos</p> <p>altura media del aire</p> <p>profundidad media del agua</p> <p>profundidad media del suelo</p> <p>profundidad media del sedimento</p> <p>Fracciones volumétricas para todos los compartimentos</p> <p>Velocidades de transporte</p> <p>Contenido de carbón orgánico</p> <p>Tiempos de residencia de los flujo advectivos</p> <p>Velocidad de la lluvia, velocidad de deposición de partículas</p> <p>Velocidad de agua subterránea</p>
Emisiones	<p>Velocidad de entrada de la sustancia para cada medio o compartimento</p> <p>Concentración inicial en los compartimentos</p>
Salidas del Modelo	
<p>Persistencia en el ambiente</p> <p>coeficientes de partición (sustancias tipo 1)</p> <p>valores de Z</p> <p>fugacidad en cada medio</p> <p>velocidades de transporte en cada medio y entre ellos</p> <p>Concentración y cantidad por cada medio</p> <p>Diagrama resumen</p>	
Usos del modelo	
<p>Es una herramienta de evaluación de la persistencia de las sustancias y su potencial en el transporte de largo recorrido</p>	

Características del modelo
<p>Proporciona una base de datos de varias sustancias y sus propiedades</p> <p>Permite cambios y adición de las sustancias y sus propiedades para nuevas simulaciones</p> <p>Proporciona una base de datos de las propiedades del entorno (genérico)</p> <p>Muestra y permite imprimir los resultados calculados por el modelo</p> <p>Los resultados del programa pueden ser guardados como hojas de cálculo (tipo Microsoft Excel)</p>

A.1.2 Propiedades de las sustancias por modelo evaluado

Propiedades		Modelos				
		CalTOX	EUSES	ChemCan	Level III	TaPL3
Peso molecular		✓	✓	✓	✓	✓
Solubilidad en agua		✓(mol/m ³)	✓(mg/l)	✓	✗	✗
Presión de vapor (Pa)		✓	✓	✓	✗	✗
Constante de Henry		✓	✓	✓	✗	✗
Log K _{ow}		✓	✓	✓	✗	✗
Punto de ebullición		✗	✓	✗	✗	✗
Punto fusión		✓(K)	✓(°C)	✓	✗	✗
Temperatura		✓	✓	✓	✓	✓
Vida media de reacción (h)	Aire	✗	✗	✓	✓	✓
	Agua	✓	✗	✓	✓	✓
	agua superficie	✗	✗	✗	✗	✗
	Suelo	✓	✗	✓	✓	✓
	Suelo superficie	✓	✗	✗	✗	✗
	Suelo (zona raíz)	✓	✗	✗	✗	✗
	Sedimento	✓	✗	✓	✓	✓
	Peces	✗	✗	✓	✓	✓
	Aerosol	✗	✗	✓	✓	✓
	Aire-agua, K _{aw}	✗	✗	✓	✓	✓
	Suelo-agua (l/kg)	✗	✓	?	✓	✗
	Sedimento-agua (l/kg)	✗	✓	?	✓	✗
	Aerosol-agua	✗	✗	✗	✓	✗
	Aerosol-aire	✗	✗	✓	✗	✓
Coeficientes de partición	Peces-agua	✗	✗	✓	✓	✗
	Suelo-aire	✗	✗	✗	✗	✓
	Sedimento-aire	✗	✗	✗	✗	✓
	Piel agua/suelo	✓	✗	✗	✗	✗
	Ground/root	✓	✗	✗	✗	✗
	Capa acuática	✓	✗	✗	✗	✗
	Agua-sedimento	✓	✗	✗	✗	✗
	Sólidos-agua	✗	✓	✗	✗	✗
	Hojas - aire	✗	✓	✗	✗	✗
	Plantas-aire (m ³ a/kg(pFM))	✓	✗	✗	✗	✗
	Pez-agua	✓	✗	✗	✗	✗
	Peces	✗	✓	✗	✗	✗
	Por carne	✗	✓	✗	✗	✗
	Per leche	✗	✓	✗	✗	✗

✓ Tiene información

✗ No tiene información

A.1.3 Propiedades de entornos por modelo evaluado

Propiedades		CalTOX	Euses	ChemCAN	LEVEL III	TaPL3
Área total (km ²)		✓	✓	✓	✗	✗
Àrea (m ²)	Aire	✓	✗	✓	✗	✓
	Agua	✓	✗	✓	✗	✓
	Suelo	✓	✗	✓	✗	✓
	Sedimento	✓	✗	✓	✗	✓
Profundidad (m)	Aire	✓	✓ (km)	✓	✗	✓ (m)
	Agua	✓	✓ (m)	✓	✗	✓ (m)
	Suelo	✓	✓ (cm)	✓	✗	✓ (m)
	Sedimento	✓	✓ (cm)	✓	✗	✓ (m)
	Agua costera	✓	✓ (m)	✗	✗	✗
Superficie cubierta de agua (% del total)		✗	✗	✓	✗	✗
Longitud de costa para regiones marítimas (km)		✗	✗	✓	✗	✗
Precipitación anual media (m/d)		✓	✗	✗	✗	✓
Caudal de agua superficial en el entorno (m/d)		✓	✗	✗	✗	✓
Escorrentía por la superficie (m/d)		✓	✗	✗	✗	✓
Partículas en la atmósfera (kg/m ³)		✓	✗	✓	✗	✗
Velocidad de deposición de las partículas en aire (m/d)		✓	✗	✓	✗	✓
Grosor medio de la superficies de las hojas (cutícula) (m)		✓	✗	✓	✗	✓
Densidad de vapor húmedo (kg/m ³)		✓	✗	✓	✗	✓
Densidad de las hojas (kg/m ³)		✓	✗	✓	✗	✓
Grosor de la capa límite de las hojas		✓	✗	✗	✗	✓
Erosión superficie de las hojas (vida media) (d)		✓	✗	✗	✗	✓
Evaporación de agua desde la superficie (m/d)		✓	✗	✗	✗	✓
Grosor de la capa de suelo superficial		✓	✗	✗	✗	✓
Agua contenida en la superficie del suelo		✓	✗	✗	✗	✓
Aire contenida en la superficie del suelo		✓	✗	✗	✗	✓
Erosión de la superficie del suelo (kg/m ² -d)		✓	✗	✓	✗	✓
Grosor de la zona de raíz (m)		✓	✗	✗	✗	✗
Grosor de la capa acuática (m)		✓	✗	✓	✗	✗
Porosidad de la zona acuática		✓	✗	✓	✗	✗
Profundidad media de las superficies acuáticas (m)		✓	✗	✓	✗	✓
Sedimentos suspendidos en la superficie del agua (kg/m ³)		✓	✗	✓	✗	✓
Deposición de sedimentos suspendidos (kg/m ² /d)		✓	✗	✓	✗	✓
Grosor de la capa de sedimento (m)		✓	✗	✓	✗	✓
Porosidad de la zona de sedimento		✓	✗	✓	✗	✓
Velocidad de enterramiento del sedimento (m/d)		✓	✗	✓	✗	✓
Escorrentía (m/d)		✓	✗	✓	✗	✓
Grosor de la interfaz aire/suelo (m)		✓	✗	✓	✗	✓
Promedio anual de velocidad del viento (m/d)		✓	✗	✓	✗	✓
Fracción de carbón orgánico	Zona superior del suelo		✓	✗	✓	✓
	Zona acuática		✓	✗	✓	✓
	Sedimento		✓	✗	✓	✗
	Viento		✗	✗	✗	✗
Velocidad (km/h)	Agua		✗	✗	✗	✗
	Aerosol		✗	✓	✗	✗

Fracción volumétrica en aire	Partículas		✗	✗	✗	✗
	Hojas		✗	✗	✓	✗
	Sedimento suspendido		✗	✓	✗	✗
Fracción volumétrica agua	Peces		✗	✓	✗	✗
	Hojas		✗	✗	✓	✗
	Raíces		✗	✗	✓	✗
	Biota		✗	✗	✗	✗
	Aire		✗	✓	✗	✗
	Agua		✗	✓	✗	✗
	Sólidos		✗	✓	✗	✗
Fracción volumétrica lípidos en hojas	Agua		✗		✓	✗
Fracción volumétrica suelo	Sólidos		✗	✓	✗	✗
	Vapor aire		✗	✓	✗	✗
	Aerosol		✗	✓	✗	✗
Fracción volumétrica sedimentos	Solución		✗	✗	✗	✗
	Sedimentos suspendidos		✗	✓	✗	✗
Densidad medio aire (kg/m ³)	Agua		✗	✓	✗	✗
	Material sólido		✗	✗	✓	✗
Densidad medio agua (kg/m ³)	Peces		✗	✓	✗	✗
	Vapor aire		✗	✓	✗	✗
	Agua		✗	✓	✗	✗
	Sólido		✗	✓	✓	✗
Densidad medio suelo (kg/m ³)	Vapor aire		✗	✓	✓	✗
	Agua		✗	✓	✓	✗
	Suelo		✓	✓	✓	✓
Densidad medio sedimento(kg/m ³).	Agua		✗	✓	✓	✗
	Sólido		✓	✓	✓	✓
Carbón orgánico (g/g)	Suelo		✗	✓	✓	✗
	Sedimento		✗	✓	✓	✗
	partículas		✗	✓	✓	✗
Condiciones de temperatura (°C)	Media anual		✗	✗	✗	✗
	Media de invierno		✗	✗	✗	✗
	Media de verano		✗	✗	✗	✗
Tiempos de residencia	Aire		✗	✓(h)	✗	✗
	Agua		✗	✓(h)	✗	✗
	Sedimentos		✗	✓(h)	✗	✗
Lípido (g/g)	Lípidos en peces		✗	✓	✗	✗
Velocidades de transporte (m/h)	Aire-agua		✓	✓	✗	✓
	Agua-aire		✓	✓	✗	✓
	Velocidad de la lluvia		✓	✓	✗	✓
	Deposición aerosol		✓	✓	✗	✓
	Suelo-aire		✓	✓	✗	✓
	Suelo-agua		✓	✓	✗	✓
	Deposición sedimento		✓	✓	✗	✓
	Escurrentía suelo-agua		✓	✓	✗	✓

✓ Tiene información

✗ No tiene información

A.1.4 Evaluación del destino en entornos específicos

Great_er

Descripción	
Es una herramienta para la exposición de sustancias, que ha sido diseñada para el uso en la evaluación del riesgo ambiental en la Unión europea. La herramienta es un SIG (Sistema de Información Geográfica) que calcula las concentraciones de productos químicos que son vertidos en ríos (en entornos específicos). La herramienta utiliza la información del uso de las sustancias y las propiedades de fisicoquímicas. Las concentraciones predichas se presentan en mapas.	
Datos de entrada	
Modelo de emisión	Cantidad de sustancia en el mercado (datos de ventas)
	Población equivalente
	Consumo de agua por habitante
Modelo de destino (Complejidad tipo 1)	Sistema de conducción de las aguas residuales
	Datos del río
	Plantas de tratamiento
Modelo de destino (Complejidad tipo 2)	Sistema de conducción de las aguas residuales
	Plantas de tratamiento
	Información geo- referenciada
	Datos del río
Modelo de destino (Complejidad tipo 3)	Sistema de conducción de las aguas residuales
	Plantas de tratamiento
	Datos del río
	-Concentración
	-Información no geo-referenciada
	- Información geo- referenciada
Salidas del Modelo	
El modelo presenta, diferentes tipos de concentración en mapas de la región en estudio.	
Usos del model	
El modelo permite calcular la concentración, en una amplia de influencia del río (cuencas), a través del valor de las concentraciones predichas al inicio del río y en cualquier zona del mismo.	
Características del modelo	
El modelo permite trabajar con datos en formato SIG	
Para cada grupo de datos un formato se puede establecer un fichero intermedio, tipo txt	
Se puede trabajar con combinación de datos Geo-referenciados y no Geo-referenciados	

A. 2 HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS

A.2.1 Herramientas de evaluación de impactos potenciales

SIMA PRO 5.0.

Herramienta que permite analizar las contribuciones más importantes a la carga ambiental de un producto, proceso o actividad industrial durante su ciclo de vida, así como comparar dos productos que tienen materiales y/o procesos diferentes pero que cumplen con la misma función.

Básicamente se pueden realizar cuatro tareas: Análisis de la producción, análisis del ciclo de vida (uso) y análisis de los escenarios de disposición. Así mismo, comparación de productos o procesos.

Para la utilización de la herramienta se deben definir aspectos tales como: **escenario** (alcances y objetivos), **unidad funcional** (kg de material..... un artículo), **categorías de daño** (sobre el entorno en qué se realiza el efecto, en este caso son *salud humana, ecosistemas y recursos naturales*).

Las cuatro tareas tienen características similares y sinérgicas entre sí y su descripción se resume a continuación:

1. Análisis del producto. En este análisis se desarrollan tres etapas:

- Definición de materiales. Lista de materiales a usar y de los procesos que se tienen en cuenta para su obtención.
- Acoplamiento (Ensamblaje).
- Inventario. **Descripción** (lista de materiales necesarios para la elaboración del producto y emisiones relacionados con el sistema). **Evaluación** (Método de evaluación/Ecoindicador). **Comparación** (llevar a un mismo nivel los daños e impacto). **Cuantificación** (del daño sobre las categorías definidas).

2. *Análisis del ciclo de vida.* Básicamente se desarrollan las tres etapas mencionadas antes, pero se tienen en cuenta los flujos que entran al sistema, tal como el material reciclado.

3. *Escenarios de disposición de residuos.* La herramienta hace una distinción entre la disposición final de los productos y el tratamiento de los materiales residuales: Así mismo permite modelar las diferentes opciones que existan para cada producto o proceso.

4. *Comparación de productos o ciclos de vida.* En la herramienta esta tarea se desarrolla teniendo en cuenta las etapas que se siguen en el análisis del producto, pero evaluando cada fase para los productos o procesos que se quieren comparar.

Tools Environmental Analysis and Management. TEAM TM.

La herramienta cuenta con dos niveles de estudios: Bases de datos y cálculos. Básicamente tiene tres funciones principales:

- Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.
- Evaluación del Inventario del CV
- Interpretación del Ciclo de vida.

Su sistema se basa principalmente en una interface que contiene listas de flujo, de módulos y de revisión de procesos.

Flujos: definen las entradas y salidas.

Módulos: describen un proceso o un grupo de procesos.

Sistema: define un grupo de módulos (Sistema principal o subsistemas).

Existen tres etapas fundamentales:

- La creación del Inventario: Presenta dos características principales, puede construirse sin definir la unidad funcional y puede contener varios elementos)
- Análisis: es la etapa del proceso que permite realizar la interpretación del inventario.
- Interpretación: tiene tres características importantes: a) *examina los resultados del inventario y opcionalmente la evaluación del impacto* b) *desarrolla simulaciones* y, c) *puede usar métodos que calculan las incertidumbres tal como el Monte Carlo.*

A.2.2 Herramientas de evaluación de impactos específicos

ECOSENSE

Información necesaria de entrada

Datos técnicos de planta

- ✓ Capacidad de producción eléctrica
- ✓ Electricidad enviada fuera
- ✓ Total de horas trabajadas por la planta al año
- ✓ Emisiones (NOx, SO₂, PM, metales pesados, y material particulado)
- ✓ Altura y diámetro de la chimenea
- ✓ Volumen y temperatura de los gases de combustión
- ✓ Ubicación de la chimenea (elevación del sitio, longitud y latitud)

Datos ambientales (pueden ser cambiadas o venir por defecto)

- ✓ Ubicación (País, comunidad, provincia)
- ✓ Población

Información de las funciones Exposición-Respuesta

Esta información se encuentra ya definida (es posible editarla), pero es posible agregar nueva información, relacionada con:

- ✓ Funciones y nivel de estimación (Alto, medio y bajo)
- ✓ Umbral
- ✓ Referencia
- ✓ Nuevos impactos

Valor monetario

Es posible editar categorías de valor monetario definidas en el modelo, sin embargo, se pueden añadir nuevas categorías.

- ✓ Valor para la evaluación
- ✓ Año base de evaluación

Información por defecto

Datos técnicos de planta

- ✓ Operación normal

Análisis del trayecto de la emisión hasta el impacto y daño

✓ Receptor (Salud Humana, Cosechas, bosques y ecosistemas)

Información de salida

Impactos (en casos por electricidad producida)

Daños en valor monetario por electricidad producida

A.3 HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN DE PROCESOS

Simulador de procesos Hysys Plant®.

Hysys Plant® es un software de los más avanzados en ingeniería de procesos. Es completamente interactivo y es posible obtener acceso a altos niveles de definición de geometría de los equipos, obteniendo resultados detallados. Hysys Plant® está diseñado para ser: integrado, intuitivo e interactivo y abierto y extensible.

Entorno de la simulación integrada en Hysys Plant®.

Los parámetros comunes (que son el eje de las herramientas de modelización), se basan en: topología del modelo, interfase y termodinámica.

Hysys Plant® utiliza el diseño orientado a objetos, junto con un entorno gráfico event-driven, consiguiendo:

- calcular automáticamente cada vez que se le añade información nueva; y
- acceder libremente a la información que se necesite.

Arquitectura abierta y extensible de Hysys Plant®

El entorno de simulación integrada y el completo software orientado a objetos, acaba ofreciendo:

- Uso desarrollado del estado estacionario y dinámico de las operaciones unitarias.
- Expresiones cinéticas de las reacciones.
- Creación de paquetes de propiedades especializadas.

Uso de la herramienta

Para poder realizar la simulación del proceso con esta herramienta, inicialmente se tiene que especificar al simulador las siguientes propiedades del sistema a simular:

- Modelo termodinámico.
- Modelo cinético.
- Entradas del proceso (composición, temperatura, caudal).

- Equipos y sus condiciones de diseño y operación.

La herramienta permite realizar simulaciones con base en el cálculo de propiedades físicas, componentes reales e hipotéticos, reacciones y equipos; todo esto dentro de una entidad singular. Las ventajas que presenta esta herramienta son:

- Información en una localización singular.
- Los paquetes de fluidos definidos pueden ser almacenados como una entidad completamente definida que puede ser usada en cualquier fase de la simulación.
- Paquetes de fluidos múltiples pueden ser usados en una misma simulación,

Etapas en la preparación de un caso con Hysys Plant®.

Las etapas para iniciar un caso en Hysys Plant® son:

- Definir la base de simulación.
- Exportar paquetes de fluidos.
- Cambiar unidades por una especificación.
- Adicionar corrientes
- Realizar cálculos.

SuperPro Designer.

Es un grupo de herramientas de la serie “Pro-designer”, las cuales incluyen BatchPro, BioPro y EnviroPro. Los cuatro productos tienen la misma presentación (en términos de simulación, evaluación económica, análisis de proceso, evaluación de impactos ambientales, buena comunicación con software conocidos, etcétera), usan la misma interface pero difieren en las listas de unidades modeladas (procesos).

SuperPro, es una herramienta de cálculo ambiental para el diseño integrado de procesos. La herramienta se orienta hacia la industria Bioquímica, Farmacéutica, de alimentos, así como para los procesos de disposición, reciclado y tratamiento de residuos.

La herramienta se basa en el desarrollo de varias etapas que van desde las definición de los materiales a usar en el proceso, hasta la realización de reportes. Las fases que se desarrollan son las siguientes:

- Definición de componentes y mezclas.

- Clasificación y descripción de las corrientes.
- Descripción de los procedimientos, operaciones unitarias y equipos.
- Descripción de las condiciones de operación.
- Definición de las ayudas ofrecidas por la herramienta.
- Descripción de las características de los informes.
- Definición de las emisiones del proceso.
- Descripción de los casos de diseño.
- Evaluación de la interconectividad de la herramienta.

ANEXO B

Resultados caso de aplicación proceso de desisopentainización de Naftas

- B.1 Caracterización técnica de los escenarios de evaluación
- B.2 Modelos de los procesos generados (Resultados de la simulación)
- B.3 Eco-vectores de los escenarios evaluados
- B.4 Resultados de la caracterización de sustancias evaluadas en entornos (Genérico) local y global
- B.5 Impactos potenciales para las categorías de impacto evaluadas en el caso de aplicación
- B.6 Impactos y daños de la generación energética

B.1 Caracterización técnica de los escenarios de evaluación

ESCENARIO 1.

SCENARIO 1						
MIXER						
FUEL MIXER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Gas Natural	-		Fuel Mixture	Furnance	Conversion Reactor
	Air Inlet					
CONVERSION REACTOR						
FURNANCE	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Mixture	Fuel Mixer	Mixer	Gas Outlet	Turbine of Gas	Expander
				Liquid Outlet	-	
	Especificaciones					
	T (°C)			2,01E+03		
	P (kPa)			1,99E+02		
	Delta P (kPa)			0,00E+01		
Duty			0,00E+01			
Liquid Level (%)			5,00E+01			
Geometry			Cylinder			
Orientation			Vertical			
EXPANDER						
TURBINE OF GAS	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Gas Outlet	Furnance	Conversion Reactor	Gas Outlet 1	Superheater	Heat Exchanger
	Energy Stream	Electric Energy				
	Especificaciones					
	T (°C)			-3,08E+01		
	P (kPa)			-2,00E+01		
	Adiabatic Head (m)			7,33E+03		
Polytropic Head (m)			7,35E+03			
Adiabatic Efficiency (%)			7,50E+01			
Polytropic Efficiency (%)			7,48E+01			
Duty (kW)			5,61E+02			
HEAT EXCHANGER						
SUPERHEATER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 3	Steam Drum	Exchanger	VAP-Laminación	SV2-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 1	Turbine of Gas	Expander	Gas Outlet 2	Steam Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			1,52E+03			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+01			
UA (kJ/C·h)			8,33E+03			
Duty (kW)			3,56E+03			
STEAM DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 2	SA-1	Tee	Steam 3	Superheater	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 2	Superheater	Exchanger	Gas Outlet 3	Water Drum	Exchanger

Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+01 0,00E+01 6,27E+04 1,55E+04		
WATER DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water 2	Economizer	Exchanger	Steam 1	SA-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 3	Steam Drum	Exchanger	Gas Outlet 4	Economizer	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+01 0,00E+01 8,29E+04 5,84E+03		
ECONOMIZER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water inlet	-		Water 2	Water Drum	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 4	Water Drum	Exchanger	Gas to Stack	-	
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				4,90E+02 0,00E+01 4,79E+04 1,12E+03		
TEE						
	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
SA-1	Steam 1	Water Drum	Exchanger	Steam 2	Steam Drum	Exchanger
				Water Outlet	Boiler Cooler	Cooler
SV2-1	VAP-Laminación	Superheater	Exchanger	VAP-2	-	
				To LM-1	LM-1	Valve
SV2-2	MPS-2	LM-1	Valve	To Cooler 2-1	Cooler 2-1	Cooler
				To LM-2	LM-2	Valve
COOLER						
BOILER COOLER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Water Outlet	SA-1	Tee	Purge	-	
	Energy Stream	EP-1				
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,36E+02 1,00E-01 5,88E+03 2,24E+02		
COOLER 2-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Cooler 2-1	SV2-2	Tee	VMP-2	-	
	Energy Stream	E2-1				
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-1,93E+02 1,00E-01 0,00E+01 3,42E+02		

COOLER 2-2	Conexión						
	Entradas		Procedencia		Salidas	Destino	
	To Cooler 2-2		LM-2	Valve	VBP-2	-	
	Energy Stream		E2-2				
	Especificaciones						
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,37E+02 1,00E-01 0,00E+01 4,22E+03			
VALVE							
LM-1	Conexión						
	Entradas		Procedencia		Salidas	Destino	
	To LM-1		SV2-1	Tee	MPS-2	SV2-2	Tee
	Especificaciones						
Delta P (kPa) Valve Opening (%)			2,79E+03 5,00E+01				
LM-2	Conexión						
	Entradas		Procedencia		Salidas	Destino	
	To LM-2		SV2-2	Tee	To Cooler 2-2	Cooler 2-2	Cooler
	Especificaciones						
Delta P (kPa) Valve Opening (%)			1,11E+03 5,00E+01				

ESCENARIO 2

MIXER							
FUEL MIXER	Conexión						
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino		
	Gas Natural	-		Fuel Mixture	Furnance	Conversion Reactor	
	Air Inlet						
CONVERSION REACTOR							
FURNANCE	Conexión						
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino		
	Fuel Mixture	Fuel Mixer	Mixer	Gas Outlet	Turbine of Gas	Expander	
				Liquid Outlet	-		
	Especificaciones						
	T (°C) P (kPa) Delta P (kPa) Duty Liquid Level (%) Geometry Orientation			2,01E+03 1,99E+02 0,00E+01 0,00E+01 5,00E+01 Cylinder Vertical			
	EXPANDER						
	TURBINE OF GAS	Conexión					
Entradas		Procedencia		Salidas	Destino		
Gas Outlet		Furnance	Conversion Reactor	Gas Outlet 1	Superheater	Heat Exchanger	
Energy Stream		Electric Energy					
Especificaciones							
T (°C) P (kPa) Adiabatic Head (m) Polytropic Head (m) Adiabatic Efficiency (%) Polytropic Efficiency (%) Duty (kW)			-5,58E-02 -1,95E-02 1,34E+01 1,00E+01 7,50E+01 7,50E+01 1,00E+00				
Ex-1		Conexión					
		Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Ex-1	SV1-1	Tee	To SV1-2	SV1-2	Tee	
	Energy Stream	E1-1					
	Especificaciones						
	T (°C) P (kPa) Adiabatic Head (m) Polytropic Head (m) Adiabatic Efficiency (%) Polytropic Efficiency (%) Duty (kW)			-2,14E+02 -2,79E+03 5,55E+04 2,58E+04 7,50E+01 1,61E+02 3,95E+03			
	Ex-2	Conexión					
		Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
To Ex-2		Cooler 1-1	Cooler	VBP-1	-		
Energy Stream		E1-3					
Especificaciones							

	<div>T (°C) P (kPa) Adiabatic Head (m) Polytropic Head (m) Adiabatic Efficiency (%) Polytropic Efficiency (%) Duty (kW)</div>				<div>-2,59E+01 -1,73E+02 6,23E+03 6,26E+03 7,50E+01 7,47E+01 4,05E+02</div>	
HEAT EXCHANGER						
SUPERHEATER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 3	Steam Drum	Exchanger	VAP-Turbina	SV1-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 1	Turbine of Gas	Expander	Gas Outlet 2	Steam Drum	Exchanger
Especificaciones						
<div>Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)</div>			<div>1,52E+03 0,00E+00 8,17E+03 3,56E+03</div>			
STEAM DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 2	SA-1	Tee	Steam 3	Superheater	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 2	Superheater	Exchanger	Gas Outlet 3	Water Drum	Exchanger
Especificaciones						
<div>Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)</div>			<div>0,00E+00 0,00E+00 6,14E+04 1,55E+04</div>			
WATER DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water 2	Economizer	Exchanger	Steam 1	SA-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 3	Steam Drum	Exchanger	Gas Outlet 4	Economizer	Exchanger
Especificaciones						
<div>Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)</div>			<div>0,00E+00 0,00E+00 8,12E+04 5,84E+03</div>			
ECONOMIZER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water inlet	-		Water 2	Water Drum	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 4	Water Drum	Exchanger	Gas to Stack	-	
Especificaciones						
<div>Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)</div>			<div>4,90E+02 0,00E+00 4,75E+04 1,12E+03</div>			
TEE						
	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
SA-1	Steam 1	Water Drum	Exchanger	Steam 2	Steam Drum	Exchanger
				Water Outlet	Boiler Cooler	Cooler

SV1-1	VAP-Turbina	Superheater	Exchanger	VAP-1	-	
				To Ex-1	Ex-1	Expander
SV1-2	To SV1-2	Ex-1	Expander	VMP-1	-	
				To Cooler 1-1	Cooler 1-1	Cooler
COOLER						
BOILER COOLER	Conexión					
	Entradas		Procedencia		Salidas	Destino
	Water Outlet		SA-1	Tee	Purge	-
	Energy Stream		EP-1			
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)				-2,36E+02 1,00E-01 5,88E+03 2,24E+02	
COOLER 1-1	Conexión					
	Entradas		Procedencia		Salidas	Destino
	To Cooler 1-1		SV1-2	Tee	To Ex-2	Ex-2 Expander
	Energy Stream		E1-2			
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)				-2,60E+01 1,00E-01 9,37E+02 2,14E+02	

ESCENARIO 3.

MIXER						
FUEL MIXER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Gas Natural	-		Fuel Mixture	Furnance	Conversion Reactor
	Air Inlet					
CONVERSION REACTOR						
FURNANCE	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Mixture	Fuel Mixer	Mixer	Gas Outlet	Turbine of Gas	Expander
				Liquid Outlet	-	
	Especificaciones					
	T (°C)			2,01E+03		
	P (kPa)			1,99E+02		
	Delta P (kPa)			0,00E+01		
Duty			0,00E+01			
Liquid Level (%)			5,00E+01			
Geometry			Cylinder			
Orientation			Vertical			
EXPANDER						
TURBINE OF GAS	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Gas Outlet	Furnance	Conversion Reactor	Gas Outlet 1	Superheater	Heat Exchanger
	Energy Stream	Electric Energy				
	Especificaciones					
	T (°C)			-3,08E+02		
	P (kPa)			-1,32E+02		
Adiabatic Head (m)			6,91E+04			
Polytropic Head (m)			7,11E+04			
Adiabatic Efficiency (%)			7,50E+01			
Polytropic Efficiency (%)			7,29E+01			
Duty (kW)			5,61E+02			
HEAT EXCHANGER						
SUPERHEATER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 3	Steam Drum	Exchanger	VAP-Laminación	SV2-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 1	Turbine of Gas	Expander	Gas Outlet 2	Steam Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			1,52E+03			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+01			
UA (kJ/C·h)			8,74E+02			
Duty (kW)			3,08E+02			
STEAM DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 2	SA-1	Tee	Steam 3	Superheater	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 2	Superheater	Exchanger	Gas Outlet 3	Water Drum	Exchanger

Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+01 0,00E+01 6,70E+03 1,35E+03		
WATER DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water 2	Economizer	Exchanger	Steam 1	SA-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 3	Steam Drum	Exchanger	Gas Outlet 4	Economizer	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+01 0,00E+01 8,78E+03 5,06E+02		
ECONOMIZER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water inlet	-		Water 2	Water Drum	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 4	Water Drum	Exchanger	Gas to Stack	-	
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				4,90E+02 0,00E+01 4,51E+03 9,69E+01		
TEE						
	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
SA-1	Steam 1	Water Drum	Exchanger	Steam 2	Steam Drum	Exchanger
				Water Outlet	Boiler Cooler	Cooler
SV2-1	VAP-Laminación	Superheater	Exchanger	VAP-2	-	
				To LM-1	LM-1	Valve
COOLER						
BOILER COOLER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Water Outlet	SA-1	Tee	Purge	-	
	Energy Stream	EP-1				
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,36E+02 1,00E-01 5,88E+03 1,94E+01		
COOLER 2-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Cooler 2-1	SV2-2	Tee	VMP-2	-	
	Energy Stream	E2-1				
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-1,93E+02 1,00E-01 0,00E+01 3,42E+02		

VALVE						
LM-1	<i>Conexión</i>					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To LM-1	SV2-1	Tee	To Cooler 2-1	Cooler 2-1	Cooler
	<i>Especificaciones</i>					
	Delta P (kPa)			2,79E+03		
	Valve Opening (%)			5,00E+01		

ESCENARIO 4

MIXER						
FUEL MIXER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Gas Natural	-		Fuel Mixture	Furnance	Conversion Reactor
	Air Inlet					
CONVERSION REACTOR						
FURNANCE	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Mixture	Fuel Mixer	Mixer	Gas Outlet	Turbine of Gas	Expander
				Liquid Outlet	-	
	Especificaciones					
	T (°C) P (kPa) Delta P (kPa) Duty Liquid Level (%) Geometry Orientation			2,01E+03 1,99E+02 0,00E+01 0,00E+01 5,00E+01 Cylinder Vertical		
	EXPANDER					
TURBINE OF GAS	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Gas Outlet	Furnance	Conversion Reactor	Gas Outlet 1	Superheater	Heat Exchanger
	Energy Stream	Electric Energy				
	Especificaciones					
	T (°C) P (kPa) Adiabatic Head (m) Polytropic Head (m) Adiabatic Efficiency (%) Polytropic Efficiency (%) Duty (kW)			-1,32E+02 -7,31E+01 3,06E+04 3,10E+04 7,50E+01 7,42E+01 2,18E+02		
Ex-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Ex-1	SV1-1	Tee	VMP-1	-	
	Energy Stream	E1-1				
	Especificaciones					
	T (°C) P (kPa) Adiabatic Head (m) Polytropic Head (m) Adiabatic Efficiency (%) Polytropic Efficiency (%) Duty (kW)			-2,14E+02 -2,79E+03 5,55E+04 2,58E+04 7,50E+01 1,61E+02 3,42E+02		
HEAT EXCHANGER						
SUPERHEATER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 3	Steam Drum	Exchanger	VAP-Turbina	SV1-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 1	Turbine of Gas	Expander	Gas Outlet 2	Steam Drum	Exchanger

Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				1,52E+03 0,00E+00 7,72E+02 3,08E+02		
STEAM DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 2	SA-1	Tee	Steam 3	Superheater	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 2	Superheater	Exchanger	Gas Outlet 3	Water Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+00 0,00E+00 5,85E+03 1,35E+03		
WATER DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water 2	Economizer	Exchanger	Steam 1	SA-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 3	Steam Drum	Exchanger	Gas Outlet 4	Economizer	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+00 0,00E+00 7,71E+03 5,06E+02		
ECONOMIZER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water inlet	-		Water 2	Water Drum	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 4	Water Drum	Exchanger	Gas to Stack	-	
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				4,90E+02 0,00E+00 4,28E+03 9,69E+01		
TEE						
	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
SA-1	Steam 1	Water Drum	Exchanger	Steam 2	Steam Drum	Exchanger
				Water Outlet	Boiler Cooler	Cooler
SVI-1	VAP-Turbina	Superheater	Exchanger	VAP-1	-	
				To Ex-1	Ex-1	Expander
COOLER						
BOILER COOLER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Water Outlet	SA-1	Tee	Purge	-	
	Energy Stream	EP-1				
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,36E+02 1,00E-01 5,88E+03 1,94E+01		

ESCENARIO 5.

MIXER						
FUEL MIXER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Gas	-		Fuel Mixture	Furnance	Conversion Reactor
	Fuel Oil					
	Air Inlet					
CONVERSION REACTOR						
FURNANCE	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Mixture	Fuel Mixer	Mixer	Gas Outlet	Superheater	Exchanger
				Liquid Outlet	-	
	Especificaciones					
	T (°C)			2,14E+03		
	P (kPa)			1,99E+02		
	Delta P (kPa)			0,00E+01		
Duty			0,00E+01			
Liquid Level (%)			5,00E+01			
Geometry			Cylinder			
Orientation			Vertical			
EXPANDER						
Ex-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Ex-1	SV1-1	Tee	To SV1-2	SV1-2	Tee
	Energy Stream	E1-1				
	Especificaciones					
	T (°C)			-2,14E+02		
	P (kPa)			-2,79E+03		
	Adiabatic Head (m)			5,55E+04		
Polytropic Head (m)			2,58E+04			
Adiabatic Efficiency (%)			7,50E+01			
Polytropic Efficiency (%)			1,61E+02			
Duty (kW)			3,95E+03			
Ex-2	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Ex-2	Cooler 1-1	Cooler	VBP-1	-	
	Energy Stream	E1-3				
	Especificaciones					
	T (°C)			-2,59E+01		
	P (kPa)			-1,73E+02		
	Adiabatic Head (m)			6,23E+03		
Polytropic Head (m)			6,26E+03			
Adiabatic Efficiency (%)			7,50E+01			
Polytropic Efficiency (%)			7,47E+01			
Duty (kW)			4,05E+02			
HEAT EXCHANGER						
SUPERHEATER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Tube Side	Steam 3	Steam Drum	Exchanger	VAP-Turbina	SV1-1
Shell Side	Gas Outlet	Furnance	Conv Reactor	Gas Outlet 1	Steam Drum	Exchanger

Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				1,52E+03 0,00E+00 7,60E+03 3,56E+03		
STEAM DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 2	TEE-100	Tee	Steam 3	Superheater	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 1	Superheater	Exchanger	Gas Outlet 2	Water Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+00 0,00E+00 5,70E+04 1,55E+04		
WATER DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water 2	Economizer	Exchanger	Steam 1	TEE-100	Tee
Shell Side	Gas Outlet 2	Steam Drum	Exchanger	Gas Outlet 3	Economizer	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+00 0,00E+00 7,55E+04 5,84E+03		
ECONOMIZER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water inlet	-		Water 2	Water Drum	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 3	Water Drum	Exchanger	Gas to Stack	-	
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				4,90E+02 0,00E+00 4,59E+04 1,12E+03		
TEE						
	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
TEE-100	Steam 1	Water Drum	Exchanger	Steam 2	Steam Drum	Exchanger
				Water Outlet	Boiler Cooler	Cooler
SVI-1	VAP-Turbina	Superheater	Exchanger	VAP-1	-	
				To Ex-1	Ex-1	Expander
SV1-2	To SV1-2	Ex-1	Expander	VMP-1	-	
				To Cooler 1-1	Cooler 1-1	Cooler
COOLER						
BOILER COOLER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Water Outlet	TEE-100	Tee	Purge	-	
	Energy Stream	EP-1				
	Especificaciones					

	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,36E+02 1,00E-01 5,88E+03 2,24E+02			
COOLER 1-1	<i>Conexión</i>						
	Entradas		Procedencia		Salidas	Destino	
	To Cooler 1-1		SV1-2	Tee	To Ex-2	Ex-2	Expander
	Energy Stream		E1-2				
	<i>Especificaciones</i>						
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,60E+01 1,00E-01 9,37E+02 2,14E+02			

ESCENARIO 6.

MIXER						
FUEL MIXER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Gas	-		Fuel Mixture	Furnance	Conversion Reactor
	Fuel Oil					
	Air Inlet					
CONVERSION REACTOR						
FURNANCE	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Mixture	Fuel Mixer	Mixer	Gas Outlet	Superheater	Exchanger
				Liquid Outlet	-	
	Especificaciones					
	T (°C)			2,14E+03		
	P (kPa)			1,99E+02		
Delta P (kPa)			0,00E+01			
Duty			0,00E+01			
Liquid Level (%)			5,00E+01			
Geometry			Cylinder			
Orientation			Vertical			
HEAT EXCHANGER						
SUPERHEATER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 3	Steam Drum	Exchanger	VAP-Laminación	SV2-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet	Furnance	Conv. Reactor	Gas Outlet 1	Steam Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			1,52E+03			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
UA (kJ/C·h)			7,60E+03			
Duty (kW)			3,56E+03			
STEAM DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 2	SA-1	Tee	Steam 3	Superheater	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 1	Superheater	Exchanger	Gas Outlet 2	Water Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
UA (kJ/C·h)			5,70E+04			
Duty (kW)			1,55E+04			
WATER DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water 2	Economizer	Exchanger	Steam 1	SA-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 2	Steam Drum	Exchanger	Gas Outlet 3	Economizer	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
UA (kJ/C·h)			7,55E+04			
Duty (kW)			5,84E+03			
ECONOMIZER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water inlet	-		Water 2	Water Drum	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 3	Water Drum	Exchanger	Gas to Stack	-	
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			4,90E+02			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
UA (kJ/C·h)			4,59E+04			
Duty (kW)			1,12E+03			

TEE						
	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
SA-1	Steam 1	Water Drum	Exchanger	Steam 2	Steam Drum	Exchanger
				Water Outlet	Boiler Cooler	Cooler
SV2-1	VAP-Laminación	Superheater	Exchanger	VAP-2	-	
				To LM-1	LM-1	Valve
SV2-2	MPS-2	LM-1	Valve	To Cooler 2-1	Cooler 2-1	Cooler
				To LM-2	LM-2	Valve
COOLER						
BOILER COOLER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Water Outlet	SA-1	Tee	Purge	-	
	Energy Stream	EP-1				
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,36E+02 1,00E-01 5,88E+03 2,24E+02		
COOLER 2-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Cooler 2-1	SV2-2	Tee	VMP-2	-	
	Energy Stream	E2-1				
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-1,93E+02 1,00E-01 0,00E+01 3,42E+02		
COOLER 2-2	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Cooler 2-2	LM-2	Valve	VBP-2	-	
	Energy Stream	E2-2				
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,37E+02 1,00E-01 0,00E+01 4,22E+03		
VALVE						
LM-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To LM-1	SV2-1	Tee	MPS-2	SV2-2	Tee
	Especificaciones					
Delta P (kPa) Valve Opening (%)			2,79E+03 5,00E+01			
LM-2	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To LM-2	SV2-2	Tee	To Cooler 2-2	Cooler 2-2	Cooler
	Especificaciones					
Delta P (kPa) Valve Opening (%)			1,11E+03 5,00E+01			

ESCENARIO 7.

MIXER						
FUEL MIXER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Gas	-		Fuel Mixture	Furnance	Conversion Reactor
	Fuel Oil					
	Air Inlet					
CONVERSION REACTOR						
FURNANCE	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Mixture	Fuel Mixer	Mixer	Gas Outlet	Superheater	Exchanger
				Liquid Outlet	-	
	Especificaciones					
	T (°C) P (kPa) Delta P (kPa) Duty Liquid Level (%) Geometry Orientation			2,14E+03 1,99E+02 0,00E+01 0,00E+01 5,00E+01 Cylinder Vertical		
EXPANDER						
Ex-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Ex-1	SV1-1	Tee	VMP-1	-	
	Energy Stream	E1-1				
	Especificaciones					
	T (°C) P (kPa) Adiabatic Head (m) Polytropic Head (m) Adiabatic Efficiency (%) Polytropic Efficiency (%) Duty (kW)			-2,14E+02 -2,79E+03 5,55E+04 2,58E+04 7,50E+01 1,61E+02 3,42E+02		
HEAT EXCHANGER						
SUPERHEATER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 3	Steam Drum	Exchanger	VAP-Turbina	SV1-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet	Furnance	Conversion Reactor	Gas Outlet 1	Steam Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)			1,52E+03 0,00E+00 6,59E+02 3,08E+02			
STEAM DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 2	TEE-100	Tee	Steam 3	Superheater	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 1	Superheater	Exchanger	Gas Outlet 2	Water Drum	Exchanger

Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+00 0,00E+00 4,94E+03 1,35E+03		
WATER DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Tube Side	Water 2	Economizer	Exchanger	Steam 1	TEE-100
Shell Side	Gas Outlet 2	Steam Drum	Exchanger	Gas Outlet 3	Economizer	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				0,00E+00 0,00E+00 6,55E+03 5,06E+02		
ECONOMIZER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Tube Side	Water inlet	-		Water 2	Water Drum
Shell Side	Gas Outlet 3	Water Drum	Exchanger	Gas to Stack	-	
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa) Shell Side Delta P (kPa) UA (kJ/C·h) Duty (kW)				4,90E+02 0,00E+00 3,99E+03 9,69E+01		
TEE						
	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
TEE-100	Steam 1	Water Drum	Exchanger	Steam 2	Steam Drum	Exchanger
				Water Outlet	Boiler Cooler	Cooler
SVI-1	VAP-Turbina	Superheater	Exchanger	VAP-1	-	
				To Ex-1	Ex-1	Expander
COOLER						
BOILER COOLER	Conexión					
	Entradas		Procedencia		Salidas	Destino
	Water Outlet		TEE-100	Tee	Purge	-
	Energy Stream		EP-1			
	Especificaciones					
	T (°C) Volume (m³) Delta P (kPa) Duty (kW)			-2,36E+02 1,00E-01 5,88E+03 1,94E+01		

ESCENARIO 8.

MIXER						
FUEL MIXER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Gas	-		Fuel Mixture	Furnance	Conversion Reactor
	Fuel Oil					
	Air Inlet					
CONVERSION REACTOR						
FURNANCE	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Fuel Mixture	Fuel Mixer	Mixer	Gas Outlet	Superheater	Exchanger
				Liquid Outlet	-	
	Especificaciones					
	T (°C)			2,14E+03		
	P (kPa)			1,99E+02		
Delta P (kPa)			0,00E+01			
Duty			0,00E+01			
Liquid Level (%)			5,00E+01			
Geometry			Cylinder			
Orientation			Vertical			
HEAT EXCHANGER						
SUPERHEATER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 3	Steam Drum	Exchanger	VAP-Laminación	SV2-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet	Furnance	Conversion Reactor	Gas Outlet 1	Steam Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			1,52E+03			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
UA (kJ/C·h)			6,59E+02			
Duty (kW)			3,08E+02			
STEAM DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Steam 2	SA-1	Tee	Steam 3	Superheater	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 1	Superheater	Exchanger	Gas Outlet 2	Water Drum	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
UA (kJ/C·h)			4,94E+03			
Duty (kW)			1,35E+03			
WATER DRUM	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water 2	Economizer	Exchanger	Steam 1	SA-1	Tee
Shell Side	Gas Outlet 2	Steam Drum	Exchanger	Gas Outlet 3	Economizer	Exchanger
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
UA (kJ/C·h)			6,55E+03			
Duty (kW)			5,06E+02			

ECONOMIZER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
Tube Side	Water inlet	-		Water 2	Water Drum	Exchanger
Shell Side	Gas Outlet 3	Water Drum	Exchanger	Gas to Stack	-	
Especificaciones						
Tube Side Delta P (kPa)			4,90E+02			
Shell Side Delta P (kPa)			0,00E+00			
UA (kJ/C·h)			3,99E+03			
Duty (kW)			9,69E+01			
TEE						
	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
SA-1	Steam 1	Water Drum	Exchanger	Steam 2	Steam Drum	Exchanger
				Water Outlet	Boiler Cooler	Cooler
SV2-1	VAP-Laminación	Superheater	Exchanger	VAP-2	-	
				To LM-1	LM-1	Valve
COOLER						
BOILER COOLER	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	Water Outlet	SA-1	Tee	Purge	-	
	Energy Stream	EP-1				
	Especificaciones					
	T (°C)			-2,36E+02		
Volume (m³)			1,00E-01			
Delta P (kPa)			5,88E+03			
Duty (kW)			1,94E+01			
COOLER 2-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To Cooler 2-1	SV2-2	Tee	VMP-2	-	
	Energy Stream	E2-1				
	Especificaciones					
	T (°C)			-1,93E+02		
Volume (m³)			1,00E-01			
Delta P (kPa)			0,00E+01			
Duty (kW)			3,42E+02			
VALVE						
LM-1	Conexión					
	Entradas	Procedencia		Salidas	Destino	
	To LM-1	SV2-1	Tee	To Cooles 2-1	Cooler 2-1	Cooler
	Especificaciones					
	Delta P (kPa)			2,79E+03		
Valve Opening (%)			5,00E+01			

B.2 Caracterización económica de los escenarios evaluados

ESCENARIO 1	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: COGENERACIÓN	
	GENERACIÓN DE VAPOR: LAMINACIÓN DE VAPOR	
EQUIPO PRINCIPAL	Características	
Conversion Reactor (1)	CEPCI	3,99E+02
<i>Furnance</i>	Modelo	Furnance
	Material	CS/CS
	Hight (m)	2.5
	D (m)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	7,69E+03
	Bare module cost	3,70E+04
Expander (1)	CEPCI	3,99E+02
<i>Turbine of Gas</i>	Heat (kW)	5,61E+02
	N° Spares	1,00E+02
	Material	CS/CS
	Equipment cost (\$)	2,83E+05
	Bare module cost	9,92E+05
	Cost (\$/GJ)	2,50E+00
	Cost production (\$/s)	1,40E+00
Heat Exchanger (4)	CEPCI	3,99E+02
	Modelo	Shell & Tube
	A (m ²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	9,17E+03
	Bare module cost	3,21E+04
	Cost (\$/GJ)	5,20E+00
<i>Superheater</i>	Duty (kW)	3,56E+03
	Cost production (\$/s)	1,85E+01
<i>Steam Drum</i>	Duty (kW)	1,55E+04
	Cost production (\$/s)	8,07E+01
<i>Water Drum</i>	Duty (kW)	5,84E+03
	Cost production (\$/s)	3,04E+01
<i>Economizer</i>	Duty (kW)	1,12E+03
	Cost production (\$/s)	5,81E+00
Cooler (3)	CEPCI	3,99E+02
	A (m ²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	2,41E+04
	Bare module cost	5,91E+04
	Cost (\$/GJ)	1,60E-01
<i>Boiler Cooler</i>	Duty (kW)	2,24E+02
	Cost production (\$/s)	3,58E-02
<i>Cooler 2-1</i>	Duty (kW)	3,42E+02
	Cost production (\$/s)	5,48E-02
<i>Cooler 2-2</i>	Duty (kW)	4,22E+03
	Cost production (\$/s)	6,76E-01
Coste total:		
Coste de equipos (\$)	1,33E+06	
Costes de producción (\$/kW)	1,38E+02	

ESCENARIO 2		GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: COGENERACIÓN
		GENERACIÓN DE VAPOR: EXPANSIÓN DE VAPOR
EQUIPO PRINCIPAL		
Conversion Reactor (1)	CEPCI	3,99E+02
<i>Furnance</i>	Modelo	Furnance
	Material	CS/CS
	Hight (m)	2.5
	D (m)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	7,69E+03
	Bare module cost	3,70E+04
Expander (3)	CEPCI	3,99E+02
	Nº Spares	1,00E+02
	Material	CS/CS
	Cost (\$/GJ)	2,50E+00
<i>Turbine of Gas</i>	Heat (kW)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	1,03E+05
	Bare module cost	3,59E+05
	Cost production (\$/s)	2,50E-03
<i>Ex-1</i>	Heat (kW)	3,95E+03
	Equipment cost(\$)	8,94E+05
	Bare module cost	3,13E+06
	Cost production (\$/s)	9,87E+00
<i>Ex-2</i>	Heat (kW)	4,05E+02
	Equipment cost(\$)	2,34E+05
	Bare module cost	8,18E+05
	Cost production (\$/s)	1,01E+00
Heat Exchanger (4)	CEPCI	3,99E+02
	Modelo	Shell & Tube
	A (m ²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	9,17E+03
	Bare module cost	3,21E+04
	Cost (\$/GJ)	5,20E+00
<i>Superheater</i>	Duty (kW)	3,56E+03
	Cost production (\$/s)	1,85E+01
<i>Steam Drum</i>	Duty (kW)	1,55E+04
	Cost production (\$/s)	8,07E+01
<i>Water Drum</i>	Duty (kW)	5,84E+03
	Cost production (\$/s)	3,04E+01
<i>Economizer</i>	Duty (kW)	1,12E+03
	Cost production (\$/s)	5,81E+00
Cooler (2)	CEPCI	3,99E+02
	A (m ²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost(\$)	2,41E+04
	Bare module cost	5,91E+04
	Cost (\$/GJ)	1,60E-01
<i>Boiler Cooler</i>	Duty (kW)	2,24E+02
	Cost production (\$/s)	3,58E-02
<i>Cooler 1-1</i>	Duty (kW)	2,14E+02

	Cost production (\$/s)	2,14E+02
Coste total:		
Coste de equipos (\$)		4,59E+06
Costes de producción (\$/kW)		3,60E+02

ESCENARIO 3	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: COGENERACIÓN	
	GENERACIÓN DE VAPOR: LAMINACIÓN DE VAPOR CON RECUPERACIÓN DE CALOR	
EQUIPO PRINCIPAL		
Conversion Reactor (1)	CEPCI	3,99E+02
<i>Furnance</i>	Modelo	Furnance
	Material	CS/CS
	Hight (m)	2.5
	D (m)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	7,69E+03
	Bare module cost	3,70E+04
	Expander (1)	CEPCI
<i>Turbine of Gas</i>	Heat (kW)	5,61E+02
	Nº Spares	1,00E+02
	Material	CS/CS
	Equipment cost (\$)	2,83E+05
	Bare module cost	9,92E+05
	Cost (\$/GJ)	2,50E+00
	Cost production (\$/s)	1,40E+00
Heat Exchanger (4)	CEPCI	3,99E+02
	Modelo	Shell & Tube
	A (m²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	9,17E+03
	Bare module cost	3,21E+04
	Cost (\$/GJ)	5,20E+00
<i>Superheater</i>	Duty (kW)	3,08E+02
	Cost production (\$/s)	1,60E+00
<i>Steam Drum</i>	Duty (kW)	1,35E+03
	Cost production (\$/s)	7,00E+00
<i>Water Drum</i>	Duty (kW)	5,06E+02
	Cost production (\$/s)	2,63E+00
<i>Economizer</i>	Duty (kW)	9,69E+01
	Cost production (\$/s)	5,04E-01
Cooler (2)	CEPCI	3,99E+02
	A (m²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost(\$)	2,41E+04
	Bare module cost	5,91E+04
	Cost (\$/GJ)	1,60E-01
<i>Boiler Cooler</i>	Duty (kW)	1,94E+01
	Cost production (\$/s)	3,11E-03
<i>Cooler 2-1</i>	Duty (kW)	3,42E+02
	Cost production (\$/s)	5,48E-02
Coste total:		
Coste de equipos (\$)	1,27E+06	
Costes de producción (\$/kW)	1,32E+01	

ESCENARIO 4	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: COGENERACIÓN	
	GENERACIÓN DE VAPOR: EXPANSIÓN DE VAPOR CON RECUPERACIÓN DE CALOR	
EQUIPO PRINCIPAL		
Conversion Reactor (1)	CEPCI	3,99E+02
Furnance	Modelo	Furnance
	Material	CS/CS
	Hight (m)	2.5
	D (m)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	7,69E+03
	Bare module cost	3,70E+04
Expander (2)	CEPCI	3,99E+02
	Nº Spares	1,00E+02
	Material	CS/CS
	Cost (\$/GJ)	2,50E+00
Turbine of Gas	Heat (kW)	2,18E+02
Ex-1	Equipment cost (\$)	1,62E+05
	Bare module cost	5,68E+05
	Cost production (\$/s)	5,46E-01
	Heat (kW)	3,42E+02
	Equipment cost(\$)	2,12E+05
	Bare module cost	7,41E+05
	Cost production (\$/s)	8,56E-01
Heat Exchanger (4)	CEPCI	3,99E+02
	Modelo	Shell & Tube
	A (m²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	9,17E+03
	Bare module cost	3,21E+04
	Cost (\$/GJ)	5,20E+00
Superheater	Duty (kW)	3,08E+02
	Cost production (\$/s)	1,60E+00
Steam Drum	Duty (kW)	1,35E+03
	Cost production (\$/s)	7,00E+00
Water Drum	Duty (kW)	5,06E+02
	Cost production (\$/s)	2,63E+00
Economizer	Duty (kW)	9,69E+01
	Cost production (\$/s)	5,04E-01
Cooler (1)	CEPCI	3,99E+02
Boiler Cooler	A (m²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	Duty (kW)	1,94E+01
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost(\$)	2,41E+04
	Bare module cost	5,91E+04
	Cost (\$/GJ)	1,60E-01
	Cost production (\$/s)	3,11E-03
Coste total		
Coste de equipos (\$)		1,53E+06
Costes de producción (\$/kW)		1,31E+01

ESCENARIO 5		GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: EXPANSIÓN DE VAPOR DE CALDERA
		GENERACIÓN DE VAPOR: COMBUSTIÓN DE FUEL OIL I FUEL GAS
EQUIPO PRINCIPAL		
Conversion Reactor (1)	CEPCI	3,99E+02
<i>Furnance</i>	Modelo	Furnance
	Material	CS/CS
	Hight (m)	2.5
	D (m)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	7,69E+03
	Bare module cost	3,70E+04
Expander (2)	CEPCI	3,99E+02
	N° Spares	1,00E+02
	Material	CS/CS
	Cost (\$/GJ)	2,50E+00
<i>Ex-1</i>	Heat (kW)	3,95E+03
	Equipment cost(\$)	8,94E+05
	Bare module cost	3,13E+06
	Cost production (\$/s)	9,87E+00
<i>Ex-2</i>	Heat (kW)	4,05E+02
	Equipment cost(\$)	2,34E+05
	Bare module cost	8,18E+05
	Cost production (\$/s)	1,01E+00
Heat Exchanger (4)	CEPCI	3,99E+02
	Modelo	Shell & Tube
	A (m ²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	9,17E+03
	Bare module cost	3,21E+04
	Cost (\$/GJ)	5,20E+00
<i>Superheater</i>	Duty (kW)	3,56E+03
	Cost production (\$/s)	1,85E+01
<i>Steam Drum</i>	Duty (kW)	1,55E+04
	Cost production (\$/s)	8,07E+01
<i>Water Drum</i>	Duty (kW)	5,84E+03
	Cost production (\$/s)	3,04E+01
<i>Economizer</i>	Duty (kW)	1,12E+03
	Cost production (\$/s)	5,81E+00
Cooler (2)	CEPCI	3,99E+02
	A (m ²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost(\$)	2,41E+04
	Bare module cost	5,91E+04
	Cost (\$/GJ)	1,60E-01
<i>Boiler Cooler</i>	Duty (kW)	2,24E+02
	Cost production (\$/s)	3,58E-02
<i>Cooler 1-1</i>	Duty (kW)	2,14E+02
	Cost production (\$/s)	3,42E-02
Coste total		
Coste de equipos (\$)		4,23E+06

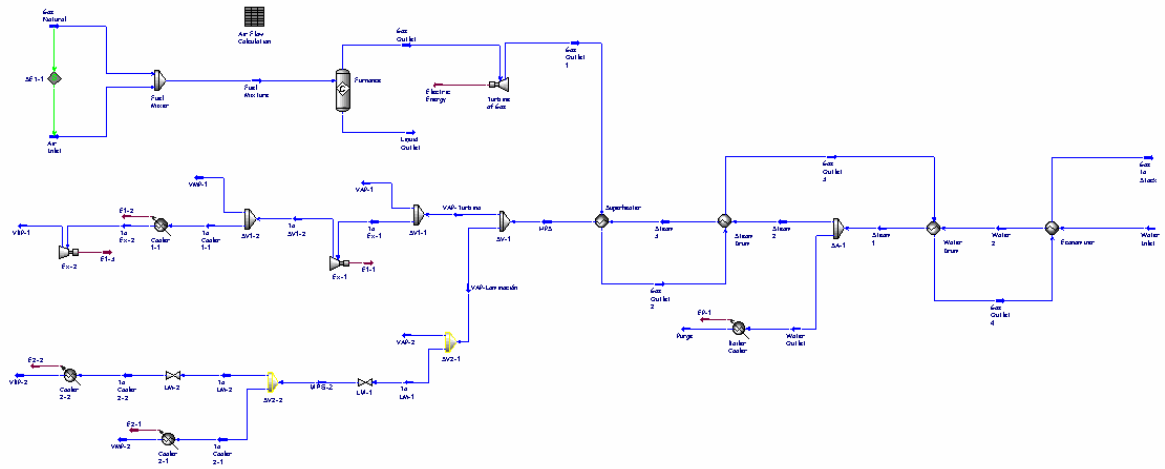
Costes de producción (\$/kW)	1,46E+02
------------------------------	----------

ESCENARIO 6		GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: MATRIZ ESPAÑA
		GENERACIÓN DE VAPOR: LAMINACIÓN DE VAPOR DE CALDERA
EQUIPO PRINCIPAL		
Conversion Reactor (1)	CEPCI	3,99E+02
Furnance	Modelo	Furnance
	Material	CS/CS
	Hight (m)	2.5
	D (m)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	7,69E+03
	Bare module cost	3,70E+04
	Heat Exchanger (4)	CEPCI
	Modelo	Shell & Tube
	A (m²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	9,17E+03
	Bare module cost	3,21E+04
	Cost (\$/GJ)	5,20E+00
	Superheater	Duty (kW)
Cost production (\$/s)		1,85E+01
Steam Drum	Duty (kW)	1,55E+04
	Cost production (\$/s)	8,07E+01
Water Drum	Duty (kW)	5,84E+03
	Cost production (\$/s)	3,04E+01
Economizer	Duty (kW)	1,12E+03
	Cost production (\$/s)	5,81E+00
Cooler (3)	CEPCI	3,99E+02
	A (m²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost(\$)	2,41E+04
	Bare module cost	5,91E+04
	Cost (\$/GJ)	1,60E-01
	Boiler Cooler	Duty (kW)
Cost production (\$/s)		3,58E-02
Cooler 2-1	Duty (kW)	3,42E+02
	Cost production (\$/s)	5,48E-02
Cooler 2-2	Duty (kW)	4,22E+03
	Cost production (\$/s)	6,76E-01
Coste total		
Coste de equipos (\$)		2,83E+05
Costes de producción (\$/kW)		1,36E+02

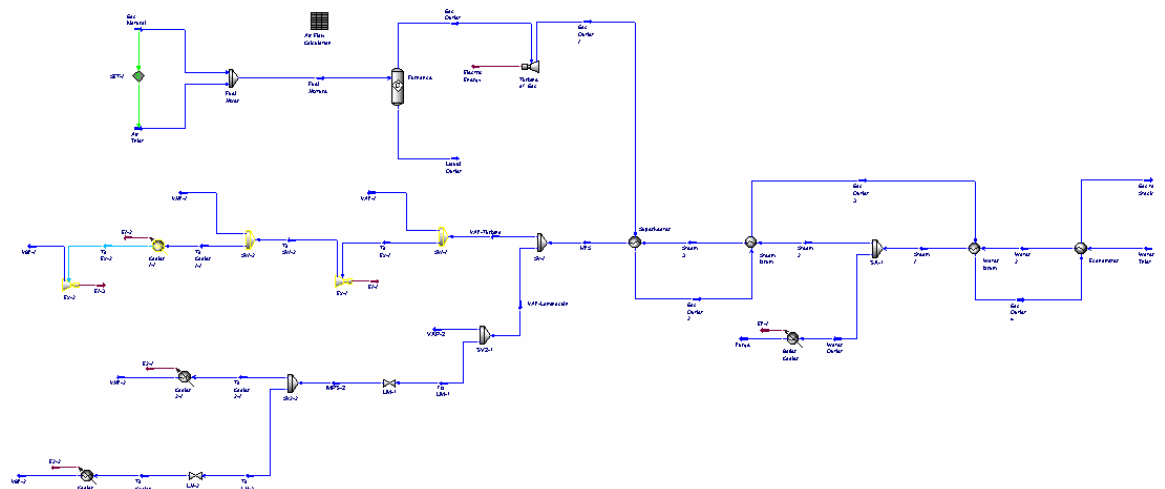
ESCENARIO 7	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: EXPANSIÓN DE VAPOR Y MATRIZ ESPAÑA	
	GENERACIÓN DE VAPOR: CALDERA CON RECUPERACIÓN DE CALOR	
	EQUIPO PRINCIPAL	
Conversion Reactor (1)	CEPCI	3,99E+02
<i>Furnance</i>	Modelo	Furnance
	Material	CS/CS
	Hight (m)	2.5
	D (m)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	7,69E+03
	Bare module cost	3,70E+04
Expander (1)	CEPCI	3,99E+02
<i>Ex-1</i>	Heat (kW)	3,42E+02
	Nº Spares	1,00E+02
	Material	CS/CS
	Equipment cost(\$)	2,12E+05
	Bare module cost	7,41E+05
	Cost (\$/GJ)	2,50E+00
	Cost production (\$/s)	8,56E-01
Heat Exchanger (4)	CEPCI	3,99E+02
	Modelo	Shell & Tube
	A (m ²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	9,17E+03
	Bare module cost	3,21E+04
	Cost (\$/GJ)	5,20E+00
<i>Superheater</i>	Duty (kW)	3,08E+02
	Cost production (\$/s)	1,60E+00
<i>Steam Drum</i>	Duty (kW)	1,35E+03
	Cost production (\$/s)	7,00E+00
<i>Water Drum</i>	Duty (kW)	5,06E+02
	Cost production (\$/s)	2,63E+00
<i>Economizer</i>	Duty (kW)	9,69E+01
	Cost production (\$/s)	5,04E-01
Cooler (1)	CEPCI	3,99E+02
<i>Boiler Cooler</i>	A (m ²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	Duty (kW)	1,94E+01
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost(\$)	2,41E+04
	Bare module cost	5,91E+04
	Cost (\$/GJ)	1,60E-01
	Cost production (\$/s)	3,11E-03
Coste total:		
Coste de equipos (\$)	9,65E+05	
Costes de producción (\$/kW)	1,26E+01	

ESCENARIO 8	GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: MATRIZ ESPAÑA	
	GENERACIÓN DE VAPOR: LAMINACIÓN DE VAPOR DE CALDERA Y RECUPERACIÓN DE CALOR	
EQUIPO PRINCIPAL		
Conversion Reactor (1)	CEPCI	3,99E+02
Furnance	Modelo	Furnance
	Material	CS/CS
	Hight (m)	2.5
	D (m)	1,00E+00
	Equipment cost (\$)	7,69E+03
	Bare module cost	3,70E+04
Heat Exchanger (4)	CEPCI	3,99E+02
	Modelo	Shell & Tube
	A (m²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost (\$)	9,17E+03
	Bare module cost	3,21E+04
	Cost (\$/GJ)	5,20E+00
Superheater	Duty (kW)	3,08E+02
	Cost production (\$/s)	1,60E+00
Steam Drum	Duty (kW)	1,35E+03
	Cost production (\$/s)	7,00E+00
Water Drum	Duty (kW)	5,06E+02
	Cost production (\$/s)	2,63E+00
Economizer	Duty (kW)	9,69E+01
	Cost production (\$/s)	5,04E-01
Cooler (2)	CEPCI	3,99E+02
	A (m²)	6,03E+01
	Material	CS/CS
	P máx (bar)	4,00E+01
	Equipment cost(\$)	2,41E+04
	Bare module cost	5,91E+04
	Cost (\$/GJ)	1,60E-01
Boiler Cooler	Duty (kW)	1,94E+01
	Cost production (\$/s)	3,11E-03
Cooler 2-1	Duty (kW)	3,42E+02
	Cost production (\$/s)	5,48E-02
Coste total		
Coste de equipos (\$)		2,83E+05
Costes de producción (\$/kW)		1,18E+01

Escenario 2



Escenario 3

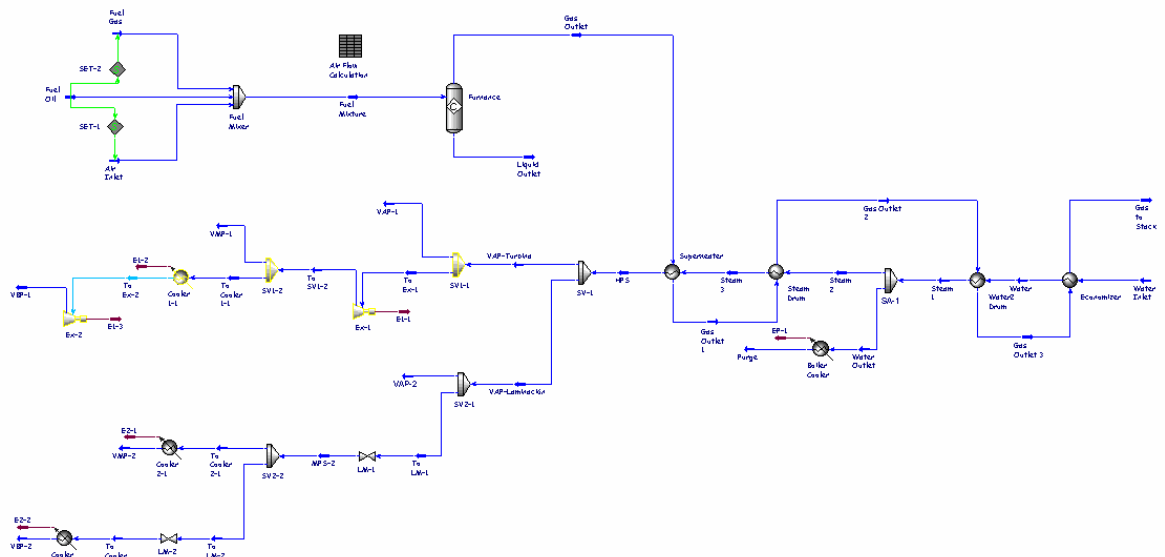


[illegible]

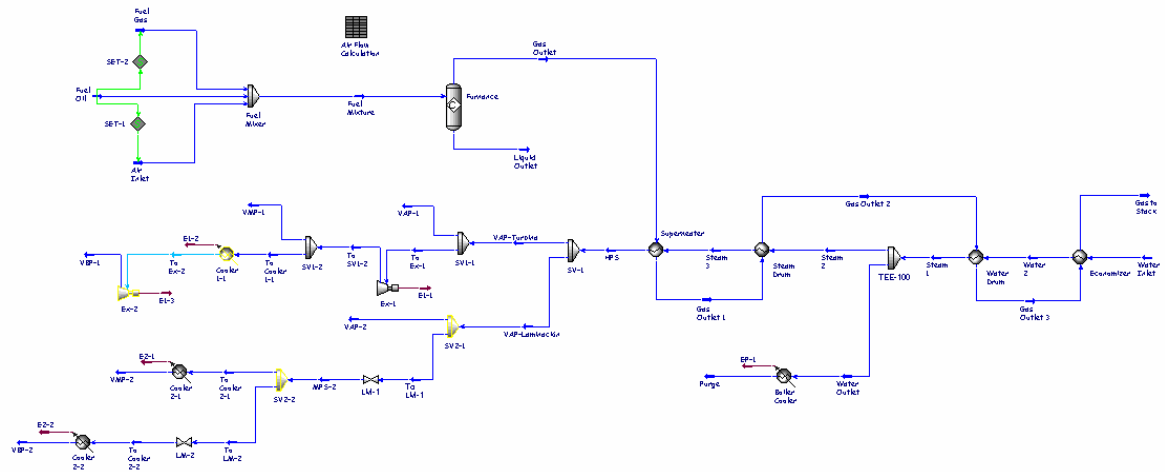
The diagram illustrates the process flow of a Fischer-Tropsch (F-T) synthesis plant. Key components and flow streams include:

- Feed Gas** and **Fuel Oil** are the primary inputs.
- SET-1** and **SET-2** are control valves for the feed streams.
- Air Flow Calculator** is used to determine the required air flow.
- Fuel Mixer** combines the feed streams.
- Furnace** is the main reactor where the F-T synthesis occurs.
- Liquid Outlet** and **Gas Outlet** are the primary products.
- Supercritical** separator separates the gas and liquid phases.
- Steam Drum** and **Water Drum** are used for steam and water management.
- TEE-100** is a tee junction for steam flow.
- Recumizer** is used for recycling or reprocessing.
- Purge** system is used to remove impurities.
- Gas To Storage** is the final destination for the gas product.

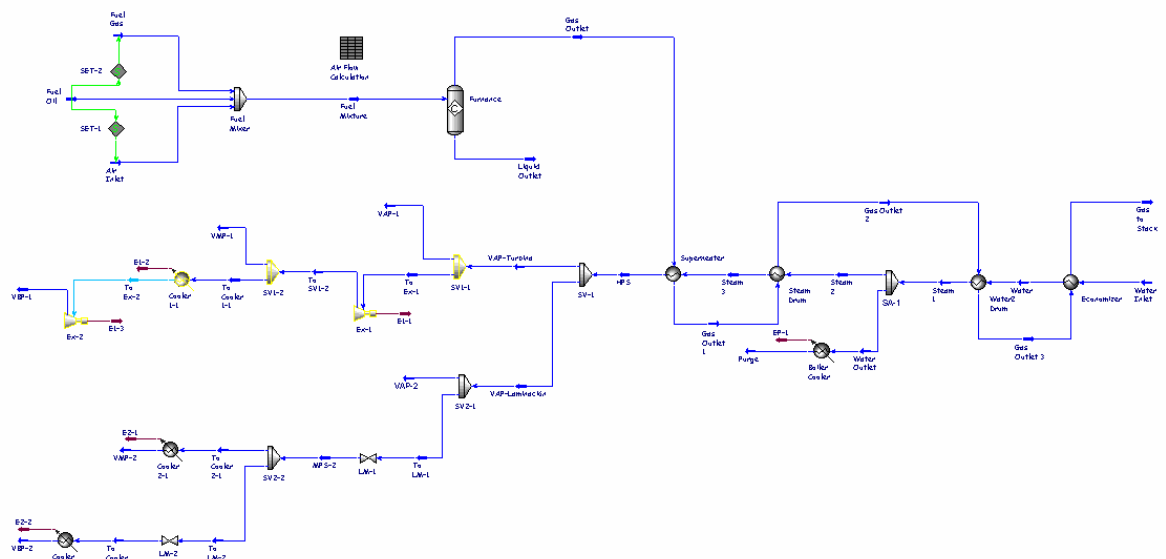
Escenario 6



Escenario 7



Escenario 8



B.2 Eco-vectores de los escenarios 2 al 8

Inventario del escenario 2

ENTRADAS		
Corrientes	Caudales	Total de Entradas
Gas Natural (kg/h)	2075.95	72218.27
Aire (kg/h)	34588.79	
Agua (kg/h)	35553.53	
Agua como Recurso Natural (kg/h)	28442.82	
SALIDAS		
PRODUCTOS DEL SISTEMA		
Corrientes	Caudales (netos)	Total energía producida
Electricidad Turbina de Gas (KW)	1.00	4668.13
Electricidad de la Expansión (KW)	4567.13	
Vapor de Media Presión (kg/h)	3021.93	34837.69
Vapor de Baja Presión (Kg/h)	31815.76	
EMISIONES ATMOSFERICAS (36664.37 kg/h Gases de Chimenea)		
Compuestos	Concentraciones (masicas)	Caudal Especifico (kg/h)
N ₂	0.68747	25205.49
O ₂	0.03864	1416.60
CO ₂	0.15261	5595.17
H ₂ O	0.12121	4444.11
NOx	0.00008	3.00
Material Particulado	-	0.285
VERTIDOS LIQUIDOS		
Corrientes	Caudales (netos)	Total de Vertidos (neto)
COD (kg/h)	-	0.073

Inventario del escenario 3

ENTRADAS		
Corrientes	Caudales	Total de Entradas
Gas Natural (kg/h)	224.82	7054.73
Aire (kg/h)	3745.88	
Agua (kg/h)	3084.03	
Agua como Recurso Natural (kg/h)	2467.22	
SALIDAS		
PRODUCTOS DEL SISTEMA		
Corrientes	Caudales (netos)	Total de Entradas (neto)
Electricidad de la Turbina a Gas (KW)	560.80	560.80
Electricidad de la Expansión (KW)	0.00	
Vapor de Media Presión (kg/h)	3021.93	3021.93
Vapor de Baja Presión (Kg/h)	0.00	
EMISIONES ATMOSFERICAS (3970.66 kg/h Gases de Chiminea)		
Compuestos	Concentraciones (masicas)	Caudal Especifico (kg/h)
N ₂	0.68747	2729.69
O ₂	0.03864	153.41
CO ₂	0.15261	605.94
H ₂ O	0.12121	481.29
NOx	0.00008	0.32
Material Particulado (kg/h)	-	0.025
VERTIDOS LIQUIDOS		
Corrientes	Caudales (netos)	Total (neto)
COD (kq/h)	-	0.0063

Inventario del escenario 4

ENTRADAS		
Corrientes	Caudales	Total de Entradas
Gas Natural (kg/h)	197.50	6572.21
Aire (kg/h)	3290.68	
Agua (kg/h)	3084.03	
Agua como Recurso Natural (kg/h)	2467.22	
SALIDAS		
PRODUCTOS DEL SISTEMA		
Corrientes	Caudales (netos)	Total de Entradas (neto)
Electricidad de la Turbina a Gas (KW)	218.34	560.80
Electricidad de la Expansión (KW)	342.46	
Vapor de Media Presión (kg/h)	3021.93	3021.93
Vapor de Baja Presión (Kg/h)	0.00	
EMISIONES ATMOSFERICAS (3488.14 kg/h Gases de Chimenea)		
Compuestos	Concentraciones (masicas)	Caudal Especifico (kg/h)
N ₂	0.68747	2397.98
O ₂	0.03864	134.77
CO ₂	0.15261	532.31
H ₂ O	0.12121	422.80
NOx	0.00008	0.29
Material Particulado (kg/h)	-	0.025
VERTIDOS LIQUIDOS		
Corrientes	Caudales (netos)	Total de Vertidos (neto)
COD (kq/h)	-	0.0063

Inventario del escenario 5

ENTRADAS		
Corrientes	Caudales	Total de Entradas
Fuel Oil (kg)	2100.85	71010.33
Fuel Gas(kg)	210.09	
Aire (kg)	33145.86	
Agua (kg)	35553.53	
Agua como Recurso Natural (kg/h)	28442.82	
SALIDAS		
PRODUCTOS DEL SISTEMA		
Corrientes	Caudales (netos)	Total de Productos (neto)
Electricidad de la Turbina a Gas (KW)	0.00	4567.13
Electricidad de la Expansión (KW)	4567.13	
Vapor de Media Presión (kg/h)	3021.93	34837.69
Vapor de Baja Presión (Kg/h)	31815.76	
EMISIONES ATMOSFERICAS GASEOSAS (35456.52kg/h Gases de Chimenea)		
Compuestos	Fracción másica en)	Caudal Especifico (kg/h)
Compuestos	Emisiones (kg)	Emisiones (kg)
N ₂	0.6794	24089.21
O ₂	0.0369	1308.36
CO ₂	0.2074	7353.66
H ₂ O	0.0740	2623.84
SO ₂	0.0003	9.40
NOx	0.0020	72.04
Material Particulado (kg/h)	-	¿5.860?
VERTIDOS LIQUIDOS		
Corrientes	Caudales (netos)	Total
COD (kg/h)	-	0.045

Inventario del escenario 6

Base: demanda energética	CALDERA	MATRIZ ESPAÑA	Total
Corrientes	Caudales	Caudales	
Fuel Oil (kg)	182.24		182.24
Fuel Gas(kg)	18.22		18.22
Aire (kg)	2875.19		2875.19
Carbón (kg)		34.08	34.08
Gas Natural (kg)		3.66	3.66
Crudo (kg)		6.46	6.46
Electricidad (MW)		95161.23	95161.23
Agua (kg)	3084.03	290.93	3374.96
Agua como Recurso Natural (kg/h)	2467.22	290.93	2758.15
SALIDAS			
PRODUCTOS DEL SISTEMA			
Corrientes	Caudales (netos)	Total de Productos (neto)	
Electricidad de la expansión (KW)	342.46	561.45	
Electricidad de la Red (KW)	218.99		
Vapor de Media Presión (kg/h)	3021.93	3021.93	
Vapor de Baja Presión (Kg/h)	0.00		
EMISIONES ATMOSFERICAS (3075.62kg/h Gases de Chimenea)			
	CALDERA	MATRIZ ESPAÑA	Total
Compuestos	Emisiones (kg/h)	Emisiones (kg/ h)	
Nitrogen	2089.5807		2089.581
Oxigen	113.4901		113.490
CO ₂	637.8823	101.19	739.076
H ₂ O	227.6013		227.601
SO ₂	0.8150	0.591	1.406
NOx	71.8241	0.532	72.356
VOC		1.371	1.371
Material Particulado (kg/h)	0.508	0.451	0.960
VERTIDOS LIQUIDOS			
Corrientes	CALDERA	MATRIZ ESPAÑA	Total
DQO (kg/h)	0.0039	0.00036	0.0043
RESIDUOS SÓLIDOS			
Corrientes	CALDERA	MATRIZ ESPAÑA	Total
Residuos Sólidos (kg/h)	0.000	19.427	19.427

Inventario del escenario 7

Base: demanda energética	CALDERA	MATRIZ ESPAÑA	Total
Corrientes	Caudales	Caudales	
Fuel Oil (kg)	2096.40		2096.40
Fuel Gas(kg)	209.64		209.64
Aire (kg)	33142.33		33142.33
Carbón (kg)		87.27	87.27
Gas Natural (kg)		9.36	9.36
Crudo (kg)		16.54	16.54
Electricidad (MW)		243692.95	243692.95
Agua (kg)	35553.53	745.02	36298.55
Agua como Recurso Natural (kg/h)	28442.82	745.02	29187.84
SALIDAS			
PRODUCTOS DEL SISTEMA			
Corrientes	Caudales (netos)		Total (neto)
Electricidad de la laminación (KW)	0.00		560.80
Electricidad de la Red (KW)	560.80		
Vapor de Media Presión (kg/h)	3021.93		34837.69
Vapor de Baja Presión (Kg/h)	31815.76		
EMISIONES ATMOSFERICAS (35448.09 kg/h Gases de Chimenea)			
Compuestos	Emisiones (kg)	Emisiones (kg)	TOTAL
Nitrogen	24087.0647		24087.065
Oxigen	1308.4652		1308.465
CO ₂	7326.5370	259.14	7585.678
H ₂ O	2645.2995		2645.300
SO ₂	8.9029	1.513	10.416
NOx	6.2515	0.207	6.459
VOC		0.535	0.535
Material Particulado (kg/h)	5.860	1.156	7.016
VERTIDOS LIQUIDOS			
Corrientes	CALDERA REPSOL	MATRIZ ESPAÑA	Total
DQO (kg)	0.045	0.00093	0.046
RESIDUOS SOLIDOS			
Corrientes	CALDERA REPSOL	MATRIZ ESPAÑA	Total
Residuos Solidos (kg/h)	0.000	49.749	49.749

Inventario escenario 8

ENTRADAS			
Corrientes	CALDERA	MATRIZ ESPAÑA	Total
Fuel Oil (kg)	181.85		181.85
Fuel Gas(kg)	18.19		18.19
Aire (kg)	2874.90		2874.90
Carbón (kg)		87.38	87.38
Gas Natural (kg)		9.37	9.37
Crudo (kg)		16.55	16.55
Electricidad (MW)		243976.18	243976.18
Agua (kg)	3084.03	745.89	3829.92
Agua como Recurso Natural (kg/h)	2467.22	745.89	3213.11
SALIDAS			
PRODUCTOS DEL SISTEMA			
Corrientes	Caudales (netos)	Total de Productos (neto)	
Electricidad de la laminación (KW)	0.00	561.45	
Electricidad de la Red (KW)	561.45		
Vapor de Media Presión (kg/h)	3021.93	3021.93	
Vapor de Baja Presión (Kg/h)	0.00		
EMISIONES ATMOSFERICAS (3074.91 kg/h Gases de Chimenea)			
	CALDERA REPSOL	MATRIZ ESPAÑA	Total
Compuestos	Emisiones (kg)	Emisiones (kg)	
Nitrogen	2089.4069		2089.407
Oxigen	113.5014		113.501
CO ₂	635.5327	259.44	894.975
H ₂ O	229.4637		229.464
SO ₂	0.7723	1.514	2.287
NOx	6.2303	0.532	6.762
VOC		1.371	1.371
Material Particulado (kg/h)	0.508	1.157	1.665
VERTIDOS LIQUIDOS			
Corrientes	CALDERA REPSOL	MATRIZ ESPAÑA	Total
DQO (kg/h)	0.0039	0.00093	0.0048
RESIDUOS SOLIDOS			
Corrientes	CALDERA REPSOL	MATRIZ ESPAÑA	Total
Residuos Solidos (kg/h)	0.000	49.807	49.807

B.3 Resultados de la caracterización de sustancias evaluadas en entornos (Genérico) local y global

		Entorno local			Entorno global		
		Compuestos de Nitrógeno	Compuestos de Azufre	Nafta	Compuestos de Nitrógeno	Compuestos de Azufre	Nafta
Tipo de sustancia		1	1	1	1	1	1
Peso molecular (g/mol)		4.600E+01	6.410E+01	1.280E+02	4.602E+01	6.406E+01	1.282E+02
Solubilidad agua (g/mol3)		9.840E+05	1.070E+05	3.110E+03	2.173E+04	1.670E+03	2.434E-01
Presión de vapor (Pa)		1.010E+05	3.120E+05	1.290E+01	1.013E+05	1.013E+05	1.287E+01
Constante henry (Pa.m³/mol)		4.722E+00	1.869E+02	5.309E-01	4.662E+00	6.065E+01	4.671E+01
Log kow		-5.800E-01	1.000E-02	3.380E+00			
Coeficiente de partición octanol-agua (kow)					2.630E-01	6.310E-03	2.386E+03
Punto ebullición (C)							
Punto fusión (C)		-1.100E+01	-7.551E+01	8.100E+01	2.620E+02	1.976E+02	3.536E+02
Relación de fugacidad			1.000E+00	2.793E-01			
Temperatura (C)		2.500E+01	2.500E+01	2.500E+01			
Vida media de reacción (h)	Aire	3.504E+01	3.600E+00	1.627E+03	1.458E+00	3.600E+00	6.783E-01
	Agua	1.000E+11	1.000E+11	2.470E+02			
	Agua subterránea				1.100E-11		1.295E+02
	agua superficial						1.025E+01
	Suelo	1.000E+11	1.000E+11	1.090E+04			
	Suelo superficial					3.600E+00	4.545E+02
	Zona raíces (suelo)				1.100E-11		4.545E+02
	Hojas						4.545E+02
	Sedimento	1.000E+11	1.000E+11	3.096E+03			1.293E+02
	Peces	1.000E+11	1.000E+11	1.000E+11			
	Aerosol	1.000E+11	1.000E+11	1.000E+11			
	koc (l/kg)	1.078E-01	4.196E-01	9.835E+02	1.263E-01	3.029E-03	1.065E+03
Aire-agua,kaw (dimensionless)		1.90E-03	7.54E-02	2.14E-04			

Coeficiente de difusión (m ² /d)	Aire puro				6.088E-01	6.088E-01	5.098E-01
	Agua pura				6.864E-05	6.864E-05	7.437E-05
Factor transpiración (m ³ (agua)/m ³ (s))					5.806E-03	3.209E-05	6.766E-01
Factor biotransferencia	Plantes-aire (m ³ a/kg(pFM))				3.044E-01	2.357E-02	3.314E-01
	Dieta leche (d/L)				2.089E-09	5.012E-11	1.895E-05
	Dieta carne (d/kg)				6.607E-09	1.585E-10	5.993E-05
	Dieta huevos (d/kg)				4.169E-08	1.000E-09	3.782E-04
	Leche materna(d/L)				5.261E-08	1.262E-09	4.772E-04
Factor bioconcentración pez/agua	Pez-agua				1.263E-02	3.029E-04	1.145E+02
Coeficiente permeabilidad en piel (cm/h)					5.109E-04	9.631E-05	3.287E-01
Fracción dérmica del suelo					2.014E-01	2.014E-01	2.014E-01

B.4. Impactos potenciales para las categorías de impacto evaluadas en el caso de aplicación

IMPACTOS			1	2	3	4	5	6	7	8
CML-Air Acidification	g eq. H+	/	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.93E+02	4.84E+01	3.37E+02	8.29E+01
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	g eq. H+	4.60E+01						4.50E+00	1.15E+01	1.15E+01
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	g eq. H+	3.20E+01					2.93E+02	4.39E+01	3.25E+02	7.14E+01
CML-Aquatic Eco-toxicity	1e3m3	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CML-Depletion of non renewable resources	frac. of reserve	/	1.63E-11	1.60E-11	1.73E-12	1.52E-12	0.00E+00	3.94E-14	1.01E-13	1.01E-13
(r) Coal (in ground)	frac. of reserve	2.98E+15						1.14E-14	2.93E-14	2.93E-14
(r) Natural Gas (in ground)	frac. of reserve	1.30E+14	1.63E-11	1.60E-11	1.73E-12	1.52E-12		2.80E-14	7.21E-14	7.21E-14
CML-Eutrophication	g eq. PO4	*	1.61E+00	1.61E+00	1.39E-01	1.39E-01	9.90E-01	2.70E+01	7.00E+01	6.91E+01
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	g eq. PO4	1.30E-01						2.69E+01	6.90E+01	6.90E+01
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	g eq. PO4	2.20E-02	1.61E+00	1.61E+00	1.39E-01	1.39E-01	9.90E-01	9.46E-02	1.01E+00	1.06E-01
CML-Eutrophication (water)	g eq. PO4	*	1.61E+00	1.61E+00	1.39E-01	1.39E-01	9.90E-01	9.46E-02	1.01E+00	1.06E-01
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	g eq. PO4	2.20E-02	1.61E+00	1.61E+00	1.39E-01	1.39E-01	9.90E-01	9.46E-02	1.01E+00	1.06E-01
CML-Human Toxicity	g	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.13E+04	1.85E+03	1.29E+04	3.16E+03
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	g	7.80E-01						1.61E+02	4.14E+02	4.14E+02
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	g	1.20E+00					1.13E+04	1.68E+03	1.25E+04	2.74E+03
CML-Odour (air)	m3	/	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CML-Terrestrial Eco-toxicity	t	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CST-Aquatic Eco-toxicity	eq. Zn water	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CST-Human Toxicity	eq. Pb air	*	2.14E+00	2.14E+00	1.88E-01	1.88E-01	1.14E+02	1.81E+01	1.32E+02	3.07E+01
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	eq. Pb air	2.00E-03						4.14E-01	1.06E+00	1.06E+00
(a) Particulates (unspecified)	eq. Pb air	7.50E-03	2.14E+00	2.14E+00	1.88E-01	1.88E-01	4.40E+01	7.19E+00	5.26E+01	1.25E+01
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	eq. Pb air	7.50E-03					7.04E+01	1.05E+01	7.81E+01	1.71E+01
CST-Terrestrial Eco-toxicity	eq. Zn air	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
EB(R)-Depletion of non renewable resources	unit	/	1.63E-02	1.60E-02	1.73E-03	1.52E-03	0.00E+00	3.94E-05	1.01E-04	1.01E-04
(r) Coal (in ground)	unit	2.98E+06						1.14E-05	2.93E-05	2.93E-05
(r) Natural Gas (in ground)	unit	1.30E+05	1.63E-02	1.60E-02	1.73E-03	1.52E-03		2.80E-05	7.20E-05	7.20E-05
EB(R*Y)-Depletion of non renewable resources	yr-1	*	2.48E+02	2.43E+02	2.63E+01	2.31E+01	0.00E+00	4.43E-01	1.14E+00	1.14E+00
(r) Coal (in ground)	yr-1	5.04E-04						1.71E-02	4.40E-02	4.40E-02
(r) Natural Gas (in ground)	yr-1	1.17E-01	2.48E+02	2.43E+02	2.63E+01	2.31E+01		4.26E-01	1.10E+00	1.10E+00
EB(Y)-Depletion of non renewable resources	kg/yr	/	3.21E+01	3.15E+01	3.41E+00	2.99E+00	0.00E+00	1.06E-01	2.73E-01	2.73E-01
(r) Coal (in ground)	kg/yr	6.66E+02						5.10E-02	1.31E-01	1.31E-01
(r) Natural Gas (in ground)	kg/yr	6.60E+01	3.21E+01	3.15E+01	3.41E+00	2.99E+00		5.52E-02	1.42E-01	1.42E-01
EPA-Maximum Incremental Reactivity	g O3	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

ETH-Air Acidification	g eq. H+	/	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.93E+02	4.84E+01	3.37E+02	8.29E+01
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	g eq. H+	4.60E+01						4.50E+00	1.15E+01	1.15E+01
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	g eq. H+	3.20E+01					2.93E+02	4.39E+01	3.25E+02	7.14E+01
IPCC-Greenhouse effect (direct, 100 years)	g eq. CO2	*	5.72E+03	5.60E+03	6.06E+02	5.32E+02	7.35E+03	7.38E+02	7.58E+03	8.94E+02
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	g eq. CO2	1.00E+00	5.72E+03	5.60E+03	6.06E+02	5.32E+02	7.35E+03	7.38E+02	7.58E+03	8.94E+02
IPCC-Greenhouse effect (direct, 20 years)	g eq. CO2	*	5.72E+03	5.60E+03	6.06E+02	5.32E+02	7.35E+03	7.38E+02	7.58E+03	8.94E+02
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	g eq. CO2	1.00E+00	5.72E+03	5.60E+03	6.06E+02	5.32E+02	7.35E+03	7.38E+02	7.58E+03	8.94E+02
IPCC-Greenhouse effect (direct, 500 years)	g eq. CO2	*	5.72E+03	5.60E+03	6.06E+02	5.32E+02	7.35E+03	7.38E+02	7.58E+03	8.94E+02
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	g eq. CO2	1.00E+00	5.72E+03	5.60E+03	6.06E+02	5.32E+02	7.35E+03	7.38E+02	7.58E+03	8.94E+02
USES 1.0-Aquatic Ecotoxicity	g eq. 1-4-dichlorobenzene	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
USES 1.0-Human Toxicity	g eq. 1-4-dichlorobenzene	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.50E+03	2.78E+02	1.80E+03	5.04E+02
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	g eq. 1-4-dichlorobenzene	2.60E-01						5.38E+01	1.38E+02	1.38E+02
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	g eq. 1-4-dichlorobenzene	1.60E-01					1.50E+03	2.25E+02	1.67E+03	3.66E+02
USES 1.0-Terrestrial Ecotoxicity	g eq. 1-4-dichlorobenzene	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
USES 2.0-Human Toxicity	g eq. 1-4-dichlorobenzene	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
USES 2.0-Sediment Ecotoxicity	g eq. 1-4-dichlorobenzene	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
USES 2.0-Terrestrial Ecotoxicity	g eq. 1-4-dichlorobenzene	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WMO-Depletion of the ozone layer (average)	g eq. CFC-11	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WMO-Depletion of the ozone layer (high)	g eq. CFC-11	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WMO-Depletion of the ozone layer (low)	g eq. CFC-11	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WMO-Photochemical oxidant formation (high)	g eq. ethylene	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
WMO-Photochemical oxidant formation (low)	g eq. ethylene	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
INDICATORS										
CVCH-Air	m3	/	4.07E+06	4.07E+06	3.57E+05	3.57E+05	3.97E+08	6.74E+07	4.65E+08	1.18E+08
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	m3	3.00E-05						6.90E+06	1.77E+07	1.77E+07
(a) Particulates (unspecified)	m3	7.00E-05	4.07E+06	4.07E+06	3.57E+05	3.57E+05	8.37E+07	1.37E+07	1.00E+08	2.38E+07
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	m3	3.00E-05					3.13E+08	4.68E+07	3.47E+08	7.62E+07
CVCH-Water	litre	/	2.43E+03	2.43E+03	2.10E+02	2.10E+02	1.50E+03	1.43E+02	1.53E+03	1.60E+02
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	litre	3.00E-02	2.43E+03	2.43E+03	2.10E+02	2.10E+02	1.50E+03	1.43E+02	1.53E+03	1.60E+02
Eco-indicator 95	millipoints	*	1.64E+01	1.63E+01	1.46E+00	1.44E+00	1.64E+03	2.67E+02	1.89E+03	4.55E+02
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	millipoints	1.91E-04	1.09E+00	1.07E+00	1.16E-01	1.02E-01	1.40E+00	1.41E-01	1.45E+00	1.71E-01

(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	millipoint	7.94E-02						1.64E+01	4.22E+01	4.22E+01
(a) Particulates (unspecified)	millipoints	5.29E-02	1.51E+01	1.51E+01	1.32E+00	1.32E+00	3.10E+02	5.06E+01	3.71E+02	8.79E+01
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	millipoint	1.42E-01					1.33E+03	1.99E+02	1.48E+03	3.24E+02
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	millipoint	2.89E-03	2.11E-01	2.11E-01	1.82E-02	1.82E-02	1.30E-01	1.24E-02	1.33E-01	1.39E-02
Ecopoints-Air	Ecopoint	*	2.06E+02	2.01E+02	2.18E+01	1.92E+01	2.16E+05	4.11E+04	2.62E+05	7.50E+04
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	Ecopoint	3.60E-02	2.06E+02	2.01E+02	2.18E+01	1.92E+01	2.65E+02	2.66E+01	2.73E+02	3.22E+01
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	Ecopoint	4.23E+01						8.76E+03	2.25E+04	2.25E+04
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	Ecopoint	2.30E+01					2.16E+05	3.23E+04	2.39E+05	5.26E+04
Ecopoints-Energy & Waste	Ecopoint	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Ecopoints-Total	Ecopoint	*	4.85E+02	4.81E+02	4.59E+01	4.33E+01	2.16E+05	4.11E+04	2.62E+05	7.51E+04
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	Ecopoint	3.60E-02	2.06E+02	2.01E+02	2.18E+01	1.92E+01	2.65E+02	2.66E+01	2.73E+02	3.22E+01
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	Ecopoint	4.23E+01						8.76E+03	2.25E+04	2.25E+04
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	Ecopoint	2.30E+01					2.16E+05	3.23E+04	2.39E+05	5.26E+04
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	Ecopoint	3.83E+00	2.80E+02	2.80E+02	2.41E+01	2.41E+01	1.72E+02	1.65E+01	1.76E+02	1.84E+01
Ecopoints-Water	Ecopoint	*	2.80E+02	2.80E+02	2.41E+01	2.41E+01	1.72E+02	1.65E+01	1.76E+02	1.84E+01
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	Ecopoint	3.83E+00	2.80E+02	2.80E+02	2.41E+01	2.41E+01	1.72E+02	1.65E+01	1.76E+02	1.84E+01
EPS-Air	ELU	*	3.66E-01	3.58E-01	3.87E-02	3.40E-02	1.02E+00	2.12E-01	1.31E+00	4.03E-01
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	ELU	6.36E-05	3.64E-01	3.56E-01	3.85E-02	3.39E-02	4.67E-01	4.70E-02	4.82E-01	5.69E-02
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	ELU	3.95E-04						8.17E-02	2.10E-01	2.10E-01
(a) Particulates (unspecified)	ELU	7.10E-06	2.02E-03	2.02E-03	1.78E-04	1.78E-04	4.16E-02	6.80E-03	4.98E-02	1.18E-02
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	ELU	5.45E-05					5.12E-01	7.65E-02	5.67E-01	1.25E-01
EPS-Land use	ELU	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
EPS-Metal Resources	ELU	*	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
EPS-Non Renewable Energy	ELU	*	1.06E+03	1.04E+03	1.12E+02	9.87E+01	0.00E+00	3.52E+00	9.04E+00	9.04E+00
(r) Coal (in ground)	ELU	5.00E-02						1.70E+00	4.36E+00	4.36E+00
(r) Natural Gas (in ground)	ELU	5.00E-01	1.06E+03	1.04E+03	1.12E+02	9.87E+01		1.82E+00	4.68E+00	4.68E+00
EPS-Total	ELU	*	1.06E+03	1.04E+03	1.12E+02	9.88E+01	1.02E+00	3.73E+00	1.04E+01	9.45E+00
(a) Carbon Dioxide (CO2, fossil)	ELU	6.36E-05	3.64E-01	3.56E-01	3.85E-02	3.39E-02	4.67E-01	4.70E-02	4.82E-01	5.69E-02
(a) Nitrogen Oxides (NOx as NO2)	ELU	3.95E-04						8.17E-02	2.10E-01	2.10E-01
(a) Particulates (unspecified)	ELU	7.10E-06	2.02E-03	2.02E-03	1.78E-04	1.78E-04	4.16E-02	6.80E-03	4.98E-02	1.18E-02
(a) Sulphur Oxides (SOx as SO2)	ELU	5.45E-05					5.12E-01	7.65E-02	5.67E-01	1.25E-01
(r) Coal (in ground)	ELU	5.00E-02						1.70E+00	4.36E+00	4.36E+00
(r) Natural Gas (in ground)	ELU	5.00E-01	1.06E+03	1.04E+03	1.12E+02	9.87E+01		1.82E+00	4.68E+00	4.68E+00
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	ELU	6.00E-06	4.38E-04	4.38E-04	3.78E-05	3.78E-05	2.70E-04	2.58E-05	2.76E-04	2.88E-05
EPS-Water	ELU	*	4.38E-04	4.38E-04	3.78E-05	3.78E-05	2.70E-04	2.58E-05	2.76E-04	2.88E-05
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	ELU	6.00E-06	4.38E-04	4.38E-04	3.78E-05	3.78E-05	2.70E-04	2.58E-05	2.76E-04	2.88E-05

B.5 Impactos y daños referidos a la generación energética

Salud Humana		Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	6 M	7 M	8 M	Unidades	Max
<i>Problemas respiratorios</i> función: de Leon	Impacto [1]					6.0	0.77	0.85	0.92	0.92	caso/TWh	6.017
	Daño					0.056	0.0071	0.0078	0.0085	0.0085	mECU/TWh	0.056
<i>Años de vida perdidos (YOLL)</i> función: Köln/Amsterdam	Impacto	0.35	0.35	0.031	0.031	7.2	1	1.4	1.4	1.4	years/TWh	7.204
	Daño [2]	0.064	0.064	0.0056	0.0056	1.3	0.19	0.26	0.26	0.26	mECU/TWh	1.3
	[3]	0.13	0.13	0.011	0.011	2.6	0.37	0.52	0.52	0.52	mECU/TWh	2.6
	[4]	0.04	0.04	0.0035	0.0035	0.83	0.12	0.16	0.16	0.16	mECU/TWh	0.83
cosechas												
<i>Adición de cal</i> función: CEC, 1993	Impacto					6.21E+06	8.99E+05	1.26E+06	1.25E+06	1246105	kg/TWh	6209000
	Daño [5]					0.12	0.018	0.025	0.025	0.025	mECU/TWh	0.12
Ecosistemas												
<i>Áreas con exceso de SO₂</i> función: UN-ECE, 1993	Impacto					16.0	3.2	4.8	3	3	km ² /TWh	15.98
	Daño										mECU/TWh	

[1] 7870 ECU ExternE

[2] EXTERNE, DR=3%

[3] EXTERNE, DR=10%

[4] EXTERNE, DR=0%

[5] 0,017 ECU ExternE of the Coal Fuel System, 1993

DATOS RELATIVOS

Salud humana		Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	6 M	7 M	8 M
<i>Problemas respiratorios</i> función: de Leon	Impacto [1]	0	0	0	0	100	13	14	15	15
	Daño	0	0	0	0	100	13	14	15	15
<i>Años de vida perdidos (YOLL)</i> función: Köln/Amsterdam	Impacto	5	5	0	0	100	14	19	19	19
	Daño [2]	5	5	0	0	100	15	20	20	20
	[3]	5	5	0	0	100	14	20	20	20
	[4]	5	5	0	0	100	14	19	19	19

CURRICULUM VITAE

Israel Herrera Orozco

Dirección

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
Despatx 225

Universitat Rovira i Virgili
43007 Tarragona, Catalunya
Tel : (977) 55.96.18

FAX : (977) 55.96.67

Correo electrónico : iherrera@etseq.urv.es

Grupo de investigación: Anàlisis i Gestió Ambiental (AGA)

Titulaciones

- Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 1997.
- Ingeniería Ambiental, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, 1999.
- Diploma de Estudios Avanzados (DEA), Universitat Rovira i Virgili, Tarragona 2001.

Docencia Impartida

- Laboratorio de Ingeniería Química II
- Laboratorio de Procesos de Fabricación.
- Química Industrial.
- Co-dirección de proyectos de investigación.
 - ✓ Comparación de alternativas de evaluación del destino de contaminantes como fase previa para la evaluación del riesgo en ecosistemas.
 - ✓ Elaboración de perfil ambiental de un proceso industrial para diferentes niveles de detalle (alto, medio, y bajo).
 - ✓ Clasificación y caracterización de sustancias provenientes del inventario ambiental, de acuerdo con la persistencia, resistencia a la degradación y toxicidad.
 - ✓ Caracterización y cálculo de indicadores para categorías de impactos ambientales a distintos niveles (mid-point y end-point).
 - ✓ Evaluación ambiental, a través del análisis exergético de una planta de generación eléctrica.

Investigación desarrollada

Líneas de investigación

- Análisis de Ciclo de vida de productos y procesos (Life Cycle Assessment).
- Evaluación del riesgo ambiental (salud humana y ecológico).
- Evaluación del transporte y destino de contaminantes.
- Determinación de costes ambientales (externalidades).
- Simulación de procesos.
- Diseño para el medio ambiente.
- Producción limpia.

Publicacions mas recientes

Artículos

Environmental analysis and modelling process. An effective strategy to design based on life cycle engineering. En preparación

Environmental profile for industrial processes through Life cycle assessment and environmental risk assessment. En preparación

Herrera I, Schuhmacher M., Castells F. "Integration of process modelling and environmental assessment to process design". IEMSs 2002 Integrated Assessment and Decision, 24-27 June 2002 Lugano, Switzerland

Herrera I, Kuby L, Castells F. "Environmental Damage Assessment Applied to Process Analysis. A Decision Support Alternative". IEMSs 2002 Integrated Assessment and Decision, 24-27 June 2002 Lugano, Switzerland..

Libros

"Tratamiento de Residuos Sólidos en Empresas del Sector Avícola".

Herrera I., como co-autor. Nodo de Producción Limpia de Santander. Bucaramanga, Colombia. 1999.

"Sistemas de Información para la evaluación ambiental de sectores productivos Colombianos".

Herrera I., como a co-autor. Universidad Industrial de Santander - Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Bucaramanga, julio de 1998.

Capítulos de libros

Chapter 8: Applications of Environmental Impact Analysis in Industrial Process Chains. Book: Integrated life-cycle and risk assessment for industrial processes. Herrera I., como co-autor. Otros autores: Castells, F., Schuhmacher M.. Lewis Publishers. CRC Press, October, 2003.

Capítulo 12: "Desempeño ambiental en el sector manufacturero Colombiano", en el libro: "El medio ambiente en Colombia". Como co-autor.

Ministerio del Medio Ambiente, Santa Fe de Bogotá, julio de 1998.

Comunicaciones a congresos

"Comparison of the environmental multimedia fate and exposure model (EUSES) and GIS-based chemical exposure tool for rivers (GREAT_ER)". 14th annual meeting of SETAC-Europe, Prague, April 18 – 22, 2004

"Retrofit of Processes and Environmental Analysis, a decision support alternative in process engineering" 4º European Congress in Chemical Engineering. Granada, September 22-25, 2003.

"Elaboration of an environmental profile for industrial processes for different levels of detail and category indicators". 13th annual meeting of SETAC-Europe, Hamburg, April 27 – May 1, 2003.

"Comparison of several alternatives to assess fate & exposure as a previous phase in the ecological risk assessment". 13th annual meeting of SETAC-Europe, Hamburg, April 27 – May 1, 2003.

"Environmental comparison of the wet and thermal routes of phosphate fertilizers production through life cycle assessment: a Brazilian experience" 13th annual meeting of SETAC-Europe, Hamburg, April 27 – May 1, 2003

"Risk Assessment, the next step after a LCIA in the environmental analysis". 12th Annual Meeting of SETAC-Europe, Vienna, 12 – 16 May 2002

"Life Cycle Assessment and Cost Benefit Analysis. Integration to support decision-making throughout process analysis". 12th Annual Meeting of SETAC-Europe, Vienna, 12 – 16 May 2002

"Aplicación de la simulación en las actividades de ecodiseño a través de la integración de HYSYS.PLANT y TEAM ".Primer Encuentro Universitario sobre Simulación de Procesos y Aplicaciones Hyprotech. Valencia, 18-19 Julio 2001.

"Simulación y Modelización de una Planta de Incineración de Residuos". Primer Encuentro Universitario sobre Simulación de Procesos y Aplicaciones Hyprotech. Valencia, 18-19 Julio 2001.

"Application of Tools for Environmental Analysis and Management for the Design and re-design of Processes". 11th Annual Meeting of SETAC-Europe, Madrid, Spain. 6 – 10 May 2001.

"Evaluación tecnológica y ambiental del sector de producción de mineral de hierro". XIX Congreso Colombiano de Ingeniería Química. Santiago de Cali, Colombia. Agosto de 1999.



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 Gavalda 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 TM	127
Figura 5.7 Interfaz de transferencia.....	128
Figura 5.8. Módulos del proceso de incineración para el sistema creado en TEAM TM	130
Figura 5.9. Módulo Combustor creado en TEAM TM	131
Figura 5.10 Sistema del proceso de incineración con la herramienta TEAM TM	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

RESUMEN

El desarrollo metodológico o modelo conceptual (MADAP) que se propone en este estudio, consta de cuatro fases o etapas. Dichas etapas permiten explorar todas las variables necesarias para el análisis de un proceso o actividad industrial, de manera que se involucren los aspectos ambientales en diferentes niveles de detalle. Las cuatro etapas son:

- Análisis de procesos, de la cual se obtiene información acerca de los requerimientos y de las etapas necesarias para desarrollar la actividad.
- Transferencia de información, esta etapa permite la transferencia de la información generada en el análisis de procesos, y que será utilizada en la evaluación ambiental.
- Evaluación ambiental, donde se valoran desde las cargas ambientales identificadas, hasta los daños (reales y potenciales).
- Toma de decisiones, las decisiones pueden estar basadas en los resultados obtenidos del análisis de procesos, después de la transferencia de información o a partir de cada uno de los niveles de la evaluación ambiental.

Las etapas que describen la metodología general seguida en el estudio, se presentan en el siguiente esquema (Figura 0.1).

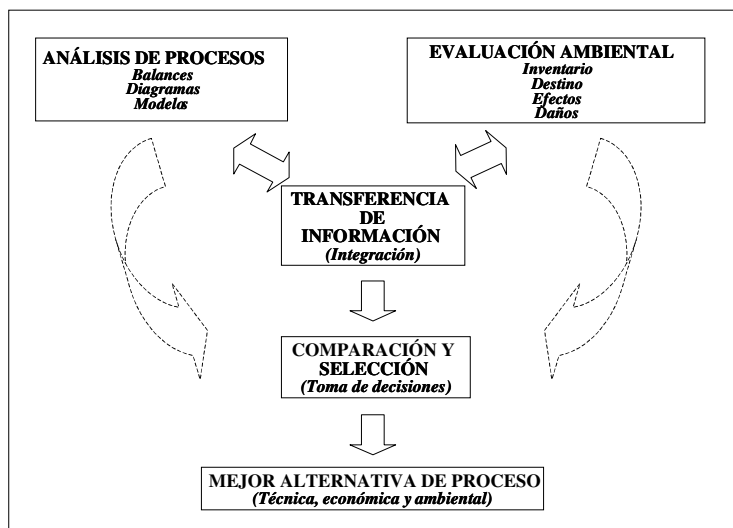


Figura 0.1 Esquema general de evaluación ambiental en el análisis de procesos.

En *el análisis de proceso*, se deben identificar todos y cada uno de los aspectos que posibilitan el funcionamiento de los procesos, tal como se muestra en la Figura 0.2.

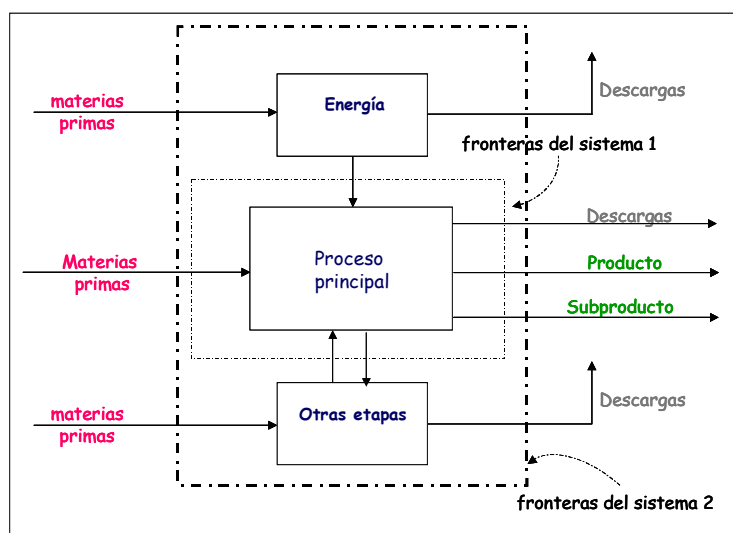


Figura 0.2 Aspectos generales del análisis de procesos

Diferentes aspectos deben ser tenidos en cuenta en el análisis de procesos, y aunque se describirán detalladamente en apartados posteriores de esta memoria, se listan a continuación:

- Definición de objetivos y alcance
- Definición de las fronteras del sistema
- Desarrollo de las etapas previas de diseño (diagramas, tuberías, etcétera)
- Determinación de la incidencia ambiental
- Nivel de la diferenciación espacial.
- Costes directos o costes generados directamente debido a la producción
- Costes Indirectos o costes no debidos a la producción, incluye los “Overheads”

- Costes ambientales internos y externos

La segunda etapa de la metodología o transferencia de información desde el análisis de procesos se realiza a través de una interfaz (la cual está programada en Visual Basic). Esta transferencia, consiste básicamente en el desarrollo de tres etapas: 1) *identificación de las variables que interviene en el proceso*, 2) *definición de los aspectos que posibilitan la interconexión*, y 3) *definición de la captura y envío de datos* (importación/exportación de datos).

La evaluación ambiental o tercera fase permite hacer una valoración de los procesos industriales, al analizar su incidencia ambiental. Esta evaluación, se basa en la descripción de los efectos y/o daños que pueden darse sobre la salud humana, los ecosistemas y los recursos naturales, a través de diferentes medios o compartimentos, tales como al aire, el agua, el suelo y sedimentos. Los efectos identificados, son determinados a través de la cuantificación de la **carga ambiental** debida a las sustancias nocivas, la **concentración en los medios** afectados, así como los **efectos** y **daños ambientales** en las diferentes áreas de protección.

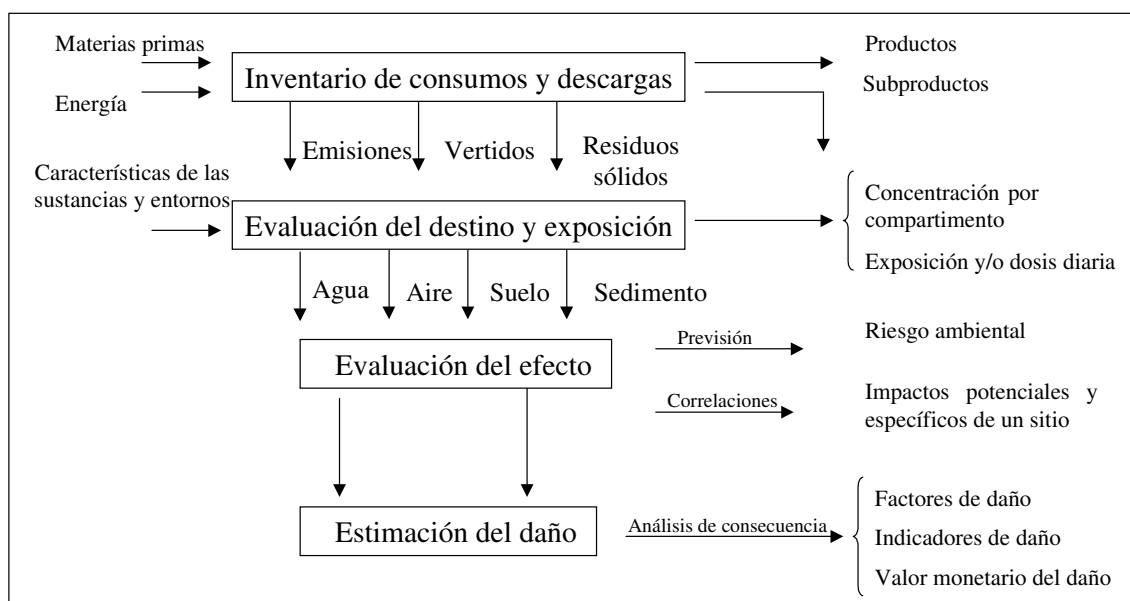


Figura 0.3. Fases de la evaluación ambiental de un proceso

La cuarta fase, propone la utilización de métodos de comparación, que pueden ser aplicados en cada uno de los niveles de la evaluación ambiental y del análisis de procesos, y que van desde la comparación de los balances o inventarios, hasta la aplicación de un análisis coste-beneficio, cuando es posible monetizar los daños ambientales. Cuando la evaluación ambiental se centra en el nivel destino de contaminantes, es posible a través de la diferenciación espacial, comparar las zonas de mayor riesgo ambiental (destino de contaminantes). Así mismo, si la evaluación ambiental determina los efectos ambientales en términos de riesgos o impactos, estos pueden ser comparados, aunque no sea posible monetizarlos (e.g. impactos globales o riesgos en

ecosistemas). Los aspectos a través de los cuales se puede realizar la comparación, se describen gráficamente en la Figura 0.4.

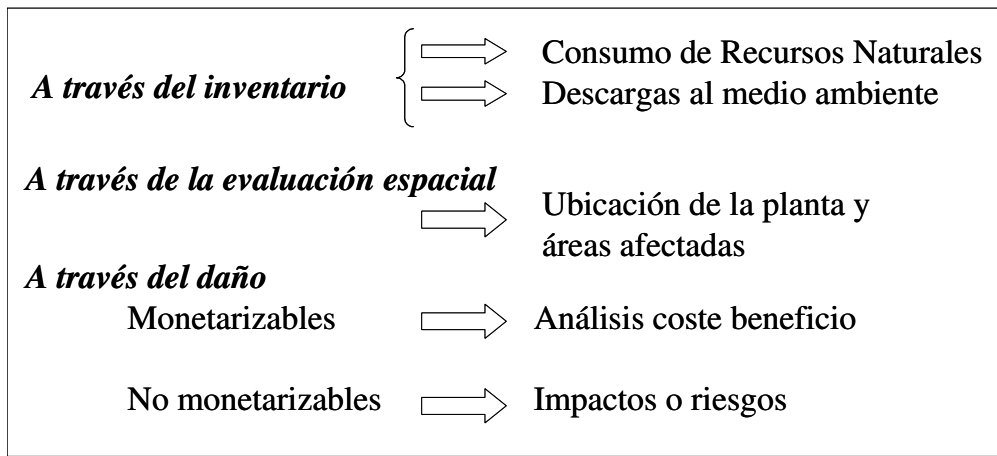


Figura 0.4 Aspectos de comparación en la evaluación ambiental de procesos.

A través de la última fase, se obtiene con suficiente validez científica, la mejor alternativa para un proceso, teniendo en cuenta su viabilidad técnica, económica y ambiental.

SECCIÓN I: INTRODUCCIÓN AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de las cuatro últimas décadas, la cuestión ambiental ha despertado un gran interés en la sociedad [Gradael, 2000]. El consumidor se vuelve cada día más consciente de que el consumo de productos manufacturados y el uso de servicios afectan la calidad del medio ambiente y ocasionan en general una reducción de los recursos naturales.

Además, es de conocimiento general que estos efectos ocurren a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, y que incluye no sólo los procesos productivos inherentes a la producción, sino también, actividades de consumo ó utilización y disposición final del mismo, en forma de residuo [Fullana, 1997].

Lo anterior, ha motivado en el consumidor común a tener una mayor preocupación relacionada con la preservación de la naturaleza, y consecuentemente, a exigir medidas más eficaces en este sentido [Fiksel, 1993]. Para hacerle frente a este hecho, tanto los organismos de regulación ambiental como el sector industrial están intensificando el desarrollo de la aplicación de métodos que permitan identificar y reducir los efectos adversos causados por la actividad humana.

Uno de los primeros resultados de este esfuerzo, apareció alrededor de los años 70 y es conocido como “end-of-pipe” el cual se basa en una teoría de control ambiental, que aún sigue siendo practicado por muchas empresas [Leyva et al, 1998]. Entretanto, como una evolución de los procedimientos y técnicas para el tratamiento de problemas ambientales, surgió en los inicios de la década de los 90’s un concepto más amplio denominado Gestión Ambiental. Más moderno que su predecesor en términos organizacionales, y capaz inclusive de realizar al mismo tiempo acciones de control y gestión ambiental, siendo por lo tanto capaz de observar los ciclos productivos de manera más completa, haciéndolos operar de manera más coordinada y eficiente.

Para algunos autores, la gestión ambiental se ha mostrado como único mecanismo de mejora del comportamiento en organizaciones empresariales [EM, 2002; Pedersen, 1993]. La ganancia obtenida por las compañías que se sirven de la gestión ambiental como instrumento técnico-administrativo puede ser traducida directamente en mejora de imagen, aumento de ventajas competitivas y ganancia de productividad, manifestados a través de inherentes incrementos de ingresos y reducción de costes de proceso.

La adopción de sistemas de gestión ambiental por parte de las empresas adquirió mayor proyección como surgimiento de las normas de la serie ISO 14000, emanadas de la International Standard Organization - ISO. Esta acción le dio a sus usuarios la posibilidad de obtener la certificación ambiental a través de la norma ISO 14001, cuyo resultado directo se traduce generalmente, en mayor visibilidad de la preocupación de la organización por un mejor ambiente [Zharen V, 1996; ISO-EM, 1999].

Durante mucho tiempo, la mejora del comportamiento ambiental de productos se ha basado en la aplicación de procesos de prueba y error, utilizando para esto muchas veces conocimientos empíricos sobre las propiedades ambientales de los materiales involucrados [Sweatman 1996]. En este contexto, la etapa de evaluación de mejoras puede ser de gran valor en la estructuración de este proceso.

Teniendo en cuenta los aspectos descritos anteriormente, el capítulo actual presenta una descripción general de los aspectos desarrollados en el trabajo de investigación. Inicialmente se describen los aspectos generales del desarrollo metodológico propuesto, el cual incluye una breve descripción de las tendencias actuales relacionadas con el tema de investigación e intenta hacer un acercamiento al estado del arte.

Posteriormente en este mismo apartado, se describen las motivaciones que soportan la hipótesis que se propone demostrar. Finalmente, se describen los objetivos de la investigación, tanto en términos generales como específicos, y el contenido del documento que se presenta.

1.2 ASPECTOS GENERALES DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

La evaluación ambiental de un proceso industrial, puede ser desarrollada en diferentes niveles de detalle [Finnveden, 1999]. Estos niveles dependen del objetivo buscado por la evaluación y del alcance definido. En la metodología que se propone, el primer nivel, no por ello el más simple, corresponde a la elaboración de un *inventario* de los materiales (materias primas, aditivos, subproductos, descargas, etcétera) que entran y salen del sistema o proceso en estudio. Dicho inventario provee información acerca de los *recursos naturales consumidos*, las *materias primas utilizadas* y las sustancias que son descargadas al entorno, en términos de *emisiones al aire, suelo y al agua*.

El segundo nivel en la evaluación, consiste en la cuantificación de las sustancias provenientes del inventario en los diferentes medios, es decir, la evaluación del destino de dichos contaminantes en los medios que están expuestos. Estos medios o compartimientos involucran la escala espacial a través del paso de las sustancias emitidas al aire, agua, suelo y sedimento [Hertwich & Mckone, 2001]. De acuerdo con diferentes autores [Hertwich, 1999; Wania & McKay 2002], el destino de sustancias contaminantes emitidas por actividades industriales en diferentes medios, se basa principalmente en las relaciones entre las propiedades de dichas sustancias y las del entorno donde se encuentran los medios expuestos.

El tercer nivel de detalle establece los efectos generados a partir de las relaciones entre las sustancias descargadas y las tres *áreas de protección* hacia las cuales se orienta este estudio (*salud humana, ecosistemas y recursos naturales*) [Udo de Haes & Lindeijer, 2000]. Esta relación, se basa en la evaluación de los impactos y riesgos ambientales a través de su identificación y posterior determinación, teniendo en cuenta las funciones que definen la respuesta a la dosis o, a la exposición. En este nivel también es posible, a través de diferentes categorías de indicadores, como por ejemplo puntos intermedios o “mid points”, determinar los efectos que puedan generarse sobre las áreas de protección definidas.

El cuarto y último nivel de detalle de la evaluación ambiental, se refiere a la valoración de los daños ambientales generados sobre las áreas de protección. En el actual trabajo de investigación, los daños ambientales serán considerados a partir de la evaluación de impactos y riesgos, puesto que con esto, se puede involucrar de una manera práctica y clara toda la información proveniente de los anteriores niveles de la evaluación ambiental.

La información recopilada en este nivel, permite definir el Perfil de Daños Ambientales, (PDA), el cual involucra impactos y riesgos ambientales identificados a lo largo del ciclo de vida de un proceso y una clasificación espacial y temporal, ya que los impactos y los riesgos ambientales se generan en diferentes sitios y momentos del ciclo de vida del proceso [Herrera et al, 2003a].

Un aspecto de mucha importancia en la evaluación ambiental, es que esta, puede ser descrita en términos cualitativos y/o cuantitativos; este aspecto depende de las necesidades del usuario, y de la información disponible. Otro aspecto muy importante relacionado con la información, es la incertidumbre en los resultados obtenidos, debida a la calidad y cantidad de la misma. Sin embargo, existen diferentes métodos para tratar la incertidumbre, y así darle una mayor validez a los resultados obtenidos.

Por otro lado, las actividades en el análisis de procesos relacionadas con la evaluación y el diseño, pueden ser realizadas a través de diversas metodologías y herramientas [Warren et al, 1999]. Sin embargo, tales metodologías y herramientas en la mayoría de los casos sólo permiten evaluar el comportamiento de una actividad industrial en términos económicos y técnicos, existiendo una pobre integración de la información generada por dichas herramientas, con

aquella proveniente de la evaluación ambiental. Como resultado de lo anterior, las decisiones en el análisis de procesos no siempre involucran los aspectos ambientales con el mismo nivel de detalle que el económico y el técnico, dado que, la atención a los efectos ambientales es puesta tradicionalmente después de que la planta de proceso está funcionando [Herrera et al, 2002].

De acuerdo con lo anterior, es necesario integrar información técnica y económica con la ambiental, de manera que la toma de decisiones esté soportada por una mayor cantidad de información. Esta integración, es posible a través de la transferencia de información entre el análisis de procesos y la evaluación ambiental.

En este trabajo de investigación, se propone una integración e incorporación de la información generada en la evaluación ambiental con el análisis y diseño de procesos. Para ello se parte del modelo de un proceso (el cual puede ser desde un sencillo balance de materia y energía hasta los resultados de una simulación o un modelo). Posteriormente se evalúa su comportamiento ambiental en los diferentes niveles de detalle comentados anteriormente. Finalmente, esta información se utiliza como soporte en la etapa de toma de decisiones, con lo que es posible elegir la mejor alternativa de producción en términos técnicos, económicos y ambientales.

1.2.1 Tendencias actuales y estado del arte del tema en estudio

A continuación, se presenta una breve recopilación de las tendencias actuales en los aspectos relacionados con el análisis ambiental de procesos, así como de las instituciones o programas involucradas de una manera activa en el escenario internacional y su rol. Así mismo, el estado del arte de los temas desarrollados.

La tendencia actual en el escenario internacional puede ser concretada en dos áreas, por un lado se busca acercar los procedimientos de evaluación ambiental al análisis y diseño de procesos, haciéndolos cada vez más sencillos pero manteniendo rigurosidad técnica y científica [UIS-IDEAM, 1998; Lefebvre et al, 2001]. Por otro lado, en términos del análisis de procesos se tiende a involucrar criterios ambientales en las etapas tempranas del diseño o en la evaluación de procesos. Estos criterios en la mayoría de casos están relacionados con el análisis del inventario balance de materiales y energía y con la gestión de los residuos [Cabezas et al, 1999; Bendixen, 2002; ETBPP, 1996; AEA Technology, 2000].

Las instituciones que hacen parte del desarrollo internacional del análisis ambiental de las actividades humanas, y su incidencia en el entorno, son: la oficina internacional de estandarización, la agencia de protección ambiental de Estados Unidos, la agencia Europea de protección ambiental, la sociedad de química y toxicología ambiental, la sociedad internacional de modelado y software ambiental, y la iniciativa SETAC-UNEP.

1. Oficina Internacional de Estandarización (ISO).

ISO es una red compuesta por oficinas de estandarización nacional de 147 países, compuesta por un miembro de cada país y con una secretaría central en Ginebra, Suiza que coordina el sistema. En el caso particular de la norma ISO 14000, está principalmente orientada en la dirección ambiental. Sus esfuerzos se centran en la minimización de efectos en el ambiente causado por las actividades humanas, y bajo el enfoque de mejora continua en la actuación ambiental [ISO, 2002].

La norma, se basa en tres conceptos fundamentales, el primero de ellos es la implementación de sistemas de gestión medioambiental (ISO 14001-14004), cuyo objetivo es ayudar a las organizaciones en el establecimiento o mejora del Sistema de Gestión Medio Ambiental (SGMA) nuevo o existente. El segundo aspecto es la conducción de auditorías ambientales (14010-14015), en este caso, la norma provee los principios para el desarrollo de cualquier auditoría ambiental. Finalmente, el tercer aspecto de la norma es la evaluación del desarrollo ambiental (14031, 14032, 14063) cuyo objetivo es proveer guías para la selección y uso de indicadores para la evaluación del desarrollo ambiental de las organizaciones.

2. Agencia de protección ambiental de Estados Unidos.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA, por sus siglas en inglés), es una institución gubernamental cuyo objetivo principal es la estandarización de procedimientos de evaluación ambiental en su territorio nacional. Así mismo, desarrolla herramientas de modelado y evaluación ambiental para su aplicación en la prevención de la contaminación. Algunos de los tópicos más importantes desarrollados por la agencia son: aire (lluvia ácida, calentamiento Global, emisiones); economía (costos ambientales); ecosistemas (humedales, cuencas, especies en vías de extinción); gestión ambiental (crecimiento sostenible, justicia ambiental, indicadores); industria (gestión de residuos, ecodiseño); pesticidas (eco-etiquetado, registros, seguridad de alimentos); sustancias contaminantes (metales pesados, dioxinas, asbesto, radiación); prevención de polución (reciclado, conservación); tratamiento y control (tecnologías de tratamiento, control de la contaminación); residuos (materiales peligrosos, vertederos, residuos domésticos); agua (aguas residuales, agua potable) [US-EPA, 2003].

3. Agencia Europea de protección Ambiental

El propósito de la Agencia Europea de Medio Ambiente consiste en establecer un sistema permanente de información ambiental para ayudar a la Comunidad en sus objetivos de mejorar el medio ambiente y avanzar hacia la sostenibilidad, incluyendo la integración de aspectos ambientales en las políticas económicas. La agencia busca facilitar información oportuna,

selectiva, relevante y fiable a los responsables de elaborar políticas y al público en general para el desarrollo y la aplicación de políticas ambientales sólidas en la Unión Europea [EEA, 2003].

4. Sociedad de Química y Toxicología ambiental

La Sociedad de Química y Toxicología Ambiental, es una organización profesional, sin ánimo de lucro e independiente, que provee un foro de discusión para instituciones e individuos, en las áreas que se mencionan a continuación: evaluación ambiental, gestión y conservación de recursos naturales, educación ambiental, e investigación y desarrollo ambiental [SETAC, 2003].

5. Sociedad internacional de modelado y software ambiental,

La IEMSs, es una organización sin ánimo de lucro, que vincula individuos y organizaciones privadas, cuyas áreas de acción son el modelado y el desarrollo de software medioambiental, para aplicación de estas herramientas en la toma de decisiones relacionadas con actividades humanas, ecosistemas y recursos naturales [IEMSs, 2003].

6. Iniciativa SETAC-UNEP

En respuesta al creciente riesgo medioambiental creado por los nuevos modelos de consumo alrededor del mundo, el programa para el medio ambiente de las Naciones Unidas (UNEP) propone una nueva manera de desarrollar procesos productivos y productos más limpios. La Iniciativa de ciclo de vida, es un programa de cooperación para el medio ambiente entre el programa para el ambiente de las Naciones Unidas (UNEP de sus siglas en Inglés) y la Sociedad de Toxicología Medioambiental y Química (SETAC), cuyo objetivo es ayudar a instituciones gubernamentales, empresas y consumidores en la adopción de políticas, prácticas y estilos de vida amistosos con el medio ambiente [Udo de Haes et al, 2002].

Vale la pena resaltar que aunque las instituciones descritas no son las únicas en el estado actual del conocimiento relacionado con la integración de aspectos ambientales en el análisis de procesos, estas muestran claramente el creciente interés en el desarrollo de metodologías que permitan involucrar el análisis ambiental en el estudio de las actividades humanas y plantear así, alternativas de producción menos agresivas con el medio ambiente.

1.2.2 Hipótesis general

Una vez hecha la revisión del estado actual y evaluadas las tendencias seguidas por instituciones que están a la vanguardia del tema de investigación, el siguiente paso es formular una hipótesis para la integración de los aspectos que integran el análisis de procesos y la evaluación ambiental. En este sentido, la hipótesis que sustenta este trabajo de investigación se presenta a continuación:

“Es posible analizar y diseñar procesos industriales de manera que sean menos ‘agresivos’ con el medio ambiente y desde una perspectiva de desarrollo sostenible, de manera práctica y con validez científica. Esto puede lograrse a través de la consideración de la incidencia ambiental en la toma de decisiones, desde las fases tempranas hasta las finales del análisis de procesos nuevos y existentes”.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo de investigación es desarrollar y describir una metodología de toma de decisiones en el análisis de procesos, aplicando la evaluación ambiental, e involucrando desde el inventario de cargas hasta su cuantificación como daños, pasando por impactos o riesgos, para las tres áreas de protección: salud humana, ecosistemas y recursos naturales.

1.3.2 Objetivos específicos.

El objetivo general planteado anteriormente, se propone obtener a través de los siguientes objetivos específicos:

- *Elaboración de una metodología de transferencia de la información (interfaz) obtenida de la simulación de procesos para la realización de un inventario de ciclo de vida.*
- *Aplicación de modelos de transporte y distribución de las sustancias contaminantes en aire, agua y suelo a fin de determinar el destino de tales sustancias.*
- *Caracterización y cálculo de los resultados de los indicadores de categorías a diferentes niveles (mid-point y end-point).*
- *Evaluación del impacto ambiental (a nivel local, regional y global) de los principales contaminantes (primarios y secundarios) emitidos al aire, agua y suelo.*
- *Definición del perfil ambiental de procesos productivos según el nivel de detalle que requiera el usuario (para diferentes niveles de información).*
- *Desarrollar un método de comparación de los daños ambientales- daños específicos, factores de daño e índice de daño- generados por diferentes alternativas productivas, que sirva de soporte en la toma de decisiones en el análisis de procesos..*

1.4 DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO

La estructura del documento actual está conformada por tres secciones, cada uno de ellas, especifica una parte fundamental del desarrollo del presente trabajo de investigación. El actual apartado comprende el capítulo 1 de la memoria o introducción al tema de investigación, donde se desarrollan aspectos tales como el planteamiento del problema, los aspectos generales incluyendo la hipótesis que se pretende demostrar, y finalmente los objetivos que se persiguen con el desarrollo de la investigación.

La segunda sección de este documento denominada “Fundamentos del tema de investigación”, está comprendida por los capítulos dos y tres, en los cuales se presentan las bases teóricas relacionadas con las diferentes metodologías existentes para la aplicación de herramientas de evaluación del impacto ambiental, elaboración de perfiles ambientales de procesos, y de transferencia e integración de la información.

Finalmente, en la tercera sección del documento se presentan los principales resultados obtenidos en la investigación, y está comprendida por los capítulos 4 (desarrollo metodológico), 5 (casos de aplicación) y 6 (conclusiones y perspectivas de futuro). El capítulo cuatro describe detalladamente la Metodología para el Análisis y/o Diseño Ambiental de Procesos (MADAP), y que permite no sólo la aplicación de los diferentes modelos estudiados, sino también, la caracterización de la incidencia ambiental de un proceso productivo, a través del uso de categorías e indicadores, en diferentes niveles de detalle. En el capítulo cinco, se presentan los casos de aplicación con los cuales la metodología ha sido probada, y se compara la incidencia ambiental de diferentes alternativas de procesos industriales. Igualmente, en este capítulo, se discuten los resultados obtenidos en los casos estudiados. Finalmente, en el capítulo Seis se presentan las conclusiones más relevantes de la investigación, las lecciones aprendidas durante el desarrollo del presente trabajo, y las líneas de investigación que están en desarrollo, o que podrían desarrollarse a partir del actual trabajo.

Como se mencionó en el apartado anterior, la metodología desarrollada, se validó a partir de la aplicación de las diferentes etapas que la conforman en casos prácticos. Estos casos de aplicación comprenden por una parte las diversas posibilidades del análisis de procesos (simulación, modelado, diseño de nuevos procesos y evaluación y mejora de procesos existentes), y por otra, los diferentes niveles de detalle, en los cuales puede ser evaluada la incidencia ambiental de un proceso industrial. Los casos de aplicación han sido los siguientes:

1. Incineradora de residuos sólidos urbanos

En este caso de aplicación se realizó una primera formulación de la metodología de integración, desarrollando una interfaz previa de transferencia de información. La información del proceso se obtuvo a partir de la simulación de la planta de incineración de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Tarragona, y la información obtenida se utilizó para la obtención del inventario de ciclo de vida o eco-balance.

2. Procesos de separación (Propano-Isopropano y Agua-Etanol)

Estos casos de aplicación se basaron en la simulación –el primero- de un proceso hipotético de separación de una corriente de mezcla de Propano e Isopropano. En el caso del proceso de separación agua-etanol –segundo caso-, se desarrolló el proceso en la columna de separación del Laboratorio de Procesos de Fabricación del departamento de Ingeniería Química y simultáneamente, una simulación del mismo proceso. Los resultados en estos casos de aplicación, consistieron en el desarrollo completo de la metodología de transferencia de información entre la simulación de procesos y la evaluación ambiental, para diferentes alternativas o escenarios de proceso. En otras palabras, con estos casos de aplicación, se obtuvieron, por un lado la interfaz de transferencia completa y por el otro y a partir de esta, curvas de comparación de consumo de materias primas y descargas al entorno para los diferentes escenarios.

3. Planta de separación de Iso-pentano de una corriente de Nafta.

Este caso de aplicación, se ha partido de la información de un proceso real, el cual consiste en la separación por destilación de Iso-pentano de una corriente de Nafta, y se evaluó diferentes alternativas de generación de energía para suplir sus necesidades. Con este caso, se definió una metodología de elaboración de escenarios, y se estudiaron diferentes alternativas de generación y co-generación. En lo referente a la evaluación ambiental, se desarrolló completamente un análisis del inventario, se evaluó el destino final de las sustancias identificadas en dicho inventario y posteriormente se evaluaron los efectos en términos de riesgos e impactos, llegando en algunos casos a la estimación del daño.

REFERENCIAS

AEA Technology plc. Life Cycle Assessment- An introduction for industry. Environmental Technology Best Practice Programme. UK. March (2000)

Bendixen L. Integrate EHS for better Process Design. CEP. 26-32. February (2002)

Cabezas H. Pollution prevention with chemical process simulators: the generalised waste reduction (WAR) algorithm. Computers and Chemical Engineering 23 623-634. (1999)

Castillo E., Pedraza E., Moreno C., Ordúz J., Orduz J.K., Fonseca J., Herrera I. Sistemas de Información para la evaluación ambiental de sectores productivos Colombianos. Universidad Industrial de Santander-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bucaramanga, Colombia (1998)

Environmental Management (EM). The ISO 14000 Family of International Standards. (2002)

Environmental Protection Agency (US-EPA). (<http://www.epa.gov>), (2003)

Environmental Technology Best Practice Programme (ETBPP). Saving money through waste minimisation: raw material use. (1996)

European Environmental Agency-EEA. (<http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l28019.htm>). (2003)

Fiksel J. Ingeniería del Diseño medioambiental. Mc Graw Hill, (1993)

Finnveden G. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. Resources, Conservation and Recycling. 173-187. Vol 26 (1999)

Fullana P. Análisis del Ciclo de vida. Editorial Rubes. Spain. (1997)

Gradael T. The evolution of Industrial Ecology. American Chemical Society. Environ. Sci. Technol. 380A-387A. September (2000)

Herrera I., Schuhmacher M., Castells F. Elaboration of an environmental profile for industrial processes for different levels of detail and category indicators. 13th annual meeting of SETAC-Europe, Hamburg, April 27 – May 1 (2003)

Herrera..., Schuhmacher M., Castells F. Integration of process modelling and environmental assessment to process design. Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. Vol I pp 13-18. (2002)

Hertwich E. Fate and exposure in the Life Cycle Impact Assessment of Toxicity. Unep-Setac Initiative. (1999)

Hertwich E., Mckone T. Pollutant-Specific Scale of Multimedia Models and Its Implications for the Potential Dose. Environ. Sci. Technol. 200, 35, 142-148. (2001)

International Standard Organisation (ISO). Environmental Management ISO 14000 (1999)

International Environmental Modelling and Software Society-IEMSs. (<http://www.iemss.org>), (2003)

International Standard Organisation. ISO in brief., 20 p. (2002)

Lefebvre E. Life cycle design approach in SMEs. Int. J. LCA 6 (5) 273-280 (2001)

Leyva P., Castillo E., Pedraza E., Moreno C., Ordúz J., Orduz J.K., Fonseca J., Herrera I. El medio ambiente en Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá (1998)

Pedersen W. Bo. Environmental assessment of products. UETP-EEE 2^o edition. (1993)

Society of Environmental Toxicology and Chemistry-SETAC. (<http://www.setac.org>), (2003)

Sweatman, A. Integrating DFE tools into the design process. Manchester Metropolitan University. (1996)

Udo de Haes, H. Lindeijer, E. Areas of Protection. Review of Areas of Protection within the Working Group on Life Cycle Impact Assessment (2000)

Udo de Haes H. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative: Background, Aims and Scope. *Int J LCA* 7 (4) (2002)

Wania F., Mackay D. A Comparison of Overall Persistence Values and Atmospheric Travel Distances Calculated by Various Multi-Media Fate Models. WECC Wania Environmental Chemists Corp. (2002)

Warren D. Process Design Principles. Synthesis, Analysis and Evaluation. John Wiley & Sons, (1999)

Zharen. V. ISO 14000. Understanding the Environmental Standards. (1996)

SECCIÓN II: FUNDAMENTOS DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN

2. BASES TEÓRICAS.

En este capítulo se describen los conceptos, enfoques e ideas que permiten el desarrollo del trabajo de investigación. Así mismo, se hace una breve descripción, del estado actual del tema tratado en el ámbito internacional, y se evidencia la “pertinencia” de la actual investigación en su área de aplicación.

Las herramientas y metodologías utilizadas en el presente trabajo de investigación están relacionadas con la evaluación ambiental, en términos de análisis de ciclo de vida, herramienta que permite hacer una evaluación de todas las etapas de los procesos o cadenas de procesos y evaluar su incidencia ambiental. Así mismo, se describen los aspectos más importantes de la evaluación del destino y exposición de contaminantes.

La evaluación del riesgo ambiental, en términos de riesgos ecológicos y a la salud, a través de diferentes formas de análisis, es uno de los tópicos tratados en este capítulo, y que dan paso a la descripción de las diferentes formas de evaluar el daño ambiental.

En términos del análisis de procesos, se describen los principales temas del diseño y ecodiseño de procesos, y las principales vías de desarrollo.

La evaluación del coste total, relaciona los aspectos económicos de los procesos productivos con la análisis ambiental. Finalmente, se desarrolla la toma de decisiones ambientales tema de primordial importancia y tarea compleja en el análisis de proceso desde una perspectiva ambiental.

2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El análisis de ciclo de vida (o LCA de sus siglas en Inglés), que incluye el análisis del inventario (Life Cycle Inventory Analysis. LCIA), y la evaluación del impacto de ciclo de vida (Life Cycle Impact Assessment LCIA) es una metodología que permite identificar y evaluar las cargas ambientales asociadas al ciclo de vida de materiales y servicios en un proceso productivo. Está

metodología se basa en el enfoque “desde la cuna a la tumba” y permite la identificación y evaluación sistemática de las oportunidades para minimizar las consecuencias medioambientales del uso de los recursos naturales y las descargas medioambientales.

Los esfuerzos por desarrollar la metodología de ACV iniciaron en Estados Unidos en la década de los setenta [SETAC, 1993]. En la actualidad, la Sociedad de Toxicología Medioambiental y Química (SETAC-Norteamérica) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) han patrocinado y desarrollado talleres y otros proyectos que intentan promover un acuerdo general en su estructura, de manera que exista información estandarizada de los resultados de los análisis de inventario y de evaluación del impacto del ciclo de vida. Esfuerzos similares han sido emprendidos por SETAC-Europa, otras organizaciones internacionales (como la Organización de las Normas Internacional, ISO), y practicantes de LCA mundial. Como resultado de estos esfuerzos, se ha logrado un acuerdo general para el planteamiento de una estructura global de ACV y una metodología del inventario bien definida [Unep-Setac, 2001].

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta versátil para cuantificar (bajo el enfoque “desde la cuna a la tumba”) todos los impactos ambientales de una actividad (producto, proceso, o servicio). El objetivo fundamental es elegir la mejor actividad con el menor efecto sobre el entorno (salud humana, recursos naturales y ecosistemas). Existen otros objetivos que van desde probar que un producto es ambientalmente superior al de la competencia, hasta establecer una línea base de información sobre el uso total de los recursos de un sistema, el consumo de energía, y las cargas ambientales [US EPA, 2001].

Para la organización internacional de estandarización [ISO, 1997], un Análisis del Ciclo de Vida *es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, mediante la identificación y cuantificación de la energía y los materiales usados, así como los residuos emitidos al entorno, para analizar el impacto de éstos sobre el medio ambiente y evaluar e implementar posibles mejoras.*

Una tercera definición de ACV es: *el Análisis de Ciclo de vida es una herramienta que permite identificar flujos de materia y energía, asociados con un producto a través de todo su ciclo de vida, de manera que los impactos ambientales puedan ser determinados* [Castells et al, 1995].

Existen varias decisiones básicas que deberían ser tomadas para dar inicio a un análisis de ciclo de vida, de manera que se pueda hacer un efectivo uso de tiempo y dinero, y por lo tanto, darle respuesta a importantes interrogantes, que los tomadores de decisiones se plantean al momento de diseñar una actividad [SETAC-Europe, 1999]. Respuestas a interrogantes tales como: ¿Qué impactos serán más importantes para los usuarios de la información? ¿Cuál es el impacto más importante en todo el ciclo de vida de la actividad a analizar? ¿Cuál es el grado de incertidumbre aceptado de los datos que se utilizan?, permitirán que las decisiones con respecto

al diseño de los productos o procesos, se acerquen más al concepto de desarrollo sostenible. Una vez los interrogantes han sido definidos, es importante determinar el tipo de información necesaria para encontrar respuestas con fundamento científico.

Otro aspecto fundamental, es la forma como los datos o información necesaria deben ser organizados y como los resultados deben ser mostrados. Para este efecto, es necesario definir una unidad funcional, la que según Wenzel (1997) debe no sólo ser un punto de referencia fijado para la evaluación ambiental, sino también describir apropiadamente la función principal de la actividad estudiada, puesto que la comparación entre diferentes actividades debe hacerse con base en la misma unidad funcional [Wenzel et al, 1997].

Finalmente, en la definición de un ACV, es necesario determinar que etapas de la actividad serán incluidas en el estudio, de manera que este claramente definido hasta donde se pretende llegar. La descripción secuencial de un análisis de ciclo de vida completo presenta las fases que se muestran en el esquema siguiente (Figura 2.1).

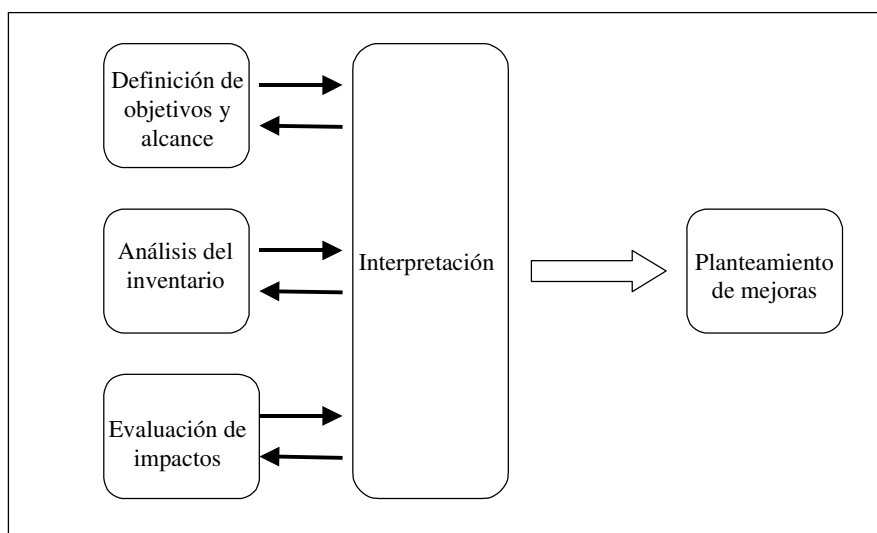


Figura 2.1 Fases del análisis de ciclo de vida. Adaptado de LCA101, EPA, 2001

Las técnicas de mejora de la gestión de proceso basadas en un ACV – por ejemplo, cambios en los procesos, aumento de eficiencia energética y de aprovechamiento de materiales, control y mejoras logísticas - son equivalentes a las técnicas de gestión tradicionales, que desde el punto de vista de reducción de costos están bastante desenvueltas y son bastante conocidas [Herrera et al, 2002].

Por otro lado, la evolución de las técnicas de ACV tienden a involucrar la perspectiva de diferentes actores tales como la sociedad, y las misma compañías productoras, las que inevitablemente deben asumir su rol de usuarios del ACV [Norris, 2000].

Las fases mostradas en el anterior diagrama se describen a través del desarrollo de varios pasos, los cuales como ya se mencionó cubren diversas etapas en las actividades estudiadas. La Figura 2.2 presenta un diagrama esquemático del desarrollo del análisis de ciclo de vida seguido en este estudio.

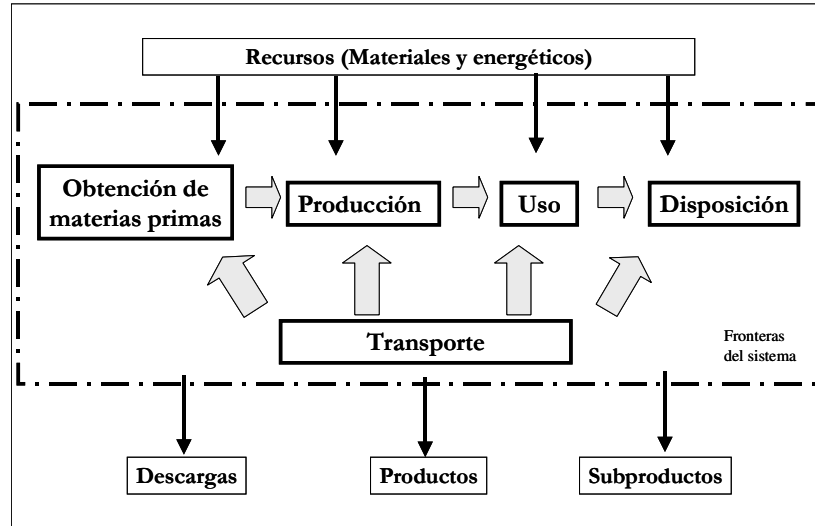


Figura 2.2 Diagrama esquemático de la metodología de análisis de ciclo de vida.

En el siguiente apartado se describe de manera sucinta pero crítica, las fases necesarias para el análisis de ciclo de vida, iniciando con la definición de los objetivos y alcances del estudio, hasta llegar al planteamiento de mejoras, pasando por un análisis del inventario, y la posterior evaluación de impactos.

2.1.1 Definición de objetivos y alcance.

La definición de los objetivos es la fase de un ACV donde se define el propósito de incluir la evaluación de los impactos ambientales en el procedimiento de toma de decisiones. En esta fase se determina el tipo de información necesaria para agregar valor al procedimiento de toma de decisión, la exactitud necesaria de los resultados y como deben ser interpretados estos resultados para que sean significativos [Hertwich, 2000].

Teniendo en cuenta que en general, un ACV se puede utilizar para determinar los impactos ambientales potenciales de un producto, proceso, o servicio, la definición de los objetivos y alcances determinarán el tiempo y los recursos necesarios; así mismo, guiará todo el proceso, asegurándose de que los resultados obtenidos sean significativos.

El establecimiento del alcance define *las funciones del sistema a estudiar, la unidad funcional, los límites del sistema, el procedimiento a utilizar en la asignación de cargas, los impactos a tener en cuenta y la metodología usada en la evaluación de los impactos.*

2.1.2 Análisis de inventario.

El análisis de inventario es un proceso de cuantificación de los flujos de energía y materiales que entran y salen de una actividad durante su ciclo de vida [Castillo, 2000]. Un análisis del inventario es fundamentalmente un balance de materia y energía del sistema, aunque también puede incluir otros parámetros como: utilización de suelo, radiaciones, ruido, vibraciones, biodiversidad afectada, entre otros aspectos.

El desarrollo de un análisis de inventario puede ser útil en diversas formas, por una lado éste puede apoyar el desarrollo de un nuevo producto o proceso al considerar la incidencia ambiental en la selección del material, y por otro lado, al desarrollo de regulaciones que disminuyan el impacto de los recursos naturales (extracción) y de las descargas en diferentes medios.

A partir de documentos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) y de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC), se ha definido una estructura para el análisis de inventario que se basa en las cuatro etapas que se mencionan a continuación:

- 1) desarrollo de un **diagrama de flujo** que ayude a identificar las etapas (desde procesos unitarios hasta unidades de procesos completas) del sistema a estudiar y su conexión,
- 2) desarrollo de un plan de **selección de datos**
- 3) **evaluación** y finalmente
- 4) reporte de resultados.

El diagrama de flujo es una herramienta que permite ver gráficamente las entradas y salidas de una etapa o sistema. Las fronteras de este sistema son definidas en la fase anterior y varían con cada sistema. Cuanto más grande sea el sistema a evaluar, el diagrama será más complejo, y por lo tanto será necesario invertir más tiempo en su elaboración.

Un adecuado plan de selección de datos permitirá obtener los datos con la calidad requerida, dependiendo del grado de certeza y fiabilidad con que cuentan. Los aspectos más importantes en dicho plan de selección incluyen la definición del tipo, calidad y fuentes de datos.

La recopilación de los datos incluye el uso de listas de chequeo u hojas de trabajo. Tales listas permiten almacenar los datos y por ello deben incluir ciertas áreas de decisión que incluyen el propósito del inventario, los límites del sistema estudiado, el alcance geográfico, los tipos de datos usado, el procedimiento de captura, las medidas de calidad de los datos, la construcción de un modelo computacional (si es posible) y la presentación de resultados.

La asignación o localización (allocation) de cargas ambientales es una técnica de distribución de cargas por corriente o proceso, que permite la identificación y cuantificación del aporte real de cada corriente en el análisis del inventario. En otras palabras, el problema es

decidir qué porción de las cargas medioambientales de la actividad debe asignarse al producto investigado [SETAC, 1998; Ekvall & Finnveden, 2001; US-EPA, 2002].

Existen varios enfoques metodológicos para la asignación de cargas. Halada (1996), propuso un procedimiento de análisis de inventario incluyendo tres tipos diferentes de métodos de asignación dependiendo de las circunstancias: físico, económico o simplemente evitando la asignación. Kim & Dale (2000) propusieron un sistema de expansión para procesos en los que se involucran varios productos. Trinius & Borg (1999) describieron la influencia de un buen método de asignación de cargas en los resultados de una evaluación del impacto de ciclo de vida. Finalmente, Werner & Ritcher (2000) propusieron un sistema de asignación económica de cargas para resolver el problema de asignación en procesos multifuncionales que pueden llevar a cabo una o más funciones durante el ciclo de vida del producto. En este método, los autores adicionan un nuevo elemento al procedimiento propuesto en La norma ISO 14041.

2.1.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA).

La evaluación del impacto en el ciclo de vida es un proceso técnico cualitativo o cuantitativo que permite caracterizar y evaluar los efectos de las cargas ambientales identificadas en la fase de inventario [UNEP, 1998 & 2000]. De igual forma, la evaluación de impactos, es la fase de un ACV, en donde se valoran los impactos o efectos potenciales sobre la salud humana, los ecosistemas y los recursos naturales, debidos a las descargas identificadas en el análisis del inventario durante el ciclo de vida. La evaluación del impacto, permite establecer una relación, o vínculo entre un producto o proceso y sus impactos medioambientales potenciales.

Uno de los conceptos más importantes en la fase de evaluación del impacto, es la definición de las condiciones que pueden generar el impacto, por ejemplo, si un proceso genera gases de efecto invernadero, el aumento de estos gases en la atmósfera puede incrementar el calentamiento global. Las condiciones que hacen que se genere o incremente un efecto, son las que deben ser identificadas para una eficiente evaluación del impacto [US-EPA, 2001].

Por otra parte, la evaluación del impacto, es un procedimiento sistemático de clasificación y caracterización de los efectos medioambientales. En la actualidad, no existe un total acuerdo acerca de la evaluación de los impactos y riesgos, después de un análisis de inventario. En lo que sí hay acuerdo es en las fases de la evaluación del impacto del ciclo de vida, las cuales son: *clasificación o definición de las cargas*, *caracterización de los impactos*, *normalización* (comparación de los impactos definidos con algún criterio conocido), *valoración* e *interpretación* de los resultados obtenidos [Hoagland, 2001].

La fase de evaluación del impacto proporciona una base sólida para comparar productos o procesos, puesto que aunque mucho puede aprenderse sobre un proceso considerando su inventario, en la mayoría de ocasiones, los valores de las cargas por si solas no dan suficiente

información. Por ejemplo, se puede conocer que un determinado proceso genera 5000 ton/año de SO₂ y otro 2500 ton/año. Una evaluación del impacto de ciclo de vida permite determinar cual de los dos podría generar el mayor impacto potencial dependiendo de su ubicación. Además, la evaluación del impacto también puede incorporar juicios de valor. Por ejemplo, en una zona donde no existan problemas de desertificación de suelos, la emisión de sustancias generadoras de lluvia ácida no tendría la misma valoración que en una zona con este problema.

De acuerdo con el programa de evaluación del impacto de ciclo de vida, de la iniciativa setac-unep [Jolliet et al, 2003], los pasos para la elaboración de la evaluación del impacto de ciclo de vida:

- Selección y definición de categorías de impacto.
- Clasificación (asignación de los resultados del análisis de inventario a las categorías elegidas).
- Caracterización (modelado de los impactos del análisis del inventario en las categorías de impacto usando factores de conversión).
- Normalización (expresando los impactos potenciales en impactos que puedan ser comparados).
- Agrupación (organización y alineación de indicadores).
- Valoración (ponderando los más importantes impactos potenciales).

2.1.4 Interpretación

La interpretación en un análisis de ciclo de vida, es una técnica sistemática para identificar, cuantificar, verificar y evaluar información de los resultados del inventario de ciclo de vida (LCI) y de la evaluación del impacto (LCIA), y comunicarlos eficazmente.

La Organización Internacional para la Estandarización [ISO 14000, 2002] ha definido los dos siguientes objetivos de interpretación de ciclo de vida:

- ✓ Analizar los resultados, concluir acerca del alcance, explicar las limitaciones y proporcionar recomendaciones basadas en los resultados de las fases precedentes de un ACV.
- ✓ Proporcionar una presentación fácilmente entendible, completa y consistente de los resultados de un estudio de LCA, de acuerdo con los objetivos y alcances definidos para el estudio.

Interpretar los resultados de un ACV no es una tarea simple. Mientras se desarrolla un análisis del inventario o se evalúan los impactos del ciclo de vida, es necesario hacer suposiciones, diseñar estimaciones, y algunas decisiones se basan en juicios de valor.

Cada una de estas decisiones debe ser incluida y comunicada claramente y de forma que los resultados expresen de una manera comprensiva las conclusiones obtenidas. En algunos casos, después de un ACV, no es posible declarar que una alternativa es mejor que otra, debido a la incertidumbre en los resultados finales.

El proceso de ACV proporciona información a los tomadores de decisiones de los efectos medioambientales y a la salud asociados con cada alternativa, en las zonas donde ellos ocurren (localmente, regionalmente, o globalmente), y la magnitud relativa de cada tipo de impacto comparado con cada una de las alternativas propuestas e incluidas en el estudio. Esta información revela más claramente las ventajas y desventajas de cada alternativa.

Los pasos para desarrollar la fase de interpretación en un análisis de ciclo de vida, se discuten brevemente a continuación:

- ✓ Identificación de problemas significantes: relacionado con el análisis de dominancia para determinar cuales son los aspectos significativos en la actividad en estudio.
- ✓ Evaluación de la sensibilidad y consistencia de los datos: este aspecto se relaciona con el grado de incertidumbre soportado por el estudio, el cual depende del objetivo del análisis.
- ✓ Elaboración de conclusiones y recomendaciones: este aspecto está relacionado con el resultado último de la fase, y su objetivo es interpretar los resultados obtenidos.

De acuerdo con la red Europea para la investigación y el desarrollo de una evaluación estratégica del ciclo de vida [LCANET, 1997], es necesario orientar la realización en ACV hacia tres áreas:

1. Desarrollar estructuras de procedimiento que involucren áreas de protección que presenten una importancia considerable en su entorno y así mismo que involucren información social, económica, científica e incertidumbre acerca de la relación entre los indicadores de categorías de impacto, indicadores de punto final y áreas de protección. Finalmente, este aspecto debería mantener un firme criterio de flexibilidad y transparencia.

2. Identificar la suficiente información acerca de la relación entre los indicadores y puntos finales (endpoints), a través de la determinación del efecto o daño en una categoría de impacto para las categorías de impacto de los denominados endpoints.
3. Establecer factores de ponderación (comparación) haciendo uso de funciones de daño o efecto relacionadas con las categorías de impacto elegidas, que permitan identificar lo específico o general (global) de una alteración del área de protección.

2.1.5 Análisis de mejoras.

El análisis de las mejoras en el análisis del ciclo de vida es una evaluación sistemática de las necesidades y oportunidades para reducir las cargas ambientales en todo el ciclo de vida de un producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta los objetivos propuestos y alcances reales que se pueden obtener [Hendrickson, 1998].

Finalmente, un aspecto muy importante en el ACV, es la base de datos con que se cuente. La obtención de información tal como *emisiones y residuos generados* durante el ciclo de vida de un producto, se ve reflejada en la calidad y cantidad de los datos. La información debe estar relacionada con aspectos tales como *procesos productivos, requerimientos de materias primas y energía*.

De la misma manera, es necesaria información relacionada con la forma como un producto será utilizado y como se dispondrá al final de su vida. Un aspecto muy importante en la utilización de las bases de datos, tiene que ver con el hecho de que en algunas ocasiones está información es de carácter aproximado, ya que no es posible obtener datos reales [Herrera, 2001].

En la actualidad, es imposible contar con una base de datos que contenga toda la información necesaria de cada proceso específico, por lo que la mayoría de las herramientas cuentan con bases de datos interactivas, que consta de una información básica, pero donde el usuario puede incluir información específica de sus productos o procesos.

2.2 DESTINO Y EXPOSICIÓN DE CONTAMINANTES.

La administración ambiental, las industrias, y el público en general, incrementan su interés en los impactos que sus actividades pueden llegar a generar en sus zonas de influencia, por lo que las normativas cada vez son más sensibles a los aspectos relacionados con el destino de las sustancias que son emitidas por los procesos productivos [Erickson & King, 1999].

La fase de evaluación del destino y exposición de contaminantes consta básicamente de dos partes, la primera de ellas es la evaluación del destino, la cual permite identificar las zonas o medios donde los contaminantes se hallaran después de ser descargados [TGD-CD, 1996].

La evaluación del destino de contaminantes se basa principalmente en el estudio de las relaciones entre las propiedades de las sustancias, el entorno donde son descargados y los mecanismos de transporte y transformación de las sustancias en los diferentes medios [Herrera et al, 2003b].

Por otro lado, la evaluación de la exposición, tiene como objetivo determinar la concentración de la sustancia contaminante en el receptor. Básicamente, la evaluación de la exposición, busca responder al interrogante: ¿Cuál es la concentración de contaminantes a la que podrían exponerse los receptores? La respuesta a esta pregunta es vital para analizar los posibles efectos a los cuales puedan estar sometidas las áreas de protección que se hayan definido.

2.2.1 Evaluación del destino

En la sociedad actual, la preocupación ambiental se está orientando hacia el conocimiento del destino final de las sustancias químicas y sus componentes [Zilberman D, 2001]. Respondiendo a esta preocupación, agencias y gobiernos alrededor de todo el mundo, están requiriendo la identificación del destino medioambiental de las sustancias químicas, fabricadas o utilizadas en los procesos productivos, que pueden ser descargadas a los diferentes medios [Comisión Europea, 1996].

Si la información acerca de destino de la sustancia no está disponible o es incompleta, será más difícil comercializar los productos que contienen estas sustancias, puesto que los clientes potenciales, buscarán alternativas que presenten una descripción de destino más favorable o la designada por el ente regulador. Por ejemplo, cualquier sustancia que contenga materiales y características físicas que sugieran una propiedad persistente, bioacumulativa o un perfil tóxico, pueden estar sujetas a uso restringidos o a regulación adicional.

La evaluación del destino medioambiental debe ser considerada cuando cualquier producto nuevo o modificación de un producto está bajo desarrollo. Esta evaluación puede ser parte de un análisis de ciclo de vida, donde el destino de todos los materiales usados en el proceso industrial es determinado, o puede ser un estudio especializado en el uso y destino al final de la vida útil del producto fabricado. Por ejemplo, cualquier producto que se descargará finalmente a un vertedero necesita una evaluación de su destino final. Una evaluación del destino sigue los siguientes pasos:

- ✓ Caracterización del lugar de la descarga.
- ✓ Perfil de caracterización fisicoquímica de la sustancia
- ✓ Medición de propiedades fisicoquímicas en campo y laboratorio.
- ✓ Revisión de datos existentes del destino por ejemplo, predicción de las velocidades de biodegradación, trayectos, y productos finales
- ✓ Revisión del plan para la mejora de los datos faltantes de laboratorio y/o campo
- ✓ Aplicaciones de Modelos para lugares específicos

En la valoración de efectos (impactos o riesgos), el estudio del transporte y destino de los contaminantes juega un papel muy importante puesto que a través de estos es posible determinar las concentraciones en las áreas de exposición.

2.2.2 Evaluación de la exposición.

El proceso de evaluación de la exposición de contaminantes consta de varios aspectos, los cuales dependen entre otras cosas del tipo de efecto que tenga lugar [US-EPA, 1992]. Los principales aspectos son:

- ✓ Características de la fuente de descarga (medio de descarga, concentración de la sustancia contaminante)
- ✓ Distribución actual de la sustancia (localización o destino)
- ✓ Trayectos y mecanismos de transporte (físicos y/o biológicos)
- ✓ Destino
- ✓ Exposición o dosis estimada del receptor

Existen seis principales medios que pueden verse afectados por la descarga de sustancias contaminantes. Estos medios, los mecanismos de descarga y las principales fuentes, se observan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Receptores, mecanismos y fuentes de emisión de contaminantes.

Medio receptor	Mecanismos de emisión	Fuente de la emisión
Aire	Volatilización Emisiones fugitivas	Residuos superficiales, derrames Agua superficial contaminada Suelo superficial contaminado Humedales contaminados Suelo superficial contaminado Baterías mal dispuestas
Agua superficial	Escurrimiento de la superficie Flujos puntuales Filtración agua subterránea	Suelo superficial contaminado Inundación de lagunas Derrames Agua subterránea contaminada
Agua Subterránea	Lixiviación	Vertederos Suelos contaminados
Suelo	Lixiviación Escurrimiento de la superficie Flujos puntuales Deposición	Vertederos Suelos contaminados Inundaciones Derramamientos
Sedimento	Flujos por tierra (puntuales) Filtración por aguas subterráneas Lixiviación	Residuos expuestos en la superficie Suelo contaminado Agua subterránea contaminada Vertederos
Biota	Ingestión, contacto e inhalación	Suelo contaminado agua superficial o subterránea sedimento, aguas o aire

Fuente: Agencia de protección ambiental de Estados Unidos (US-EPA), 2001.

Los mecanismos de exposición dependen del receptor o área de protección en estudio. A continuación, se describen brevemente dos mecanismos típicos de exposición:

Biota acuática, probablemente será expuesta a los contaminantes a través del contacto directo con el agua o a través de la ingestión de agua superficial, sedimento, y alimento contaminado. En sistemas acuáticos, los organismos están expuestos a las concentraciones de contaminantes en los medios donde habitan. Por otro lado, el ecosistema terrestre puede ser también expuesto a través de la ingestión de agua superficial, suelo y alimentos contaminados.

Animales terrestres, pueden estar expuestos a través de la ingestión de agua superficial o alimentos contaminados. La cantidad que dichos organismos pueden asimilar, es lo que se conoce generalmente como *dosis*. Estos alimentos incluyen plantas que pueden contener contaminantes provenientes del agua superficial, subterránea, suelo, o aire. El agua superficial, el sedimento, el suelo, y los mamíferos pueden por consiguiente ser considerados como medios de comunicación de la exposición.

El agua subterránea y el aire sin embargo, probablemente sólo son importantes como medios de transporte (es decir, transportan los contaminantes a otros medios desde los cuales las sustancias son ingeridas por los organismos).

2.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL (ERA).

En términos generales, el riesgo es la contingencia o proximidad de un daño o efecto nocivo [RAE, 2002]. Bajo esta premisa, la evaluación de riesgos es una técnica multidisciplinaria que utiliza conceptos desarrollados en varias ciencias en las que se incluyen a la toxicología, epidemiología, ingeniería, sicología, higiene industrial, seguridad ocupacional, seguridad industrial, evaluación del impacto ambiental [Peña et al, 2001].

En una evaluación de riesgos, pueden definirse riesgos como estadísticamente comprobables o no verificable. Los riesgos estadísticamente comprobables son riesgos para actividades voluntarias o involuntarias que han sido determinados por la observación directa. Estos riesgos pueden compararse entre ellos, pero no deben compararse riesgos verificables y no verificables. [Hammonds et al, 1992].

La evaluación del riesgo ambiental es un proceso para valorar la probabilidad de que efectos -ecológicos y a la salud humana- adversos puedan ocurrir o estén ocurriendo como resultado de la exposición a una o más cargas ambientales. Una de las etapas críticas en el proceso de evaluación de riesgos ambientales, es la definición de los aspectos ambientales que se deben seleccionar para la evaluación. Estos aspectos cambian a menudo, debido a la diversidad notable de especies, de comunidades ecológicas, y de las funciones ecológicas involucradas en la evaluación del riesgo, lo cual puede generar ambigüedad con respecto a la definición de lo que debe ser protegido [US-EPA, 1992].

La Evaluación o análisis de riesgos, es un proceso que permite valorar el grado y la probabilidad de que existan efectos a la salud humana y al medio ambiente debido a cargas tales como la contaminación o pérdida del hábitat y recursos naturales. De acuerdo con la Academia Nacional de Ciencias [NAS, 1994; TGD-CD, 1996], el proceso de evaluación de riesgos consta de los siguientes pasos:

- ✓ Evaluación de la exposición: en donde se describen las poblaciones o ecosistemas expuestos a las cargas, la magnitud, duración, y la magnitud espacial de la exposición.
- ✓ Identificación del efecto/riesgo/peligro: identificando efectos adversos (ejemplo, enfermedad a corto plazo, cáncer, etcétera) que puedan ocurrir con la exposición a las cargas medioambientales.
- ✓ Evaluación de la función dosis-respuesta: Determinando la toxicidad o potencia contaminante de las cargas.
- ✓ Caracterización del riesgo: Usando los datos coleccionados en los primeros tres pasos para estimar y describir los efectos a la salud humana o la exposición ecológica a dichas cargas.

Así mismo, la gestión del riesgo (Risk Management), permite la administración de los riesgos, de manera que estos sean tratados o reducidos, con base no solo en los resultados de la evaluación, sino también de otros factores (Salud pública y factores sociales y económicos). Las opciones de la gestión del riesgo, incluyen prevención de la contaminación o tecnologías de control para reducir o eliminar los contaminantes u otras cargas ambientales. Los impactos ambientales o a la salud pública identificados deben servir de soporte en las decisiones tomadas en la gestión del riesgo, para el planteamiento de mejoras.

Con base en estas consideraciones, la evaluación de riesgos analiza dos elementos básicos, **la exposición**, que es la interacción de las cargas con los receptores (medidas de exposición que pueden incluir la concentración de contaminantes o cambios físicos en un hábitat), y **los efectos**, los cuales evalúan tanto cambios en la naturaleza y magnitud de los efectos como en la exposición. La integración de la información acerca de la exposición y de los efectos lleva a una estimación del riesgo, y a la predicción de los efectos adversos que resultarán de la exposición.

Los enfoques existentes para evaluar la exposición y los efectos, incluyen, por ejemplo, medidas de descargas de sustancias, predicción a través de modelos del destino y de efectos de las sustancias químicas aún antes de que ellas se fabriquen, además de probar los efectos de estas sustancias en el laboratorio. La exposición y el efecto, deben ser considerados juntos, porque ambos son muy importantes para la evaluación del riesgo. Cuando el potencial de exposición y efectos es bajo, el riesgo será probablemente bajo, y por lo tanto, cuando los dos son altos, el riesgo será alto. En cualquiera de los enfoques utilizados, el objetivo es usar toda la información disponible para caracterizar la exposición y efectos e integrarlos en una comprensión de riesgos ecológicos.

Debido a la complejidad de los receptores en la naturaleza, la valoración de riesgo incluirá algún grado de incertidumbre [Hertwich et al, 1999]. Aunque es posible reducir algunos componentes de la incertidumbre recogiendo datos adicionales, solo podemos estimar algunos componentes debido a su variabilidad inherente (como lluvia y variaciones de temperatura). Por lo tanto, es importante que los administradores de riesgos entiendan cual es el efecto de la

variabilidad e incertidumbre en las conclusiones de la evaluación del riesgo. Porque la toma de decisiones en la gestión del riesgo, no está exenta de incertidumbre y, de hecho, es necesario hacer un esfuerzo para cuantificar y comunicar la incertidumbre en los informes de evaluación de riesgos ambientales.

2.3.1 Evaluación de Riesgos a la salud humana (ERSH)

La evaluación del riesgo a la salud humana, se basa en la estimación de la incidencia de una sustancia tóxica en un sitio determinado, debida a la cantidad de sustancia que entra en contacto con la población en estudio y las condiciones en las que se da este contacto [Peña et al, 2001].

Una ERSH consiste en determinar si es tolerable el riesgo que enfrenta una población por estar expuesta a tóxicos en un sitio contaminado. La determinación y caracterización de los riesgos para la salud humana se lleva a cabo en cuatro pasos:

- ✓ *Análisis de los datos.*
- ✓ *Evaluación de la Exposición.*
- ✓ *Evaluación de la toxicidad.*
- ✓ *Caracterización de los riesgos.*

2.3.2 Evaluación de Riesgos Ecológicos (ERE)

La evaluación de riesgos ecológicos es una práctica que permite determinar la naturaleza y probabilidad de efectos de las actividades humanas en los recursos naturales y ecosistemas.

La evaluación de riesgos ecológicos ayuda a organizar la información y contribuye a la toma de decisiones [Freedman, 1989]. Una ERE, es una herramienta útil para la gestión del riesgo que facilita los siguientes aspectos:

- ✓ Destaca los riesgos de mayor importancia, lo cual es útil para asignar los recursos necesarios.
- ✓ Permite a los tomadores de decisión responder a la pregunta "Que pasa si?", con respecto a las consecuencias potenciales de sus acciones en la gestión.
- ✓ Facilita la identificación explícita de preocupaciones medioambientales.
- ✓ Identifica los aspectos críticos, por lo que permite priorizar la investigación futura.

La evaluación de riesgos ecológicos es útil para evaluar beneficios relativos de las opciones de limpieza en sitios utilizados para verter desechos peligrosos, para mostrar a priori nuevas sustancias antes de su producción comercial, en la valoración de los riesgos de productos agrícolas importados, o para determinar las amenazas a los recursos ecológicos acuáticos.

La evaluación de riesgos ecológicos incluye los siguientes aspectos:

- ✓ Formulación del problema: Definición clara de la problemática.
- ✓ Análisis: caracterizando potencial o exposición existente a las cargas ambientales y sus efectos.
- ✓ Caracterización del riesgo: integración y evaluación de la exposición e información de efectos.
- ✓ La concepción de la evaluación con el gestor del riesgo y la comunicación de los riesgos a los tomadores de decisiones.

La necesidad de separar la evaluación del riesgo en humanos y ecológicos, se debe a la mayor capacidad de recepción de sustancias contaminantes en el entorno y su mayor sensibilidad a los mismos [Khanh T, 1996; Köllner T, 1999]. En otras palabras porque las actividades de protección a la salud humana, no necesariamente protegen a los recursos ecológicos.

2.4 EVALUACIÓN DE DAÑO AMBIENTAL

La evaluación del daño ambiental (EDA), es el proceso de identificación y medición de los daños y perjuicios a los sistemas naturales con el propósito de compensar a la sociedad por la reducción en el valor de recursos naturales que ocurren por las acciones de otros [MacDonald et al, 2000].

La EDA ha sido una reciente tarea en países donde existe legislación que obliga a la identificación del daño en recursos naturales, y se emprende para establecer la magnitud de la obligación causada por daños de la partes involucradas. La economía ambiental parece jugar un papel cada vez más amplio e importante en la evaluación del daño, especialmente en la evaluación no basada en precios de mercado.

Una EDA que involucre descargas de sustancias peligrosas al ambiente sigue tres etapas básicas [DARP, 2003]:

- Determinación de la carga
- Cuantificación de efectos, y
- Determinación de daños

La determinación de la carga, relaciona la incidencia ambiental con la sustancia emitida y cuantificada en el inventario. La estimación de efectos determina en términos físicos la reducción en servicios de los recursos naturales; y la determinación de daño involucra una valoración del daño en términos cuantificables. Excepto en el caso de valoración de daños a la

salud humana y en sistemas naturales, muy difíciles de evaluar económicamente como cambio climático, destrucción de la capa de ozono, o no evaluables como pérdida de biodiversidad [Sonneman G, 2002].

La evaluación del daño de un sistema ambiental necesariamente involucra la medida de cambios en los valores económicos de los flujos de recursos y servicios medioambientales dañados por un incidente de contaminación. Mientras algunos de los flujos de servicio de los sistemas naturales están vinculados directa o indirectamente con los flujos de mercados, muchos otros no son regulados propiamente por mercados debido a las externalidades y sus características de “bienes públicos”. La necesidad de medir valores económicos de servicios ambientales se ha incrementado por la falla de los mercados de localizarlos y asignarles correctamente un precio.

El valor económico de un sistema natural corresponde a la suma de los valores actuales descontando los flujos totales de los servicios provistos por dicho sistema [Bockstael et al, 2000]. Los valores económicos son valores que reflejan el bienestar de un individuo, los cuales dependen del consumo no solo de los bienes comerciales y no comerciales, sino también de los flujos de servicios del sistema, tales como salud, paisaje y recreación. Estos valores se expresan en medidas de voluntad para pagar o voluntad para aceptar compensación. [Carson, 2000].

La aplicación de la de evaluación económica total (Total Economic Value, TEV), como estructura conceptual es muy útil en la determinación del daño. El valor económico de un recurso ambiental puede dividirse en dos componentes del valor: valores del uso y del no uso [Letson, 2002]. Los valores de uso pueden ser además divididos en uso directo –o de consumo-, indirecto, y opcional. Los valores de no uso son aquellos recursos a los que la sociedad simplemente les concede un valor para su existencia tales como la protección de especies en peligro de extinción.

Estimar los valores económicos de servicios ambientales requiere la aplicación de métodos de valoración directos e indirectos. En la literatura, se presentan varios métodos de evaluación y el método a usar dependerá de si los datos observados se derivan de una situación real o hipotética y si el método genera valores monetarios directamente o indirectamente [Carson, 2000]. Field (1995), clasificó técnicas de valoración en “*generalmente aplicable*” (es decir, cambios en productividad, costo de enfermedad, coste de oportunidad); “*selectivamente aplicable*” (Costes de viaje, valoración contingente); y “*potencialmente aplicable*” (métodos hedónicos). Esta clasificación refleja la consideración práctica de la posibilidad de medir los cambios deseados en servicios medioambientales.

Valoración contingente. La valoración contingente como un enfoque para estimar la relación coste-beneficio, involucra la solicitud de las respuestas a las preguntas hipotéticas con respecto

al valor que las personas le otorgan al bienestar ambiental. Las preguntas hipotéticas normalmente usadas piden el valor que las personas ponen a un cambio específico de bienestar medioambiental o el valor máximo que ellos están dispuestos a pagar para que dicho cambio ocurra [Carson, 2000].

Otro tipo de pregunta, es acerca de cuanto están dispuestos a recibir como indemnización o compensación por aceptar o soportar un riesgo o malestar ambiental. Las dos preguntas miden voluntad de pagar (Willingness To Pay. WTP) y voluntad de aceptar compensación (Willingness To accept Compensation. WAC).

La literatura en valoración contingente enfatiza la necesidad de dirigir estudios propiamente planeados para eliminar la incertidumbre inherente en estudios hipotético o tipo contingente.

Costes de viaje. El método de costes de viaje, el cual es extensivamente utilizado en la evaluación de bienes y servicios para recreación, requiere datos de lo observado por las personas que visitan un sitio recreativo. De estos datos, es posible derivar una relación de la demanda para el uso del sitio. Sin embargo, el valor de cambios en la calidad de un sitio recreativo o cambios en la calidad del flujo de servicios recreativos se mide mejor a través de una variante de los costes de viaje, el modelo de “utilidad aleatoria” que hace un mejor trabajo al identificar las características del sitio que influyen en las decisiones sobre si tener actividades de recreación y la elección del sitio a visitar.

Valor Hedónico. El enfoque de valor hedónico permite apreciar los cambios en el valor de la propiedad como una medida del daño por contaminación. El método es un enfoque sustituto de los “precios de mercado” y asume que los compradores revelan su actitud ante un grupo de características, en los cuales incluyen el bienestar ambiental, debido a su voluntad a pagar [Field, 1995].

Este enfoque requiere extensos datos de los precios de venta de propiedades individuales así como en sus características físicas (ubicación tamaño, distancia a una zona de disfrute ambiental).

Análisis coste-beneficio. Las decisiones requieren información y, aunque la disponibilidad de información apropiada no significa en forma automática que las decisiones sean buenas, su falta de disponibilidad casi siempre contribuirá a tomar decisiones erróneas. Existe una variedad de estructuras con el fin de generar y presentar información útil para los diseñadores de políticas, lo cual exige diferentes habilidades y procesos de investigación.

El análisis de costes ambientales puede llevarse a cabo en diferentes niveles [Field B, 1995]. El más sencillo se concentra en los costes de un programa ambiental para una actividad

específica. La razón para denominar este nivel como el más sencillo es que estos costes usualmente se generan al calcular los costes de una estructura específica, y para la cual, lo que está por fuera de sus fronteras permanece constante.

En el siguiente nivel se encuentran los costes para una actividad industrial, cadena productiva, o para una región, que se generan con el cumplimiento de las regulaciones ambientales o la adopción de ciertas tecnologías. En este caso ya no se puede depender de simples hipótesis de ingeniería. Se deben por lo tanto realizar actividades tales como la predicción con una precisión razonable de la manera como responderá la cadena productiva al cambio en la legislación. En un nivel aún superior, el interés se concentra en los costes totales de una actividad productiva.

Los costes de oportunidad son los costes de la oportunidad de utilizar recursos (insumos), a los cuales la sociedad tendría que renunciar cuando estos recursos se utilizan en otra forma específica. Los costes de oportunidad más usualmente estudiados son los costes ambientales, los de mejoramiento sin costes en la calidad ambiental y los costes de ejecución de leyes. Los costes más fáciles de visualizar son los costes de instalaciones individuales, los costes de regulaciones a escala local o industrial.

Finalmente, se llega al nivel global o escala nacional, en donde el interés se centra en la determinación de la carga de costes macro-económicos ocasionados por las regulaciones ambientales impuestas en un determinado periodo.

La medición de los beneficios de las mejoras en la calidad ambiental consta a su vez de diferentes niveles de detalle. Estos niveles cubren diferentes necesidades de información y van desde la medición directa de los daños y el posterior cálculo del beneficio de evitar ese daño, hasta el cálculo de la voluntad para pagar.

La medición directa de los daños sigue los pasos de una evaluación de efectos, es decir, es necesario medir las emisiones, determinar el destino, calcular el grado de la exposición, medir los impactos y finalmente calcular los costes de tales impactos. Los daños se clasifican en daños a la salud humana, ecológicos y otros daños, que incluyen daños a instalaciones o edificaciones (lo que generalmente se conoce como ambiente hecho por el hombre).

La disponibilidad a pagar se puede calcular a través de métodos directos e indirectos, los cuales determinan los costes de prevención y en algunas ocasiones el valor de la vida humana expresada en tasas salariales.

2.5 ANÁLISIS DE PROCESOS

El análisis de procesos, es una actividad que incluye actividades no sólo de evaluación de procesos en funcionamiento, sino también, de diseño de nuevos procesos. Así mismo, en la

actualidad, existen más procesos en funcionamiento que en etapas de diseño [Turton et al, 1998]. En este trabajo de investigación, se aplica el análisis de procesos, desarrollando actividades de diseño y diseño ambiental de procesos.

2.5.1 Diseño de procesos.

Diseñar es inventar un producto, sistema o proceso que cumpla con un conjunto de objetivos. Esto incluye el desarrollo de especificaciones y criterios y así mismo, la síntesis, análisis, construcción, prueba y evaluación de soluciones alternativas. En términos generales, el diseño se basa en la definición de los siguientes aspectos:

- ✓ Descripción de información inicial.
- ✓ Definición del tipo de proceso (por lotes o continuo)
- ✓ Descripción de las entradas y salidas.
- ✓ Reciclos o subproductos.
- ✓ Sistema de separación.
- ✓ Integración energética.

Existen diversas metodologías de diseño, las cuales se basan en los aspectos mencionados anteriormente y en el desarrollo de una serie de etapas que permiten la completa consecución de estos pasos.

El procedimiento de diseño puede estar basado en diferentes niveles de información [Douglas,1988; Korevaaret al 2000], los cuales parten de la definición del tipo de proceso (continuo o por lotes), la estructura de entradas y salidas, la estructura de reciclos y los sistemas de separación.

Nivel 0. Información inicial.

La información inicial o nivel 0, provee información acerca del tipo de reacción que se desarrollará en el proceso, es decir, si existen reacciones primarias o secundarias y cuales son las condiciones de reacción. Así mismo, en este nivel, se da información acerca de la distribución de los productos y los balances a tener en cuenta.

El nivel 0, da información acerca del mercado con que cuenta el producto a producir, en términos de los volúmenes de producción que se deben manejar, el porcentaje de pureza requerido y todos los costes relacionados con la puesta en marcha del proceso.

Este nivel provee también información de las propiedades fisicoquímicas del producto, y en este mismo sentido, información acerca de si es posible usar información experimental.

Nivel 1. Operación de los procesos

En la práctica, los procesos pueden ser continuos (procesos diseñados para operar 24 horas por día, y 7 días por semana), o por lotes (procesos que operan por ciclos de operación). Este nivel permite elegir esta característica, teniendo en cuenta aspectos tales como: flexibilidad del proceso, volúmenes de producción, condiciones del mercado y escalamiento.

Nivel 2. Estructuras de entradas y salidas

Un aspecto fundamental de los procesos es la definición de sus corrientes (entradas/salidas). Esto sólo puede ser definido a través de criterios que incluyen la purificación de las corrientes de entrada, la separación de los reciclos o subproductos reversibles, el uso de corrientes de purga en los reciclos gaseosos, la determinación de las corrientes de salida y la selección de las variables de diseño (conversión, relación de alimentación y cantidades de recuperación entre otras).

Nivel 3. Estructura de los reciclos.

En este nivel, se estudian los sistemas de reacción del proceso y sus interacciones a través de las corrientes de reciclo. Así como, las variables de diseño en el equilibrio, la estructura de los reciclos y en particular, la necesidad de usar compresores.

Los criterios que se deben tener en cuenta son: número de sistemas de reactores y reciclos, necesidad de exceso en alguno de los reactivos, operación térmica del reactor, conversión en el equilibrio y uso de compresores para las corrientes gaseosas.

Nivel 4. Sistemas de separación.

La separación de corrientes en el diseño de procesos, de acuerdo con esta metodología, parte de la determinación de la estructura general del sistema, y termina con una descripción detallada del mismo. Existen dos grandes sistemas de separación: sistema de recuperación de vapor (SRV) y el sistema de separación de líquido (SSL).

Dependiendo del tipo de sistema elegido, se deberán definir características tales como: localización, relación del SRV con el SSL, separación y destino de componentes ligeros que pueden llegar a contaminar el producto y el uso de la destilación como proceso base para los SSL.

Sin embargo, es necesario integrar adecuadamente la información ambiental, puesto que en general, los diseñadores de procesos, nunca son expertos en evaluación ambiental y por lo tanto dependen de la información ambiental que sobre materiales y procesos presentan las herramientas actuales, en las que indudablemente, existe una gran incertidumbre en el uso de esta información. Por ello, es necesario que sean ellos, los diseñadores, quienes definan el tipo, cantidad y calidad de información [UNEP, 2000].

2.5.2 Ecodiseño ó diseño para el medio ambiente.

El Ecodiseño es la consideración sistemática de la función de diseño con respecto a objetivos medioambientales de salud y seguridad a lo largo del ciclo de vida del producto ó del proceso. El DFE debe formar parte de un sistema integrado que sea capaz de proporcionar una guía útil a la hora de decidir sobre el desarrollo de productos de ciclo corto en términos de generación de residuos, deterioro de los ecosistemas y agotamiento de los recursos naturales [Fiksel J, 1999].

Guías para el ecodiseño

El ecodiseño, se basa en una serie de guías prácticas, que permiten hacer del diseño de nuevos procesos o productos, una actividad donde convergen diversos campos del conocimiento. A continuación, se presenta una serie de guías, que en ningún caso intenta ser completa, pero que muestra un amplio espectro de posibilidades.

Diseño para la recuperación y reutilización.

Se fundamenta en los conceptos de *diseño para la recuperación de materiales* y *diseño para la recuperación de componentes*. El concepto parte de la premisa de que siempre es posible recuperar materiales y componentes. Los primeros cuando se asimilan al estado de materia prima del producto y se han tenido en cuenta característica como homegeneidad, pureza y la posibilidad de que el material sea reprocesado. Los segundos cuando es posible desensamblar los productos en componentes y estos pueden ser utilizados como piezas individuales o en la elaboración de nuevos productos.

Diseño para el desensamblaje.

El propósito de este concepto es asegurar que un sistema de un producto pueda ser desensamblado con un mínimo esfuerzo económico y de coste. El grado de desensamblaje de una unidad, módulo, o componente, depende no solo de los costes de desensamblaje, separación, inspección, selección y restauración, sino también de su valor de reutilización, reventa o recuperación.

Los conceptos que fundamentan este diseño son: facilitar el *acceso a los componentes*, *simplificar las conexiones* entre los componentes y *diseño* para la simplicidad.

Diseño para la minimización de residuos.

La minimización de residuos se basa en una serie de prácticas que involucran la gestión de los materiales desde el momento mismo de la producción, teniendo en cuenta que si se utilizan menos materiales, habrá menos materiales para desechar.

Esta práctica se basa en los conceptos de: Diseño para la *reducción en la fuente u origen*, Diseño para la *separación*, *Evitar los contaminantes* en los materiales, y *Diseño para la recuperación y reutilización de residuos*, *Diseño para la incineración de residuos*.

Diseño para la conservación de energía.

La conservación de la energía es una de las formas más atractivas de prevención de la contaminación, ya que es fácil de llevar a cabo y los ahorros en los costes son directos. Por lo que es una de las estrategias claves en el DFE. Esta estrategia se basa a su vez, en conceptos que involucran el ciclo de vida de los productos: reducción del uso de la energía en la producción, reducción del consumo de energía eléctrica, reducción del uso de energía en la distribución, uso de formas de energía renovable.

Diseño para la conservación de materiales.

Hasta ahora, se han analizado prácticas de diseño que se basan en la recuperación de materiales una vez estos han sido usados. Esta práctica, busca prevenir la contaminación, a través de la conservación de los materiales antes de que estos entren en el ciclo productivo.

Los conceptos tenidos en cuenta en esta práctica de diseño son: *productos multifuncionales*, *especificación de materiales renovables y reciclables*, *uso de componentes remanufacturados*, *diseño para la longevidad del producto*, *diseño para ciclo cerrado de reciclaje*, *diseño para la recuperación de embalajes*, *diseño para envases reutilizables* y, *desarrollo de programas de alquiler*.

Diseño para la prevención de accidentes.

Tradicionalmente, las técnicas de análisis de riesgos se han aplicado a productos y procesos existentes, con el fin de identificar peligros potenciales, cuantificar su importancia y determinar la manera como podrían mitigarse. El DFE brinda la posibilidad de tener en cuenta estas técnicas durante el diseño de procesos, de manera que puedan ser evaluadas las tecnologías y conceptos de diseño alternativo.

Los conceptos involucrados en esta guía de diseño son: *reemplazo de materiales cáusticos o inflamables*, *utilización de márgenes para la liberación de presión*, *minimización del potencial de fugas* y *utilización de etiquetas con suficiente espacio para advertencias*.

2.6 EVALUACIÓN DEL COSTE TOTAL

La metodología de evaluación del coste total TCA (de sus siglas en Inglés), fue desarrollada en 1991, por el Instituto Tellus en Boston (Massachusetts), el método consiste en identificar y cuantificar los daños potenciales (y los costes que conforman este daño) hacia el medio

ambiente y la salud pública, disminuyendo futuros riesgos y costes contingentes (asociados a responsabilidades potenciales) para un producto, proceso y/o actividad [Instituto Tellus, 1999].

El TCA es un método que compara todos los costes y ventajas relevantes entre las inversiones o los cambios alternativos de un proceso. Los métodos tradicionales comparan diversas alternativas de la inversión usando solamente costes de trabajo y equipo y, más recientemente, costes ambientales tales como la generación de energía. Utilizando el método TCA, el alcance de estos costes ambientales se amplía para incluir costes menos directos y menos tangibles para una visión más completa de las consecuencias para el medio ambiente.

Este método consiste, según lo define el CWRT (Center for Waste Reduction Technologies), en seis etapas más una final de información de los resultados a la compañía [CWRT-AICHe, 1999]. El propósito de las tres primeras es definir claramente qué aspectos del proyecto o de las alternativas son importantes antes de empezar la evaluación completa. Una vez estos tres pasos se han completado, se desarrolla un inventario financiero para cada proyecto o alternativa. Los pasos son los que se detallan a continuación.

1. Definición y alcance del proyecto: identificar y definir claramente el proyecto y el propósito de la evaluación del coste total.
2. Simplificar/Ajustar el análisis: redefinir el primer paso conectando los resultados obtenidos de otros elementos de decisión, como pueden ser la incorporación de los resultados del análisis del ciclo de vida (ACV)
3. Identificar los riesgos potenciales: evaluar la importancia relativa de las categorías de impacto y la viabilidad de recoger datos para estas.
4. Realizar un inventario financiero: clasificar los costes en cinco tipos:
 - ✓ Tipo I: Costes directos. Material, capital de trabajo y los costes de operación y mantenimiento (O&M).
 - ✓ Tipo II: Costes Indirectos. Incluye los *overheads* y los costes que no son debido a los productos o al proceso en general.
 - ✓ Tipo III: Costes contingentes futuros. Asociados a las responsabilidades potenciales, como multas, abogados, daños en accidentes industriales.
 - ✓ Tipo IV: Costes no cuantificables. Costes que paga la compañía aunque no son cuantificables a priori como, cambio en imagen corporativa o moral, corporativa del empleado o relaciones del cliente.
 - ✓ Tipo V: Costes externos. Costes que la compañía no paga directamente como el deterioro del medio ambiente a causa de la polución y que están reguladas por el estado.

Los costes Tipo III-V incorporan la probabilidad, frecuencia y selección del momento de una ocurrencia para todas las categorías de costes importantes, donde los datos relevantes están disponibles.

5. Analizar los datos y realizar la evaluación de impactos: revisar los costes y determinar los grandes contribuidores de cada categoría y como se va a incorporar esta información al proceso.
6. Documentar los resultados: realizar un documento donde se expone toda la información recogida, los resultados para cada objetivo y las decisiones oportunas a realizar.
7. *Retroalimentación a la compañía*: dar conocimiento a la compañía de los resultados finales, ya sean los costes totales, o las opciones que pueden minimizar estos costes. Estas siete etapas quedan reflejadas en la Figura 1.3.

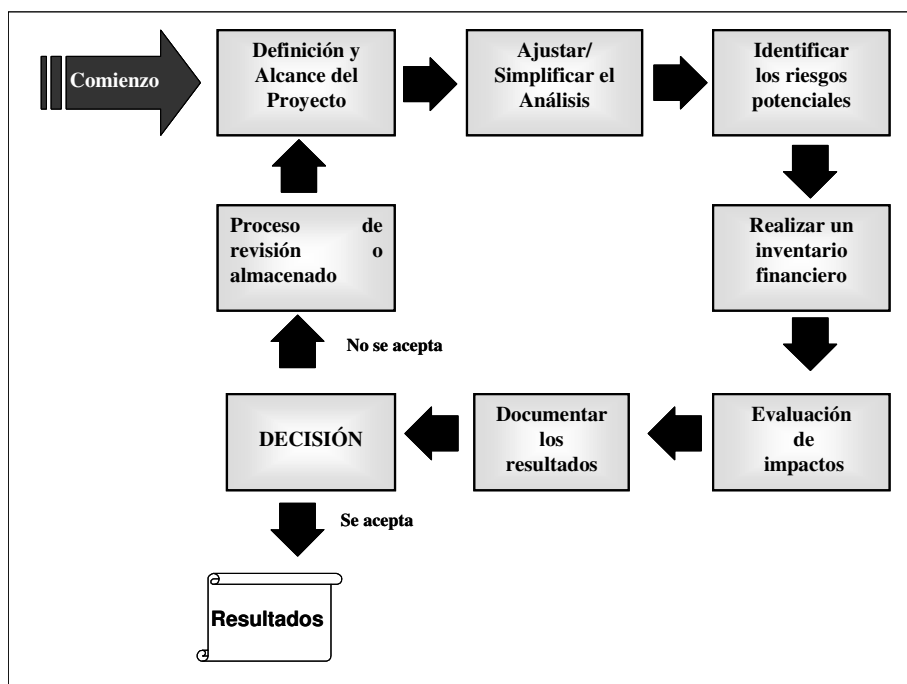


Figura 2.3 Esquema de la metodología del TCA. Desarrollado por AICHE CWRT.

El TCA se ve generalmente como una herramienta dentro del campo más amplio de la contabilidad ambiental. La contabilidad ambiental se asegura de incorporar, en un cierto grado, los costes de las actividades ambientales últimas, presentes y futuras, en las decisiones tomadas por una organización [Causing et al, 1999].

El TCA se diferencia de enfoques convencionales considerando una gama más amplia de los costes que son particularmente aplicables a la prevención de la contaminación. No obstante el TCA tiene una visión de análisis más reducida, que por ejemplo el análisis del ciclo

de vida, porque puede excluir los costes sociales externos para los cuales una compañía no es legalmente responsable ni está financieramente obligada.

El análisis financiero del TCA se diferencia de los análisis convencionales en tres aspectos importantes:

- ✓ Identificando un inventario de costes/beneficios asociado a una evaluación de impactos, incluyendo responsabilidades que no son tomadas en cuenta en un análisis convencional.
- ✓ Asignando los costes en cuentas específicas del proceso y del producto, en lugar de asignarlos a gastos generales.
- ✓ Los indicadores, tales como el valor actual neto (VAN) y la tasa del índice de retorno (TIR), se utilizan en el análisis financiero. Éstos ayudan a identificar el valor presente y futuro del dinero, de los costes y de los ahorros a largo plazo.

Los proyectos implican un número de costes/beneficios que son a menudo difíciles de cuantificar, costes externos y a largo plazo. Estos costes/beneficios son:

- ✓ Los costes de la administración ambiental. Coste de capital de las instalaciones de control y tratamiento de los contaminantes; los costes de operación y mantenimiento; gestión de desechos; prevención del lanzamiento accidental y preparación de la respuesta; seguros.
- ✓ Costes de regulación incluyendo la preparación, el supervisado, la documentación, y la divulgación.
- ✓ Controles de salud y de seguridad de empleado, preparación, documentación, y equipo.
- ✓ Responsabilidades referentes a daños corporales y a daños materiales;
- ✓ Impacto de la imagen corporativa que puede afectar a la cuota de mercado o al valor de las acciones.
- ✓ Capacidad de la producción limitada por requisitos reguladores.
- ✓ Valor de la emisión de créditos industriales/comerciales.
- ✓ Cuota de mercado mejorada debido a productos más seguros, más ecológicos.

Tipos de costes.

Costes tipo I: Costes directos

Son los costes generados directamente debido a la producción.

- ✓ Compra de materias primas.
- ✓ Compra agua de refrigeración.
- ✓ Compra agua desionizada.
- ✓ Potencia eléctrica
- ✓ Mano de obra

- ✓ Equipos de operación
- ✓ Costes de operación y mantenimiento.
- ✓ Material diverso.
- ✓ Capital de trabajo.
- ✓ Catalizador.
- ✓ Formaciones.
- ✓ Terrenos.
- ✓ Dietas.

Costes tipo II: Costes Indirectos

Son los costes que no son debidos a la producción, incluye los *Overheads*.

- ✓ Overheads (Ver Tabla 1.2 [WSDE, 2000])
- ✓ Supervisión.
- ✓ Mantenimiento general planta.
- ✓ Inventario del catalizador.
- ✓ Dirección.
- ✓ Diseño.
- ✓ Gestión
- ✓ Comunicación.
- ✓ Materias adicionales.

En cuanto a los costes considerados como overheads, la Tabla 1.2 muestra algunos ejemplos.

Tabla 2.2 Ejemplos de costes considerados como *Overheads*.

Costes	<i>Siempre como Overheads (%)</i>	<i>Habitualmente como Overheads (%)</i>
Salario directivos	74	23
Salario Técnicos Medioambientales	68	26
Multas Medioambientales	67	24
Comunicados a las agencias gubernamentales	65	28
Seguros	64	26
Permisos	60	29
Controles medioambientales	58	23
Controles residuos tóxicos	58	29
Transporte residuos tóxicos fuera de planta	58	28
Tratamiento de aguas pesadas en planta	57	22
Controles de emisiones aéreas	56	24
Manejo de residuos tóxicos	56	22

Fuente: Washington State Department of Ecology, 2000.

Costes tipo III: son los costes asociados a las responsabilidades potenciales y a la prevención de la contaminación (costes ambientales internos [EEA, 1999])

- ✓ Coste por el tratamiento, recogida de los Residuos Tóxicos y Peligrosos (RTPs).
- ✓ Coste por el tratamiento de descargas hasta el nivel permitido por la legislación.
- ✓ Coste por el consumo de agua.
- ✓ Coste por el consumo de energía.
- ✓ Costes por contaminación de suelos, prevención y el control del nivel de ruidos, consumo de recursos no renovables, generación de residuos asimilables a urbanos.
- ✓ Coste de un seguro medioambiental o coste de un posible accidente.
- ✓ Coste de implantar un Sistema de Gestión Ambiental.
- ✓ Multas.
- ✓ Abogados
- ✓ Daños por accidente industrial.
- ✓ Denuncias.

Costes tipo IV: Costes No Cuantificables

Costes que paga la compañía aunque no son cuantificables a priori

- ✓ Cambios en la imagen corporativa o moral.
- ✓ Relaciones con el cliente (aceptación, lealtad)

Costes tipo V: Costes Externos

Costes que la compañía no paga directamente, y que soporta la sociedad

- ✓ Dispersión de contaminantes, lo que comporta un deterioro del medioambiente (de la salud humana, de los ecosistemas, de los recursos naturales)

2.7 TOMA DE DECISIONES AMBIENTALES

La toma de decisiones es fundamental para cualquier actividad humana. En este sentido, somos todos tomadores de decisiones. Sin embargo, tomar una “buena” decisión empieza con un proceso de razonamiento, constante y focalizado, que incluye muchas disciplinas [Arsham H, 2003].

En los procedimientos de evaluación ambiental, la toma de decisiones es una tarea compleja tanto por la cantidad de información como por la variedad de su uso. Esto genera dificultades a quien toma las decisiones en saber cómo y cuando utilizar toda la información que tiene a disposición, por lo que es necesario clasificarla e integrarla de forma adecuada. Basson

et al (2001) desarrollaron una guía para la toma de decisiones ambientales que involucra no sólo información específica de la actividad estudiada, sino también las áreas involucradas y la calidad de la información utilizada. La estructura del análisis de toma de decisiones, involucra aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales cuando estos son aplicables.

Por otra parte, Schwarz et al (2002) desarrollaron medidas que relacionan el desarrollo ambiental y económico de procesos productivos, como base para la toma de decisiones en procesos sostenibles. Las medidas propuestas por ellos son:

- Intensidad másica y energética de los procesos productivos
- Consumo de agua
- Emisiones tóxicas
- Emisión de sustancias contaminantes

Las medidas, intentan mantener criterios de simplicidad en el uso, posibilidad de ser entendida por diferentes audiencias, reproducibilidad y fortaleza. La Figura 2.4, presenta un diagrama de flujo, del análisis de decisiones propuesto por Basson.

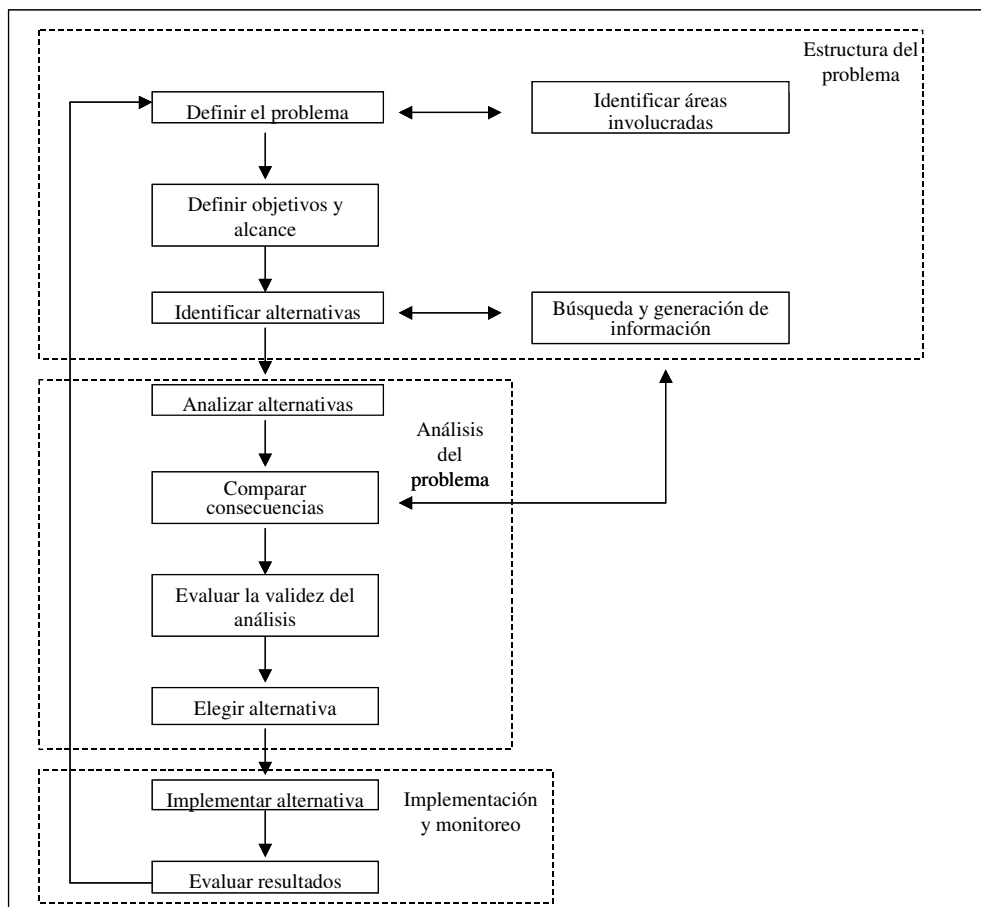


Figura 2.4 Ciclo del análisis de Decisiones. Adaptado de Basson et al, 2001

A continuación se describirá un desarrollo por etapas para el análisis de decisiones, que puede servir de base para la toma de decisiones ambientales.

Determinación del área de estudio.

El área a estudiar o definición del problema consiste en la caracterización de lo que se pretenda estudiar, esto puede ser una actividad industrial, un proceso industrial o una zona factible de sufrir un posible efecto por alguna actividad humana. Para el estudio de sitios, se clasificará según su utilización [US-EPA, 1998]:

- a) residencial
- b) recreacional
- c) industrial
- d) agrícola

Búsqueda y generación de información

La información que permita soportar la toma de decisiones, incluye: propiedades físico químicas de las sustancias relacionadas, constantes de reparto entre los diferentes medios, toxicidad, vida media, etcétera. La información relacionada con las propiedades del entorno (zona de estudios) es también necesaria, y puede ser suministrada por modelos multimedia (aire, suelo, vegetación, seres vivos).

Evaluación de efectos.

La evaluación de efectos está dirigida a tres áreas de protección: salud humana, ecosistemas y recursos naturales. La evaluación de efectos puede hacerse a través de la evaluación de riesgos o impactos.

Análisis de consecuencias.

Las consecuencias se evalúan y comparan de manera que puedan tenerse en cuenta todos los aspectos de interés en el estudio.

Análisis de decisiones.

La estrategia de análisis de decisiones integra la totalidad de la información relevante que está relacionada con el problema propuesto. De acuerdo con esta estructura, el análisis de decisiones comprende tres pasos: 1) estructura del problema, 2) análisis del problema y, 3) implementación y monitoreo de alternativas de solución del problema.

REFERENCIAS

- Arsham H. Toma de decisiones estratégicas acertadas. Ciencia de la Administración Aplicada. (<http://ubmail.ubalt.edu/~harsham/opre640S/Spanish.htm>) (2003)
- Basson L. A roadmap for decision making in different decisions contexts. Proceedings in 6th World congress of chemical engineering. Australia (2001)
- Bockstael N. On measuring economic values for nature. Environ. Sci. Technol, 34, 1384-1389. (2000)
- Carson R. Contingent valuation: A user's guide. Environ. Sci. Technol, 34, 1413-1418. (2000)
- Casamiquelas S., Royo M. Clasificación y caracterización de contaminantes y comparación de alternativas de evaluación del destino. Reporte laboratorio de investigación. Departamento de Ingeniería Química, URV. (2003)
- Castells F. An algorithm for life cycle inventory. AIChE Symposium series on pollution prevention via process and products. (1995)
- Castillo F. Modelo matemático para la evaluación de la agresividad ambiental de sectores industriales Colombianos. Tesis doctoral, Universidad Industrial de Santander, Colombia. (2000)
- Causing M. Analysis of Pollution Prevention Investments Using Total Cost Assessment: A Case Study in the Metal Finishing Industry. Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center. (http://www.pprc.org/pprc/sbap/metalfin/tca_rept.html) (1999)
- Center for Waste Reduction Technologies (CWRT). Total cost assessment methodology. AIChE. (1999)
- Chirs H. Economics Input-Output Models for environmental Life-Cycle Assessment. Environmental. Policy Analysis. Environ. Sci. Technol. 184A-191A. April (1998)
- Damage Assessment and Restoration Program (DARP). Cooperative assessment project (cap) framework. National Oceanic and Atmospheric Administration. (2003)

Douglas J. Conceptual Design of Chemical Processes. McGraw-Hill International Editions, Chemical Engineering Series. (1988)

EC - European Commission Technical Guidance Document (TGD) in Support of the Commission Directive 93/67/EEC on Risk Assessment for New Notified Substances and the Commission Regulation (EC) 1488/94 on Risk Assessment for Existing Substances, Parts I-IV. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1996)

Ekvall T. Finnveden G. Allocation in ISO 14041- A critical review. Journal of cleaner production, Vol. 9, pp.197-208. (2001)

Erickson L., King B. Fundamentals of environmental management. John Wiley & Sons, Inc. (1999)

Environmental Protection Agency of United States (US EPA). LCAcces-LCA 101. (2001)

Environmental and health risks of pesticides. Department of Agricultural and Resource Economics (ARE 298/) School of Public Policy. University of California at Berkeley. PP 290. (2001)

European Environmental Agency. EEA. Guidelines for defining and documenting data on costs of possible environmental protection measures.(1999)

European network for strategic life-cycle assessment research and development. Editor-in-chief Walter Klöpffer, (1997)

Field B. Economía ambiental. McGraw-Hill (1995)

Freedman B. Environmental ecology. The impacts of pollution and other stresses on ecosystems structure and function. Academic Press, Inc. San Diego, California. (1989)

Halada K. The next step of inventory analysis as a common language. The Second International Conference on EcoBalance. The new stage of LCA as a common language. November 18 -20, (1996)

Hammonds S. Background Risk Information to Assist in Risk Management Decision Making. (1992)

Herrera I. Kulay L. Castells F. Environmental Damage Assessment Applied to Process Analysis. A Decision Support Alternative. Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. Vol I pp 19-24 (2002)

Herrera I. Integración entre una herramienta ambiental y la simulación de procesos, para su aplicación en el diseño. Memoria proyecto de investigación. Departamento de Ingeniería Química. Universitat Rovira i Virgilil, España. (2001)

Hertwich E., McKone T., Pease W. Parameter Uncertainty and Variability In Evaluative Fate and Exposure Models. Risk Analysis, Vol. 19, No. 6, (1999)

Hertwicht E. A theoretical foundation for LCA. Recognizing the role of values in environmental decision making. Journal of industrial ecology, Vol 4, N° 1. (2000)

Hoagland T. Non-Traditional tools for LCA and Sustainability. Int. J. LCA 6 (2) 110-113 (2001)

Instituto Tellus. (<http://www.tellus.org>) (2003)

International Standard Organisation (ISO). Environmental management-Life cycle assessment-Principles and Framework. Technical standard. (1997)

Jolliet O., Brent A., Goedkoop M., Itsubo N., Mueller-Wenk R., Peña C., Schenk R., Stewart M., Weidema B. LCIA Definition study. Life Cycle Impact Assessment Programme of the Life Cycle Initiative. (2003)

Khanh T. An integrated system for air toxic inventory and risk assessment. Ninth Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology. (1996)

Kim Seungdo & Dale Bruce E. Allocation procedure in ethanol Production System from Corn Grain. LCA case studies. Int J LCA (2000)

Köllner T. Assessing land-use impacts on ecosystem quality within life-cycle assessments. Presented in 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water. (1999)

Korevaar G. Sustainability in process design methodology. In proceedings 21st annual European AIChE. Hague, (2000)

Letson D. Measuring Environmental Values. Topic 6 of Economics of Natural Resources course. (<http://www.rsmas.miami.edu/divs/maf/courses/maf502/syllabus502.htm>) (2002)

MacDonald K, et al. Application of environmental damage assessment and resource valuation processes in Atlantic Canada. Organization for economic co-operation and development. (2002)

National Academy of Sciences. Science and Judgment in Risk Assessment. Committee on Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants, National Research Council D0-309-07490-8. Pp. 672. (1994)

Norris G. Estimating the value of life cycle assessment. Proceedings of the First International conference on life cycle management, Copenhagen. pp 157-162. (2000)

Peña C. Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental. Distributed on the Internet via the Southwest Hazardous Waste Program website at <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>. (2001)

Real Academia Española. (<http://www.rae.es>). (2003)

Scharwarz J. Use sustainability metrics to guide decision-making. Chemical Engineering Progress. July (2002)

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC-Europe) Europe News, Streamlining or Simplifying Life Cycle Assessment. Vol 10, issue 4. (1999)

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Life-Cycle Impact Assessment: The state-of-the-art. Second edition. (1998)

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Guidelines for life cycle assessment –A code of practice. Sesimbra/Portugal, SETAC workshop report. (1993)

Sonnemann G., Schuhmacher M., Castells F. “Framework for the Environmental Damage assessment of an Industrial Process Chain”, Journal of Hazardous Materials, vol 77, pp 91-106, (2000)

Trinius W., Borg M. Influence of Life cycle allocation and valuation on LCA results. Journal of low energy and sustainable buildings, Vol. 1 (1999)

Turton R., Bailie R., Whiting W., Shaeiwitz J. Analysis Synthesis, and Design of Chemical Processes. Prentice Hall. (1998)

Unep-Setac Initiative. Background paper of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Unep, DTIE, Paris. (2001)

United Nation Environmental Program (UNEP). Evaluation of environmental impacts in life cycle assessment. Meeting report. Brussels, 1998. Brighton, (2000)

US-EPA. Guidelines for Ecological Risk Assessment (EPA/630/R-95/002F). (1998)

US-EPA. Framework for identifying optimal allocations.

<http://www.epa.gov/waterscience/models/allocation/framework.htm>.

US-EPA. Framework for ecological risk assessment (630/R-92/001). Risk Assessment Forum, Washington, DC, 50 pp. (1992)

Washington State Department of Ecology. Hazardous Waste and Toxics Reduction Program. "Seminar Notes for Total Cost Assessment". Publication Number 00-04-008. (2000)

Werner Frank & Ritcher Klaus. Economic allocation in LCA: A case study about aluminium windows frames. Int. J. LCA 5 (2) 79-83. (2000)

Wenzel H. Environmental assessment of products. Vol 1: Methodology, tools and case studies in product development. Chapman & Hall. (1997)

3. DESARROLLO, EVOLUCIÓN Y APLICACIÓN DE METODOS EXISTENTES.

El capítulo actual presenta una breve descripción del desarrollo y evolución de los métodos de evaluación ambiental y análisis de procesos estudiados durante el transcurso de esta investigación, así como los aspectos que posibilitan su aplicación en la metodología que se propone.

En la primera parte del capítulo se hace una revisión crítica de los diferentes métodos de *evaluación ambiental* para determinar sus fortalezas y los aspectos que deben ser mejorados para su aplicación. La siguiente fase en esta primera parte, consiste en el planteamiento de una nueva forma de evaluación ambiental en las actividades industriales, que permita involucrar los aspectos más relevantes del análisis de procesos para su integración.

En la segunda parte, se propone la estructura de la metodología para la toma de decisiones en el análisis y evaluación de procesos, a partir de la revisión de diferentes enfoques de análisis y diseño de procesos y con base en los criterios definidos por la evaluación ambiental anteriormente definida. Esta nueva metodología de toma de decisiones, permitirá no sólo involucrar los aspectos ambientales en diferentes niveles de detalle (información), sino también, para las diferentes etapas en la definición del proceso.

3.1 EVALUACIÓN AMBIENTAL

La evaluación ambiental es una herramienta metodológica que permite hacer un análisis de las actividades humanas (entre ellas las industriales), al valorar su incidencia ambiental. La evaluación ambiental se basa en la descripción de los efectos y/o daños que pueden darse sobre áreas de protección definidas (salud humana, ecosistemas y recursos naturales), en diferentes medios (o compartimentos) tales como aire, agua, suelo, sedimentos y biota.

Los efectos pueden ser determinados a través de la cuantificación de la descarga de sustancias nocivas y la evaluación de su concentración en los diferentes medios de destino.

En los capítulos anteriores, se ha presentado y descrito la evaluación de ciclo de vida, como metodología de evaluación ambiental de procesos, productos o servicios, no obstante, existen diversas metodologías y herramientas que permiten evaluar el comportamiento ambiental de actividades industriales aplicando diversas técnicas y tipos de información. A continuación se presenta una breve descripción de diferentes tipos de evaluación ambiental, partiendo de una evaluación estándar del impacto, hasta el planteamiento de diferentes niveles de detalle en la valoración del comportamiento ambiental.

3.1.1 Evaluación del impacto ambiental

Aunque la evaluación ambiental es más un enfoque general que un método específico, la evaluación del impacto ambiental se presenta como una herramienta efectiva para asegurar el desarrollo sostenible [Sinha, 1998].

La evaluación ambiental presenta diversas orientaciones y prácticas de aplicación, en este sentido, el proceso de evaluación del impacto ambiental adoptado por instituciones tales como el Banco Mundial, la agencia de protección ambiental de Estados Unidos o la agencia Europea del medio ambiente, coinciden en que debe ser un proceso flexible, en el cual se introducen las consideraciones ambientales de manera integral, y donde los temas ambientales deben ser expresamente tratados e incorporados bajo una perspectiva de análisis coste-beneficio durante la preparación e implementación del estudio, proyecto o proceso. En términos generales, dicho procedimiento sigue las siguientes etapas.

Etapas 1: Calificación preliminar (screening). El procedimiento inicia con la identificación de la actividad a desarrollar, en esta etapa se determina la naturaleza y magnitud de los impactos ambientales potenciales y se asignan en una categoría específica de evaluación [EEA, 2001]. A continuación, se presentan las categorías de evaluación y sus principales características.

CATEGORÍA A: Se requiere una evaluación ambiental completa.

CATEGORÍA B. En esta categoría a pesar de no requerirse una evaluación ambiental completa, se exige un análisis ambiental.

CATEGORÍA C: No se requiere análisis ambiental. Los impactos son mínimos, y se involucran proyectos tales como educación, planificación familiar, salud, etcétera.

Etapas 2: Alcances y desarrollo de términos de referencia. Una vez que el proyecto ha sido clasificado por categorías, se realiza un proceso de análisis general para identificar los elementos centrales para desarrollar términos de referencia (TBR) para la evaluación ambiental.

Etapas 3: Preparación del documento de evaluación de impacto ambiental. Cuando el proyecto es clasificado en la categoría A, se requiere una evaluación de impacto ambiental completa. La categoría B requiere una evaluación ambiental mucho más limitada. Los principales componentes de una evaluación ambiental completa son:

Resumen ejecutivo.

Descripción del proyecto

Línea base

Evaluación de impactos

Análisis de alternativas. Un tema central en el trabajo de evaluación ambiental consiste en la identificación de alternativas de inversión desde la perspectiva ambiental

Plan de manejo o mitigación. Consiste en el conjunto de medidas que deben tomarse durante la implementación y operación del proyecto para eliminar, anular o reducir los impactos ambientales negativos a niveles aceptables.

Plan de monitoreo ambiental. Este plan especifica la naturaleza del monitoreo, quién, qué y cómo lo hará, juntamente con los insumos que se requerirán.

Consulta pública. La consulta con las comunidades afectadas resulta clave para la identificación de los impactos y el diseño de las medidas de mitigación.

Etapas 4: Revisión de la EIA y evaluación del proyecto. Una vez que el borrador de la EIA está completo, se realiza la revisión por parte de los especialistas. Si resulta satisfactorio, el grupo de proyecto es autorizado para continuar con la evaluación del proyecto. Existe todo un procedimiento para hacer que los temas realmente se traten, se incorporen dentro del proyecto y se desarrollen todos los arreglos de financiamiento, institucionales, etc. para cumplir con las recomendaciones del informe del EIA.

Etapas 5: Implantación del proyecto. Cuando el EIA está aprobado, se puede dar inicio a la implantación del proyecto. A partir de entonces, es necesario la aplicación del análisis de decisiones, de manera que se tengan en cuenta los diferentes criterios involucrados en el proyecto.

Por otra parte, la evaluación del impacto ambiental se concreta en dos documentos: el estudio de impacto ambiental y la declaración de impacto [Riera, 2000]. El contenido de la declaración de impacto ambiental, generalmente es el siguiente:

Descripción del estudio

Examen de alternativas

Inventario

Identificación, valoración y evaluación

Medidas protectoras y correctoras

Resumen

3.1.2 Evaluación ambiental de procesos industriales

La evaluación de procesos industriales y de cadenas productivas muestra una tendencia creciente en el ámbito de la evaluación ambiental, enfoques tales como *Producción Limpia*, o *Cero emisiones*, reflejan la tendencia hacia una orientación holística del análisis ambiental, la importancia de involucrar todas las etapas en una cadena productiva, y la incidencia de todas y cada una de ellas en su entorno.

La evaluación ambiental de productos o procesos productivos, ha sido estudiada por diversos autores, [Pedersen, 1993; Hertwich, 2001; Sonneman, 2002;] quienes han propuesto metodologías de evaluación ambiental basadas en el análisis de ciclo de vida. Para Pedersen, la evaluación ambiental de productos consiste en el desarrollo de tres aspectos: análisis del inventario, evaluación del impacto y evaluación de mejoras cuando se identifiquen impactos negativos. Así mismo, los criterios de calidad para la evaluación ambiental de productos, propuestos por Pedersen (1993), se basan en el desarrollo de seis etapas:

- Planificación
- Ejecución preliminar y ajuste del plan
- Colección y tratamiento de datos
- Evaluación del impacto
- Ajuste de alternativas y,
- Repetición de las fases 3 a 5 (retroalimentación).

Hauschild & Pennintong (2000) por su parte, propusieron una metodología de evaluación ambiental de productos en donde la fortaleza de su trabajo se basa en la cuantificación de impactos potenciales a partir de las cargas ambientales (emisiones) y los factores de equivalencia para diferentes categorías de impacto, así como en la aplicación de consideraciones específicas de un sitio (site-specific), que involucran la evaluación de la exposición de una sustancia en un entorno determinado. Según su metodología, la evaluación ambiental de productos o procesos industriales, revela la necesidad imperante de incluir la evaluación de la

exposición, de manera que pueda conocerse la verdadera relación entre una carga ambiental y el efecto generado sobre un área de protección determinada.

En cuanto a cadenas de procesos Soneman (2002), propuso una estimación de los daños ambientales generados por las cadenas productivas, a través de una metodología orientada a las emisiones de contaminantes y los daños causados por ellas, evaluando el trayecto de las sustancias descargadas y el aumento de la concentración en los sitios de destino. La densidad del receptor depende claramente de características geográficas locales o regionales para las categorías de impacto no-globales.

Partiendo de un inventario de ciclo de vida convencional, la estrategia incluida en esta metodología puede describirse por el desglose de los siguientes pasos:

1. La creación de un algoritmo para considerar aspectos específicos del sitio.
2. Calculo del impacto potencial.
3. Estimación del daño global por indicador de categoría
4. Determinación del trayecto de los contaminantes hasta los compartimentos.
5. Evaluación del destino final y del incremento de la concentración en la región respectiva.
6. Relación de incrementos con curvas de dosis-impacto y receptores
7. Disposición de métodos aceptados para la agregación por ponderación
8. Relación con otras herramientas de gestión ambiental

Como se verá posteriormente, aspectos de la metodología obtenida por Sonneman (2002), han sido aplicados en este trabajo, para el desarrollo de algunos de los niveles en la metodología de evaluación ambiental propuesta.

3.1.3 Evolución de la Inclusión de diferentes niveles en la evaluación ambiental.

Hasta ahora en este capítulo, se ha hecho un recorrido por aspectos diferentes en la evaluación ambiental, el aspecto común en estas prácticas esta relacionado con la valoración de los efectos y daños que se generan por una actividad industrial. Sin embargo, las decisiones que se toman en el momento de diseñar tales actividades industriales no deberían estar basadas únicamente en los daños (teniendo en cuenta que prácticamente pueden llegar a ser irreversibles), sino que por el contrario, es necesario involucrar aspectos que permitan comparar antes de predecir o conocer los posibles efectos [Rodríguez et al, 2003]. En este sentido, en el actual apartado, se propone una metodología de evaluación ambiental, dividida en cuatro niveles de detalle.

El primer nivel, o análisis de inventario, permite evaluar el consumo de recursos y las descargas al ambiente identificadas en el proceso o actividad industrial, de manera que –a modo de ejemplo-, en las decisiones respecto a la posible ubicación de la planta se puedan relacionar

aspectos tales como la adquisición de materias primas y tratamientos necesarios para los efluentes. De la misma forma, en este nivel de detalle, es posible identificar o definir algunos de los indicadores de categorías que serán usadas en la posterior evaluación de impactos o daños.

El segundo nivel, se basa en la evaluación del destino de las sustancias emitidas y cuantificadas en el nivel anterior. Este nivel de evaluación, permite desarrollar dos aspectos, por un lado, la identificación de los compartimientos que presentan una mayor concentración de las sustancias emitidas, y por otro lado, y con base en diferentes factores, determinar la exposición a la cual estará sometida la población objeto. La toma de decisiones relacionadas con la posible ubicación de la planta podrá estar soportada en este nivel de la evaluación, con base en la información de la zona y de su sensibilidad a las sustancias y las concentraciones existentes. Así mismo, la utilización de modelos para la determinación del destino en los diferentes compartimientos es indispensable.

El tercer nivel, o la evaluación de efectos, está orientado a la descripción de los riesgos predecibles y los impactos cuantificables, con base en la información provista por los dos niveles de evaluación descritos anteriormente.

La evaluación de riesgos ambientales, se basa en la predicción de posibles efectos en las diferentes áreas de protección, y se calcula a partir de la relación entre la concentración de las sustancias en los compartimientos (Concentración Ambiental Predicha o Predicted Environmental Concentration. PEC) y la concentración para la cual no existe un efecto identificado (Concentración Ambiental Predicha de No Efecto o Predicted No-Effect Concentration. PNEC).

Por su parte, los impactos son descritos en dos vías, inicialmente se predicen los impactos potenciales (aplicando la metodología descrita por Hauschild) y posteriormente los impactos específicos de un sitio (o impactos reales), los cuales pueden ser calculados a partir de la concentración de las sustancias en los diferentes compartimientos y de correlaciones entre una dosis o exposición y la respuesta en la población objeto. Las decisiones tomadas en este nivel de evaluación, están entonces soportadas por una mayor cantidad y calidad de información.

La estimación de daños, es la última etapa de la evaluación ambiental, en este nivel, se cuantifican los daños generados sobre la salud humana, los recursos naturales y los ecosistemas. En términos de salud humana se han realizado muchos estudios, a través de los cuales, se ha cuantificado el daño ambiental en términos monetarios por pérdida de calidad de vida, de bienestar, y de la vida misma. Sin embargo, los daños relacionados con los recursos naturales y sobretodo con los ecosistemas, no han sido descritos con la misma intensidad, y esto se debe en la mayoría de los casos, a la falta de información acerca de la respuesta de estas áreas de protección a las cargas ambientales a la que se encuentran expuestos.

Finalmente, el hecho de soportar la toma de decisiones en la información del inventario, del destino de sustancias emitidas, de efectos predecibles y finalmente de daños, amplía el abanico

de posibilidades y permite ahorrar no sólo tiempo, si no también dinero en la etapa de análisis y/o diseño de procesos.

Con base en lo anteriormente expuesto, la evaluación ambiental de procesos o actividades industriales, se desarrolla en cuatro diferentes niveles, los cuales se basan en el detalle o la cantidad de información implicada en ellos, estos niveles son:

1. Análisis de inventario
2. Evaluación del destino
3. Análisis/Evaluación de efectos (riesgos e impactos)
4. Estimación de daños.

Los niveles de evaluación son consecutivos, y el desarrollo de cada nivel se basa mayoritariamente en la información del nivel anterior, como se puede ver en el diagrama adjunto.

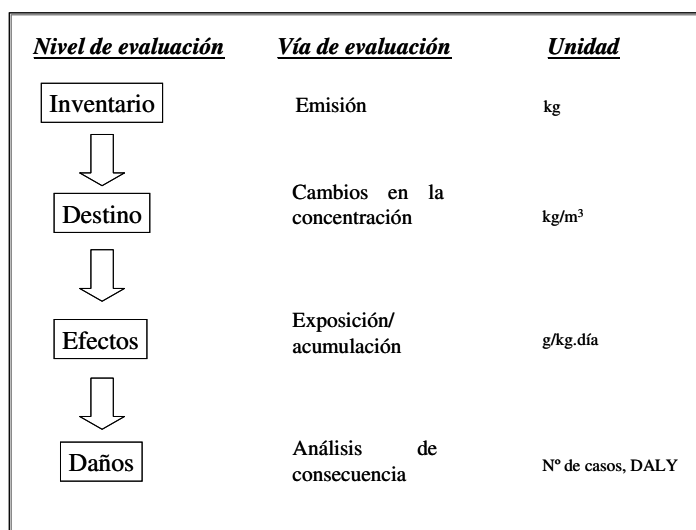


Figura 3.1 Desarrollo consecutivo de los niveles de detalle en la evaluación ambiental.

Con base en los niveles de evaluación, los procesos o actividades industriales pueden ser analizados desde el punto de vista ambiental, en las diferentes etapas que lo conforman.

3.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE PROCESOS

Un proceso es una secuencia de actividades que transforma de manera coordinada materias primas en productos o servicios con valor agregado para un beneficiario [Alban, 1988]. Un proceso industrial bien diseñado, deberá considerar en forma equilibrada los tres aspectos: técnico, económico y ambiental. El diseño de los procesos hace referencia a la manera como se organizan los distintos factores que conducen al logro de los resultados.

3.2.1 Aspectos generales del análisis de procesos

En la creación de nuevos productos y procesos, existen tres enfoques fundamentales: la simulación, la síntesis y el diseño de procesos. Cada una de estas tareas, presenta características específicas, requiere información de índole diferente y por lo tanto provee resultados aplicables de diversas formas.

Por otra parte, el análisis de procesos incluye el desarrollo de especificaciones y criterios y así mismo, la síntesis, análisis, construcción, prueba y evaluación de soluciones alternativas de procesos nuevos o existentes. Sin embargo, aunque existen diferencias en el desarrollo de los enfoques antes mencionados, los mismos se relacionan, debido a que sus resultados se complementan. La siguiente figura, muestra la relación entre ellos.

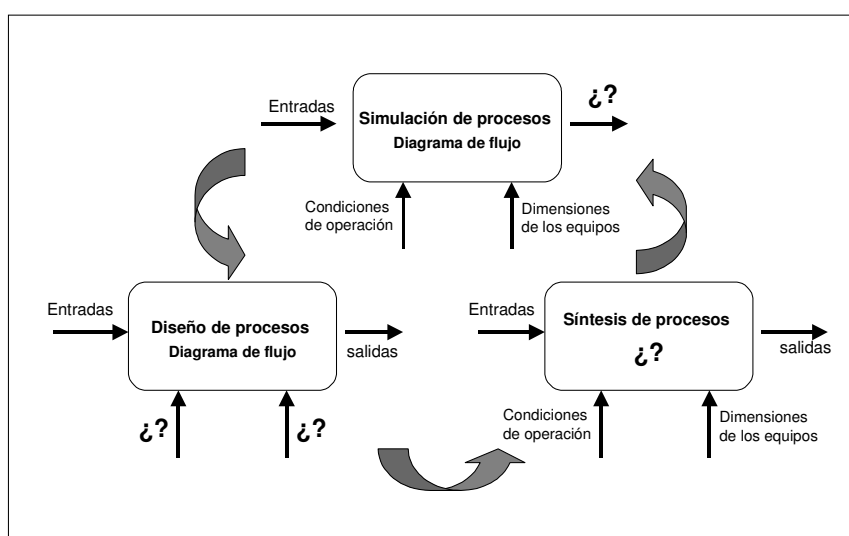


Figura 3.2 Relación entre la simulación, la síntesis y el diseño de procesos.

El diseño de procesos como metodología ya ha sido comentado anteriormente en esta memoria, por lo que en este capítulo, únicamente se describirán los aspectos relacionados con la simulación y la síntesis de procesos.

Simulación de Procesos. La simulación de procesos es una herramienta que agiliza la solución de problemas en el diseño, puesto que permite crear detalladamente y con alta precisión el comportamiento de procesos para su análisis y optimización [Ben-Guang et al, 2000].

A través de la simulación es posible resolver balances de materia y energía, encontrar las relaciones de equilibrio y las expresiones cinéticas de procesos de fabricación. Así mismo, permite predecir las condiciones de operación, la composición de las corrientes de los procesos, el tamaño de los equipos y estimar costes.

La simulación de procesos se perfila como una herramienta muy útil de procesos industriales. Con dicha herramienta, es posible optimizar los procesos y minimizar las emisiones, así como

realizar estudios económicos y de emisiones. Sin embargo, los resultados obtenidos en la simulación, son sólo predicciones, por lo que es necesario validar las mismas con datos experimentales, tanto de propiedades físicas de los compuestos (equilibrios, datos cinéticos) como con datos reales de planta (eficacia, volumen de líquido retenido, entre otros).

Los aspectos de que consta el proceso de simulación y que cubren los principales tópicos son:

- Definición del sistema de propiedades termodinámicas y físico-químicas.
- Descripción de los componentes involucrados en las reacciones y equipos.
- Especificación de productos.
- Descripción del proceso a partir de un diagrama de flujo.
- Dimensionamiento de equipos.
- Descripción de las estrategias de control.

La simulación de procesos desarrolla una serie de pasos que cubren los aspectos antes mencionados, tales pasos se mencionan a continuación.

1. Definición de unidades
2. Descripción de propiedades (Ecuaciones de estado, métodos de estimación)
3. Definición de componentes implicados (Base de datos)
4. Descripción de las características de las corrientes (temperatura, presión, composición, etcétera)
5. Grados de libertad
6. Secuencia de los procesos (Diagramas de flujo de proceso)
7. Definición de las estrategias de control

Síntesis de Procesos. La síntesis de procesos es una de las técnicas que se desarrollan como parte de las tareas del análisis de procesos. Esta técnica se basa en la generación de estructuras o niveles y la predicción de propiedades. A su vez, la síntesis de procesos se basa en la comparación de diversas alternativas que permiten el desarrollo de tales procesos, escogiéndose entre ellas la que mejor se ajuste a las características deseadas.

Ahora bien, aunque la síntesis de procesos mantiene una estrecha relación con técnicas como la simulación y el diseño, presenta también diferencias fundamentales tales como la posibilidad de definir las condiciones de operación necesarias para que se lleven a cabo los procesos; obtener las dimensiones óptimas de los equipos involucrados y así mismo crear los diagrama de flujo de los procesos en estudio.

Esta técnica es utilizada en la síntesis de productos y de proceso, es decir, con ella se pueden desarrollar productos a partir de características definidas (por ejemplo, es posible desarrollar un solvente que permita la eliminación de un componente determinado en una corriente de un proceso) [Turton, 1998].

Al igual que los productos, diferentes operaciones unitarias pueden ser desarrolladas a partir de la síntesis de procesos. Las metodologías que desarrollan síntesis de operaciones unitarias, se basan en la descripción de propiedades que definen si una operación es factible o no. Para ello es necesario describir parámetros tales como: comportamiento ideal de los componentes involucrados en un proceso, formación de azeótropos, u otras características.

Adicionalmente podemos decir, que el análisis de procesos es la definición de las corrientes de entradas y salidas [Sharratt, 1999], y esto sólo puede ser definido a través de criterios que incluyen la purificación de las corrientes de entrada, la separación de los reciclos o subproductos reversibles, el uso de corrientes de purga en los reciclos gaseosos, la determinación de las corrientes de salida y la selección de las variables de diseño (conversión, relación de alimentación y cantidades de recuperación entre otras).

3.2.2 Evolución del análisis de procesos desde una perspectiva ambiental

Teniendo en cuenta los criterios ambientales que deben involucrarse en el análisis de procesos [Yu et al, 2000; Young et al, 1999], así como las diferentes metodologías para el análisis de procesos, en este apartado se describe una metodología para análisis de procesos, que incluye los aspectos ambientales como parte fundamental en la toma de decisiones [Fukushima et al, 2002; Castillo et al, 2000]. Para ello, la metodología describe los pasos necesarios en el análisis de procesos, de manera que en cada uno de ellos sea posible su integración con la evaluación ambiental.

La metodología de análisis de procesos que se propone consta fundamentalmente de dos partes, la primera de ellas es la descripción de aspectos preliminares, de manera que se identifiquen claramente los objetivos del análisis, el proceso a analizar, o sobre el cual se efectuará el análisis y las áreas de protección (población objeto) que se tendrán en cuenta. La segunda parte o el desarrollo de la metodología, se realiza a través de los pasos que se mencionan a continuación:

1. Definición de objetivos y alcance del análisis del proceso.
2. Definición de las fronteras del sistema

Proceso unitario (UP)

UP y extracción de materias primas (UPEMP)

UPEMP e incluyendo el transporte (PPEMPT)

3. Información básica del proceso

Diagramas

Diagrama de bloques

Diagrama de proceso

Diagrama de tuberías e instrumentación

4. Identificación de las corrientes del proceso

Principales (materias primas, energía, productos)

Secundarios (subproductos y reciclós)

Descargas (Emisiones, vertidos, residuos sólidos)

5. Descripción de Operaciones Unitarias

Reacción

Separación

Combustión

Otras

6. Integración energética (generación, co-generación)

7. Análisis económico I (tipo I, II)

8. Mejoras técnicas para mitigación de efectos (tecnologías de remediación)

9. Análisis económico II (tipo III)

10. Análisis económico III (tipo IV, V)

11 Toma de decisiones con base en criterios ambientales

Una vez descritos los aspectos metodológicos de la evaluación ambiental y del análisis de procesos, en los siguientes capítulos se presenta el modelo conceptual definido para la integración de los aspectos ambientales en los procedimientos de toma de decisiones durante las diferentes fases de un proceso industrial.

REFERENCIAS

Alban L. Control de procesos. Ediciones Previas. Facultad de Ingeniería-CESET. Universidad de Antioquia. Colombia (1988)

Ben G. Study on the methodology for retrofitting chemical processes. Chem. Eng. Tech. 23.6 479-484. (2000)

Castillo E., Mora M. Mathematical modelling as a tool for environmental evaluation of industrial sectors in Colombia. Waste management 20 617-623. (2000)

Environmental European Agency (EEA). Evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. (2001)

Fukushima Y. A Structured Framework and Language for Scenario-Based Life Cycle Assessment. . Int J LCA. Vol.7 (6), 317-329 (2002)

Hauschild M. Methods of assessment of toxicity. Paper for SETAC-Europe WIA” Task Group on ecotoxicity. (2000)

Hertwich E. Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods. The science of total environment, 196 13-29. (1997)

Pedersen B. Two fictional life cycle assessment. UETP-EEE. ISBN 951-9110-97-6. (1993)

Riera P. Avaluació d'impacte ambiental. Monografies de medi ambient. Generalitat de Catalunya (2000)

Rodriguez A., Herrera I., Schuhmacher M., Bañares-Alcantara R. Retrofit of Processes and Environmental Analysis, a decision support alternative in process engineering”. 4º European congress in Chemical Engineering. Spain. (2003)

Sharratt P. Environmental criteria in design. Computers and chemical engineering 23 1469-1475. (1999)

Sinha S. Environmental impact assessment: an effective management tool. TERI information monitor on environmental science. 3 (1): 1-7. (1998)

Sonneman G., Schuhmacher M., Castells F. Framework for the environmental damage assessment of an industrial process chain. Journal of Hazardous Materials. B77. 91 – 106. (2000)

Urmila P. Process design for the environment: a multi-objective framework under uncertainty. Clean products and processes 2 92-107. (2000)

Young C. Designing sustainable processes with simulation: the waste reduction (WAR) algorithm. Computers and chemical engineering 23 1477-1491. (1999)

SECCIÓN III: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y/O DISEÑO AMBIENTAL DE PROCESOS (MADAP)

El capítulo actual presenta el desarrollo de la metodología para el análisis y/o diseño ambiental de procesos, a través de la descripción de los pasos necesarios para su establecimiento.

El primer paso o etapa de la metodología consiste en la definición de los objetivos y el alcance del estudio que se pretende desarrollar. Posteriormente, la segunda etapa comprende la integración de los aspectos de análisis y diseño de proceso con los criterios de evaluación ambiental; dicha integración se logra a través de la transferencia de información. Esta transferencia permite el flujo de información del proceso o actividad en estudio hacia una interfaz (hoja de cálculo) donde posteriormente y aplicando criterios de análisis del inventario se calculan las cargas ambientales generadas por el proceso (Eco-vector).

Partiendo de la información de cargas ambientales, los otros niveles de la evaluación (destino, efectos y daños) pueden ser identificados y cuantificados, para posteriormente comparar las diferentes alternativas del proceso e identificar, la que de acuerdo con los objetivos del análisis de procesos, sea la más acertada. La Figura 4.1 muestra el diagrama de flujo general de la metodología.

El esquema describe la posibilidad de seguir los pasos o etapas que conforman la metodología propuesta en dos vías diferentes de acuerdo con la evaluación ambiental y/o el análisis de procesos. Por una lado, la metodología puede ser desarrollada en forma independiente para cualquiera de los dos aspectos mencionados, o por el contrario, las etapas pueden estar directamente relacionadas y tales aspectos desarrollados conjuntamente. Esto es posible, puesto que los resultados de una etapa generalmente pueden ser utilizados como entradas en la etapa siguiente.

La primera etapa -definición de objetivos y alcance-, permite al usuario determinar hasta donde llegar en la evaluación y que aspectos del proceso evaluar. En esta etapa, los resultados están relacionados con la información básica del proceso y el nivel de detalle que se pretende de la evaluación ambiental.

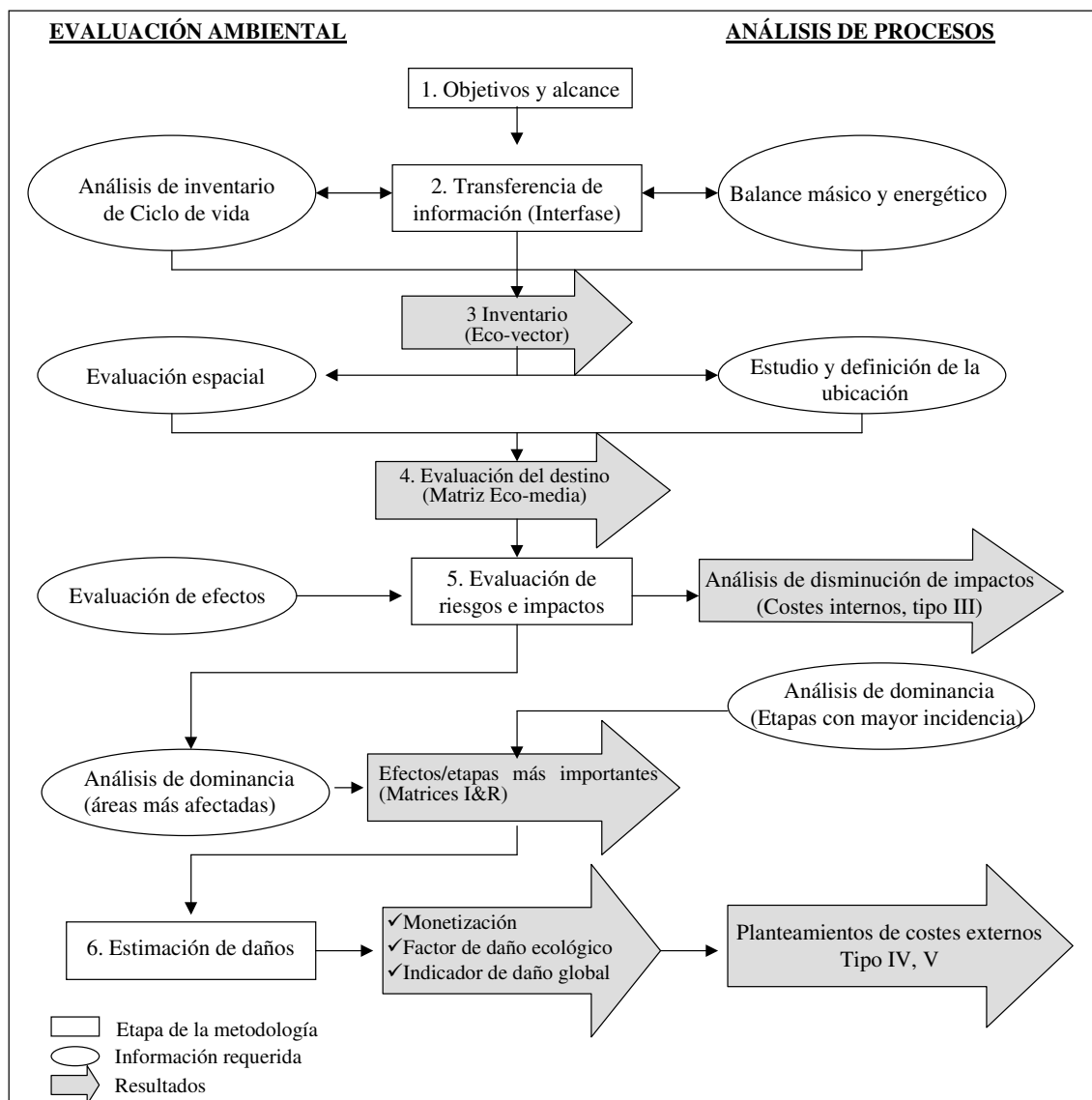


Figura 4.1 Esquema metodológico de evaluación ambiental en el análisis de procesos.

La interfaz o transferencia de información permite comparar cambios en los procesos (alternativas o escenarios) en el modelo o simulación, de manera que tales alternativas sean técnicamente viables. Así mismo, dicha transferencia permite evaluar las alternativas en términos de su incidencia ambiental a partir del nivel de evaluación definido.

En la etapa de cuantificación del inventario y con base en aspectos del análisis del inventario de ciclo de vida e información básica del proceso (balances de materia y energía), se obtiene como principal resultado el eco-vector o balance de cargas ambientales. Dicho eco-

vector es el primer nivel de la evaluación ambiental y el primer criterio de toma de decisiones involucrando aspectos técnicos y ambientales.

La evaluación del destino requiere la aplicación de criterios de evaluación espacial y la definición de la posible ubicación de la actividad industrial, de manera que pueda ser determinada la concentración de las sustancias emitidas y cuantificadas en la etapa anterior, en los compartimentos de interés. El resultado de esta etapa es una matriz de concentración -matriz eco-media)-, donde se determina la cantidad de sustancias en los compartimentos estudiados (aire, agua, suelo y sedimentos).

La evaluación de efectos es la etapa que permite identificar, caracterizar y/o cuantificar no sólo los riesgos, sino también los impactos, con base en diferentes categorías de indicadores ambientales y áreas de protección. Los resultados de esta etapa pueden ser descritos en términos económicos tales como costes de disminución de impactos (sistemas de tratamientos de efluentes, filtros, etcétera) o matrices de impactos o riesgos (Eco-matriz de impactos).

Finalmente, la estimación de daños permite a través de la estimación o cuantificación de los costes monetarios de efectos seleccionados, comparar las alternativas que presenten un mejor comportamiento ambiental. Los resultados de esta etapa pueden darse en términos monetarios, a través de factores de daño ecológico o con indicadores de daño global.

4.1 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE

Este paso consiste en la definición del objetivo principal del estudio, es decir, inicialmente es necesario definir que persigue el usuario de la metodología al aplicarla a un proceso en particular, ya sea en el análisis de un proceso existente, o el diseño de uno nuevo. Igualmente, el alcance de la evaluación (básicamente, esto se refiere a la identificación de las necesidades del usuario) debe ser claramente definido. Esto se logra determinando los límites temporales y espaciales tanto del proceso como de la evaluación ambiental que se pretenda aplicar. Esta etapa está fuertemente relacionada con la definición de información básica del análisis de procesos, por lo que es aquí donde se hace necesario la integración del análisis ambiental con técnicas de simulación o modelado. La Figura 4.2 presenta un diagrama de la etapa de definición de objetivos y alcance.

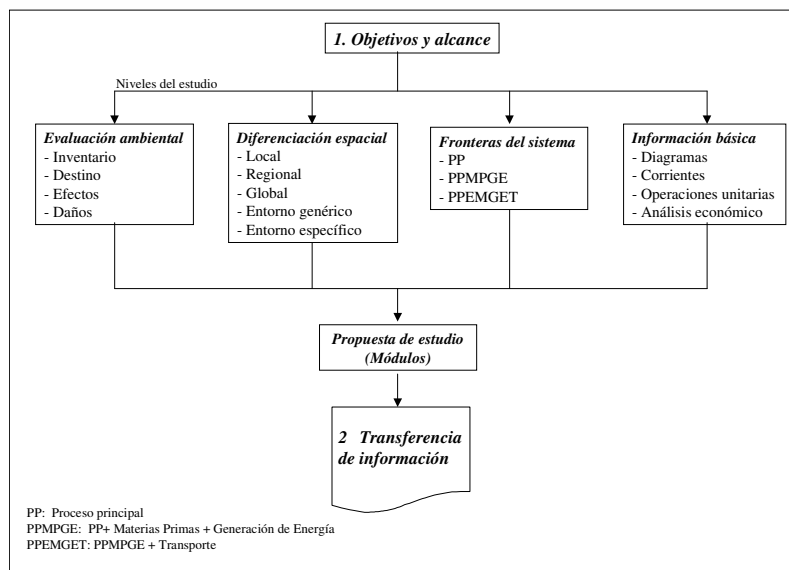


Figura 4.2 Diagrama esquemático para la definición de objetivos y alcances

De acuerdo con la figura, en esta etapa es necesario definir cuál es el nivel de evaluación ambiental que requiere el análisis para soportar la toma de decisiones. Los niveles de la evaluación se mencionan a continuación:

1. Un inventario que permita conocer los materiales y energías consumidos y las descargas emitida, más importantes del proceso;
2. El destino de estas descargas y los compartimientos que incrementan la concentración de las sustancias descargadas;
3. Los efectos a los que estarían sometidas las áreas de protección susceptibles de ser afectadas; y/o
4. Los daños generados en las áreas de protección afectadas (monetizados o en indicadores)

Adicionalmente, en esta primera etapa de la metodología se define el nivel de **diferenciación espacial**, para un nivel local, regional o global, de manera que se puedan identificar las zonas donde se aplicará la evaluación y de esta forma las áreas de protección involucradas, independientemente del nivel de evaluación ambiental definido.

En esta primera etapa, se establecen claramente las fronteras, etapas y corrientes involucradas para la cuantificación de las cargas y posteriores efectos ambientales.

4.1.1 Nivel de la evaluación ambiental

La determinación de la incidencia ambiental a evaluar, está sujeta a los objetivos y alcance que se definan para la aplicación de la metodología. Esta incidencia puede ser

determinada en términos del inventario de cargas ambientales, su destino, los efectos que pueden generarse y los daños sobre las áreas de protección. Los cuatro niveles de evaluación se presentan en los apartados siguientes:

Nivel I: el primer nivel de evaluación es el inventario de entradas y salidas hacia y desde el proceso. Este inventario se realiza con base en la información transferida desde el modelo del proceso y se obtiene en forma de eco-vector o eco matriz [Heijungs & Sangwon, 2002]. El eco-vector generado en la hoja de cálculo (memoria de cálculo del proceso), contiene entonces la información relacionada con las corrientes de materiales y energéticas del proceso, tomando como base, la unidad funcional que debe ser definida con anterioridad.

Nivel II: el destino de los contaminantes se evalúa en el segundo nivel de la evaluación. Para ello se relacionan las características de las sustancias emitidas con las propiedades de los entornos que las reciben, determinando así los mecanismos de transporte y transformación. En este nivel, el resultado permitirá, a quien toma las decisiones, verificar la viabilidad de la ubicación de una actividad industrial, y proponer alternativas de ubicación y/o reubicación. Para ello, la *aplicación de Sistemas de Información Geográfica* será de vital importancia en la determinación de la mejor ubicación de una actividad industrial.

Nivel III: los efectos predecibles y cuantificables en términos de riesgos o impactos son calculados en el tercer nivel propuesto de evaluación ambiental. Los riesgos de efectos negativos y los impactos específicos sobre un área de protección determinada, son calculados a partir de la aplicación de metodologías de evaluación de impactos y riesgos.

Por otra parte, la predicción de impactos potenciales se realiza aplicando factores de caracterización a las cargas ambientales determinadas en el análisis del inventario. En este caso, no es necesaria la evaluación del destino de sustancias, puesto que se cuantifica el efecto sobre una región específica.

Nivel IV: en el último nivel, los daños son calculados o estimados dependiendo del área de protección donde sea aplicada la evaluación. En el caso de la salud humana, es posible calcular los daños ambientales en términos monetarios, a partir de varias funciones de daño. Para los ecosistemas, es posible determinar indicadores de daño [US-EPA, 2002], a partir de datos de pérdida de producción o de su estado ecológico [Prat, 1998]. Finalmente, para recursos naturales se tendrá en cuenta la disminución de la producción en cosecha [ESC-EU, 2002].

4.1.2 Nivel de la diferenciación espacial.

La diferenciación espacial, permite involucrar los aspectos espaciales que ayudan a aplicar los diferentes niveles de la evaluación en la toma de decisiones. Esta diferenciación se basa en criterios de localización, por medio de los cuales es posible analizar las zonas a evaluar.

La definición de la escala espacial depende de dos factores fundamentales: la información disponible del entorno, y las herramientas que permitan modelar los mecanismos de transporte y transformación de las sustancias en los medios o compartimientos.

En la actualidad no existe un único procedimiento para la aplicación de la diferenciación espacial en la evaluación ambiental, sin embargo, en la metodología se proponen dos fases: la primera consiste en la aplicación de modelos genéricos multi-compartimientos, y la segunda fase, es la aplicación de herramientas basadas en SIG's (Sistemas de Información Geográfica), los cuales permiten calcular concentraciones de las sustancias emitidas en diferentes medios bajo el concepto de mundo real. En este tipo de herramientas, es necesaria una mayor cantidad de información.

En la metodología se proponen tres escalas diferentes para la diferenciación espacial, a partir de la ubicación del punto de emisión y de la disponibilidad de información que permita modelar el entorno que se pretende evaluar

Escala local: hablamos de escala local, cuando la evaluación se realiza sólo sobre la zona donde está ubicado el proceso y el transporte y destino de las sustancias descargadas se evalúa en un radio de hasta 10 Km, desde el punto de emisión. Este es el nivel más simple y para su evaluación, es posible el uso de modelos sencillos de transporte entre compartimientos, basados en fugacidad de Nivel II o III (e.g. Modelo Level III) [Webster, et al, 2002].

Escala regional: el nivel regional comprende una zona de mayor tamaño que la anterior, y por lo tanto, es necesaria la aplicación de modelos de evaluación del transporte y de transformación dada la importancia que tienen estos mecanismos en la distribución de los contaminantes en los diferentes compartimientos. En este nivel, el radio de evaluación puede ser definido entre 10 y 100 Km., desde el punto de emisión, y generalmente implica la evaluación de la región (o una zona mayor) donde se ubica el proceso. Los modelos utilizados en la evaluación del destino, basados en los mecanismos de transporte y transformación, son Caltox o ChemCan [McKone & Enoch, 2002; Di Guardo, 1996].

Escala Global: Este nivel espacial es el de mayor tamaño. En él, la zona a evaluar puede considerar un país e incluso un continente. En esta escala de evaluación, es indispensable la utilización de modelos de transporte y transformación de contaminantes [McKone & Enoch, 2002; Beyer et al, 2000; Webster et al, 2000; European Chemical Bureau ECB, 1997], el área de estudio del nivel global en la metodología comprende una superficie mínimo de $2 \times 10^6 \text{ km}^2$, lo cual implica la necesidad de una mayor cantidad y calidad de la información. Los modelos

utilizados para determinar las concentraciones de las sustancias en los diferentes compartimentos, se basan en el estudio de las distancias recorridas por las sustancias emitidas, y su transformación en los diferentes medios, como ejemplos de estos modelos se pueden mencionar, Euses, Caltox, y TaPL3, entre otros.

Durante el desarrollo de la metodología, se probaron diversos modelos de predicción del destino de sustancias, evaluando sus principales características y los resultados ofrecidos por ellos. A continuación, la Tabla 4.1, presenta una síntesis de las principales características de algunos modelos utilizados.

Tabla 4.1 Síntesis de los modelos de evaluación del destino de sustancias¹.

Modelo	Definición	Sustancias	Variables de entrada ²	Variables de salida
Caltox	Modelo multimedia de transporte y transformación de sustancias. Incluye exposición para humanos y estimación del riesgo	Químicos orgánicos no iónicos, metales en fase sólida y especies inorgánicas disociadas	Emisiones al aire y agua, concentración inicial y valores potenciales de cáncer.	Concentración en suelo, agua, suelo y vegetación. Dosis diarias en humanos y riesgo de cancer
EUSES	Modelo multimedia de transporte y transformación. Incluye emisión, exposición, efectos a seres vivos y estimación del riesgo	Todo tipo de sustancias, pero puede presentar fallos en inorgánicos ionizables	Producción de sustancias, uso y emisión, datos de efectos para organismos acuáticos y terrestres	Concentración en agua, suelo, sedimento, peces y vegetación. Dosis diarias y caracterización del riesgo
Level III	Modelo de partición de equilibrio ambiental basado en fugacidades. Asume una evaluación simple con volúmenes y densidades definidas para los siguientes compartimentos: aire, agua, suelo y sedimentos	Trata tres tipos de químicos: con partición en todo el medio (tipo1), no volátiles (tipo2) y con solubilidad cero o cercana (tipo3). No trata sustancias ionizables	Químicos (T1): solubilidad en agua, presión de vapor, log kow, punto de fusión. Químicos (T2): coeficiente de partición. Se asume una emisión constante al aire.	coeficientes de partición (tipo 1) valores de Z, fugacidades de cada medio, velocidades de transporte intermedias, valores de D, tiempo de residencia o persistencia, concentraciones y cantidades para cada medio.
ChemCAN	Modelo de fugacidad basado en el nivel III del destino regional de sustancias. Predice las concentraciones medias en aire, peces, sedimentos, suelo, vegetación y aguas marinas próximas a la costa	Trata dos tipos de químicos: con partición en todo el medio (tipo1), no volátiles (tipo2)	Altura media de mezcla, superficie cubierta de agua (%del total), longitud de costa para regiones marítimas, fracción volumétrica partículas (aire), carbón orgánico(sedimentos sólidos), condiciones de temperatura	Coeficientes de partición, tiempo de residencia, concentraciones y fugacidades en cada compartimento, velocidades de transferencia y transformación
TaPL3	Modelo de nivel III usado para el transporte de larga distancia y persistencia, el químico entra en cada medio móvil (aire y agua) separándolo a una velocidad media	Trata tres tipos de químicos: con partición en todo el medio (tipo1), no volátiles (tipo2) y con solubilidad cero o cercana (tipo3). No trata sustancias ionizantes	Químicos (T1): solubilidad en agua, presión de vapor, log kow, punto de fusión. Químicos (T2): coeficiente de partición	Persistencia, coeficientes de partición (tipo1), valores de Z, fugacidad del medio, velocidades de transporte intermedias, valores de D, concentraciones.

¹ En el Anexo A, sección A.1, se presenta una descripción completa de los modelos descritos en esta tabla

² Para todos los modelos, son necesarias las propiedades fisicoquímicas, así como información meteorológica y geográfica.

4.1.3 Definición de las fronteras del sistema (proceso a analizar)

La definición de las fronteras del sistema a analizar, es muy importante para determinar el alcance del estudio. Dado que no existe una estandarización para la definición de las fronteras del sistema, en la metodología se proponen los siguientes criterios de aplicación, de manera que se identifique claramente, las etapas del proceso y así mismo, las corrientes –de entrada y salida- que forman parte de él:

1. Proceso Principal (PP): una primera aproximación de las fronteras de sistema, es la consideración del proceso principal, o etapa de mayor importancia desde el punto de vista técnico y tecnológico. En este caso, el análisis se concentra en las entradas y salidas al proceso principal, sin cuantificar los efectos producidos en el ambiente por la extracción y el transporte de materias ni la generación de energía.

2. Proceso principal, materias primas y generación energética (PPMGE): el siguiente nivel en la definición de fronteras, incluye las materias primas necesarias, y su extracción, así como la generación de la energía necesaria (en la generación energética se consideran diferentes opciones de obtención de energía).

3. PPEMP y transporte (PPEMGET): el último nivel en la definición de las fronteras, incluye la totalidad del sistema que conforma el proceso, y el transporte.

4.1.4 Información básica para el análisis del proceso.

Una vez definidos el nivel de la evaluación, la diferenciación espacial, y fronteras del sistema a evaluar, es necesario desarrollar algunas etapas previas del análisis de procesos, de manera, que el proceso a estudiar pueda ser caracterizado.

Diagramas del proceso: existen diferentes tipos de diagramas de proceso. Cuanta más información se conozca del proceso, más detallado serán dichos diagramas, y así mismo, mayor información estará disponible para la evaluación ambiental.

Un Diagrama de Bloques (DB) permite identificar las principales operaciones (etapas) y corrientes involucradas en el proceso. Así mismo, posibilita el cálculo detallado del proceso, los balances de materia y energía, y una primera aproximación del tamaño de los equipos.

El Diagrama de Flujo del Proceso (DFP) , permite hacer cálculos y una descripción de las operaciones unitarias utilizadas en el proceso.

El Diagrama de Tuberías e Instrumentos (DT&I), complementa la información generada por los diagramas anteriores.

Definición de corrientes: las corrientes del proceso que serán evaluadas se determinan con base en la definición del sistema a estudiar y del producto principal del proceso (probablemente la unidad funcional). Las corrientes pueden ser, principales, secundarias y descargas puntuales.

- ✓ *Principales*, se consideran corrientes principales, las materias primas, la energía (eléctrica o térmica), y el producto principal, objeto del proceso.
- ✓ *Secundarias*, son corrientes compuestas por subproductos y reciclados.
- ✓ *Descargas*, en este grupo entran emisiones, vertidos, residuos sólidos y descargas puntuales (accidentes)

Definición de operaciones unitarias o etapas del proceso: es necesario definir a priori las operaciones unitarias desarrolladas en el proceso, debido a que esta tarea facilita el análisis de las etapas de mayor incidencia. Las operaciones mayoritariamente encontradas en la industria química son:

- ✓ Reacción: de equilibrio, cinética, etcétera
- ✓ Separación: por destilación, absorción, adsorción, filtración, etcétera.
- ✓ Combustión: en este caso, las diferencias se encuentran en los combustibles a utilizar y los procesos de generación de vapor.
- ✓ Transporte de fluidos
- ✓ Intercambio de calor....

Definición de condiciones de operación del proceso: las condiciones de operación del proceso deben ser definidas para conocer el estado en que opera el proceso, por lo que es necesario definir su estado de operación (continuo o por lotes), el mecanismo de reacción (cuando sea necesario), y finalmente las características de las corrientes (temperatura, presión, composición, etcétera) involucradas en el proceso.

Análisis económico: el análisis económico será necesario cuando se desarrolle el cuarto nivel de detalle en la evaluación, y para aplicar técnicas de análisis coste-beneficio en la toma de decisiones. En los demás niveles de la metodología, el análisis económico puede llegar a ser de carácter básico y comprende los tipos de costes I, II y III [Aguilera & Alcantara, 1994], que a continuación se describen:

Costes tipo I o costes directos, son los costes generados directamente debido a la producción. Este tipo de coste comprende:

- ✓ Materias primas
- ✓ Equipos de operación
- ✓ Mano de obra
- ✓ Servicios industriales (vapor, electricidad, agua)

- ✓ Operación y mantenimiento.
- ✓ Capital de trabajo

Costes tipo II o costes indirectos, son los costes que no son debidos a la producción que incluye:

- ✓ Overheads
- ✓ Supervisión
- ✓ Mantenimiento general en planta
- ✓ Dirección.
- ✓ Diseño.
- ✓ Gestión
- ✓ Aditivos

Costes tipo III o costes contingentes futuros, son los costes asociados a las responsabilidades potenciales y a la prevención de la contaminación (costes ambientales internos)

- ✓ Coste por el tratamiento, recogida de los Residuos Tóxicos y Peligrosos (RTPs).
- ✓ Coste por el tratamiento de descargas hasta el nivel permitido por la legislación.
- ✓ Costes por contaminación de suelos (remediación), prevención y el control del nivel de ruidos, consumo de recursos no renovables, generación de residuos asimilables a urbanos.
- ✓ Coste de implantar un Sistema de Gestión Ambiental.
- ✓ Coste de un seguro medioambiental o coste de un posible accidente.

El nivel de coste elegido para la comparación y toma de decisión con respecto a la mejor alternativa o escenario de producción dependerá de la cantidad y calidad de la información disponible.

Una vez definido el objetivo y alcance, e identificadas las etapas del proceso que se tendrán en cuenta en la evaluación, es necesario caracterizar el proceso a través de la información básica. Esta información involucra los diagramas del proceso; una descripción de las corrientes, sus características y propiedades; las operaciones desarrolladas y sus condiciones de trabajo; y la integración energética. Con esta información *se obtiene el modelo del proceso* mediante una herramienta informática o por la resolución de ecuaciones matemáticas en una hoja de cálculo.

4.2 TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN (INTERFAZ).

La metodología de transferencia de información entre las herramientas de simulación, consiste básicamente en el desarrollo de tres etapas: 1) identificación de las variables que interviene en el

proceso, 2) definición de los parámetros de interconexión, y 3) captura y envío de datos (importación/exportación). El diagrama adjunto, muestra las fases de la transferencia y la relación entre ellas.

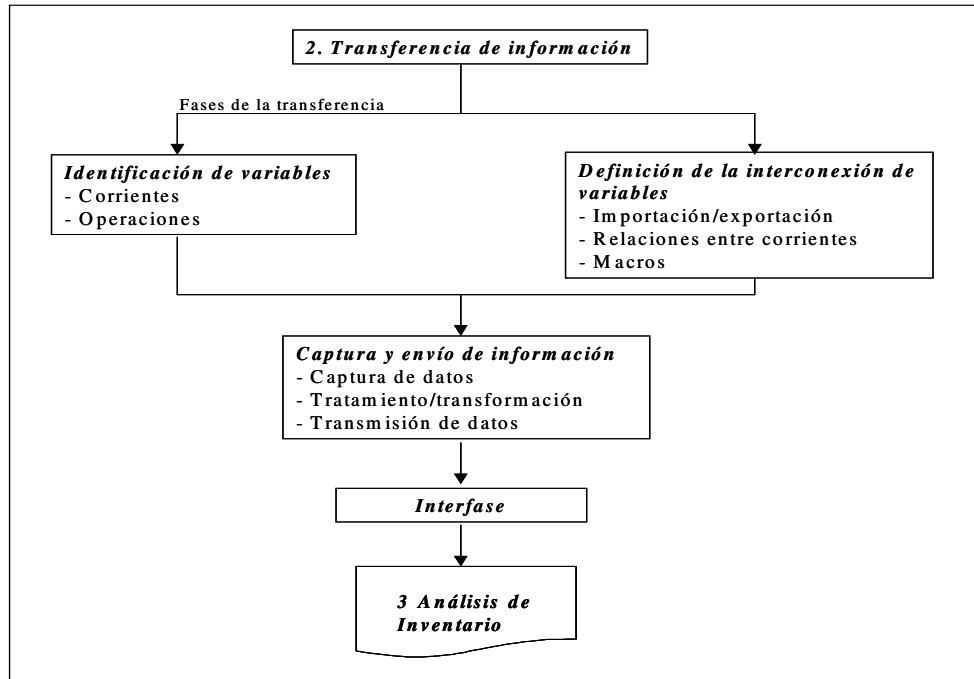


Figura 4.3. Etapas de la transferencia de información y su aplicación en la evaluación ambiental

El procedimiento de transferencia de información desde el análisis de procesos, hacia la evaluación ambiental se presenta gráficamente en la Figura 4.4.

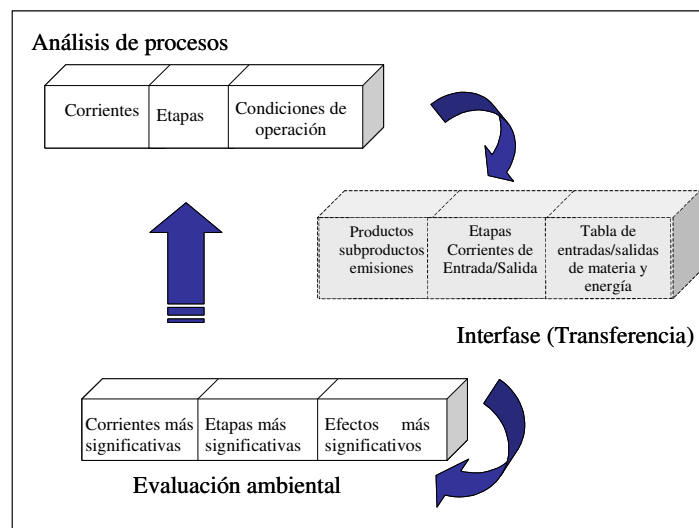


Figura 4.4 Mecanismo de transferencia de información

De acuerdo con la Figura 4.4, la información referente al proceso se genera en la etapa de análisis. Para el desarrollo de esta metodología se han utilizado diferentes herramientas de

simulación, sin embargo, la información puede ser generada en una hoja de cálculo a través de un balance de masa y energía [Herrera et al, 2001a].

La siguiente etapa, de acuerdo con la figura mencionada, es la transferencia hacia la interfaz. En esta etapa, si se utiliza una herramienta de simulación, es necesario hacer la transferencia a través de la programación de macros, los cuales toman la información y la transfieren de un programa a otro [Gómez, 2001].

El último paso en esta etapa es transferir de la interfaz la información a la memoria de cálculo donde con la información referente al proceso, se realiza la evaluación ambiental para la comparación y toma de decisiones relativas a las alternativas o escenarios estudiados. A continuación se describen los pasos de la transferencia de información desarrolladas en la metodología.

4.2.1 Identificación de variables.

En este punto se incluyen las corrientes de entrada y salida (Inputs/Outputs) y las etapas del proceso, tal como se verá en los siguientes apartados.

Corrientes del proceso. Las corrientes pueden ser de materia o de energía. Para la materia es necesario definir el tipo de corriente (producto, subproducto o residuo) y las características (pura o mezcla). En cuanto a la energía, es necesario determinar el tipo de energía eléctrica o térmica (vapor), y sus fuentes: fósil, nuclear, etcétera.

Descripción de las etapas desarrolladas en el proceso (operaciones unitarias). Para describir claramente este aspecto, se deben seguir tres pasos: 1) desarrollar un diagrama base (de flujo o de bloques) del proceso, 2) determinar las características de cada etapa (en función de las corrientes de entrada/salida y los balances), y 3) definición del proceso (balance general).

La herramienta utilizada para la generación de los modelos de proceso, ha sido el simulador de procesos Hysys Plant®. Esta herramienta informática es un software completamente interactivo con el que es posible obtener acceso a altos niveles de definición de geometría de los equipos, obteniendo resultados detallados. Esta herramienta ha sido analizada en detalle en un trabajo anterior [Herrera, 2001b], y sus principales características serán presentadas en el anexo correspondiente a la descripción de las herramientas utilizadas en el desarrollo metodológico (Anexo A, sección A.3).

4.2.2 Definición de la interconexión.

Los aspectos que permiten la interconexión entre la evaluación ambiental y la simulación de procesos se describen en los siguientes apartados.

Importación y Exportación de Variables. Las funciones establecidas en la evaluación ambiental, tales como la comparación de diferentes alternativas de producción, análisis de sensibilidad y las simulaciones, son posibles, debido a la capacidad de las herramientas de transferir y modificar variables [Ecobilan, 1998].

La modificación de las variables, se realiza una vez las mismas han sido exportadas a una hoja de cálculo. En la hoja de cálculo, cuando se definen los diferentes módulos, pueden modificarse los valores de las variables e importarse nuevamente. Los pasos son los siguientes:

1. Envío de datos desde la herramienta de simulación a la hoja de cálculo.
2. Cambios en los módulos creados en la hoja de cálculo si fuese necesario.
3. Actualización de los cambios en un nuevo fichero.
4. Desde la herramienta de evaluación ambiental, es posible importar los datos nuevos para reemplazar los datos existentes.
5. Revisión y actualización de los cálculos nuevos y de la información generada con ellos.

Relaciones con subproductos. Cuando en un proceso hay varios subproductos, la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) requiere que se estime cual es la carga ambiental del proceso que puede ser asignada a cada uno de los subproductos.

En la evaluación ambiental, los subproductos deben ser marcados como flujos funcionales, para una mejor aplicación de las reglas de asignación. Los productos reciclados también pueden tratarse como subproductos. La asignación de cargas se lleva a cabo de las siguientes maneras:

a) Asignación. Consiste en la distribución de las cargas ambientales del proceso entre sus subproductos. Es equivalente a multiplicar todas las entradas y salidas del proceso bajo consideración. El valor total es uno (1), y se reparte entre los productos o subproductos de interés. Así, si el producto de interés toma el valor 1, los otros subproductos toman un valor de 0.

Todos los otros flujos toman un valor que representa la cantidad que comparten en el flujo, que pueden ser asignadas al producto de interés. Lo primero que se debe hacer es definir los valores que se usarán para cada flujo (localización).

Los coeficientes de partición se pueden definir como variables cuando sea necesario. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la suma de los multiplicadores debe ser la unidad.

b) *Escenarios basados en la localización.* Este método utiliza un principio muy sencillo, lo multiplicadores no son puestos al azar, sino que deben seguir la descripción de proceso. Los pasos son:

1. Definición de corriente de interés con la etapa específica.
2. Ubicación de los subproductos con la etapa de un proceso de producción alternativo para estos subproductos particulares.

Las cargas asociadas a procesos alternativos se restan del sistema, con base en el hecho, de qué la generación de un subproducto evita su producción a través de otros procesos. En otras palabras, cuando existen cargas ambientales relativas a un subproducto que evita el desarrollo de un proceso diferente, estas deben tener signo opuesto (negativo), a las cargas relativas al producto principal.

c) *Múltiples conexiones.* Las corrientes del proceso pueden estar relacionadas con varias etapas, (e.g., la etapa de generación eléctrica puede proveer la demanda de energía en diferentes etapas de proceso).

Cuando un flujo (sea de entrada o salida) tiene más de una conexión con diferentes etapas, es necesario determinar el porcentaje que aporta cada uno de estas etapas, sin embargo, se debe tener en cuenta que la suma del total de los porcentajes de conexión, debe ser del 100%.

4.2.3 *Captura y envío de datos.*

La captura y envío de datos, permite desarrollar el procedimiento de intercambio de información entre la herramienta de análisis ambiental y otros programas. De esta manera es posible integrar los resultados de la simulación y el análisis con dicha herramienta [Pänkäläinen, 2000]. En el presente trabajo, la captura de información, se realiza desde y hacia la hoja de cálculo MS Excel a través de macros ó importaciones.

A través de Excel se desarrolló la interfaz para la transferencia de información entre el análisis de proceso y la evaluación ambiental. Inicialmente, la información arrojada por la herramienta de simulación se transfiere a Excel a través de la programación de macros, de esta manera, la información permanece disponible para otras aplicaciones y para los siguientes niveles de la evaluación ambiental.

4.2.4 *Herramientas utilizadas para la transferencia de información.*

En el actual desarrollo metodológico se utilizó como herramienta para la transferencia de información, el programa Excel (Microsoft ® Excel), y las aplicaciones de edición del Visual Basic (Microsoft ©Visual Basic). Por medio de las cuales se obtuvo, por un lado la interfaz de

los modelos estudiados, y por otro las memorias de cálculo que permiten evaluar cada proceso estudiado.

4.3 INVENTARIO DE CICLO DE VIDA DEL PROCESO

El inventario se desarrolla con base en el concepto de eco-vector. Inicialmente, se genera un eco-vector para las alternativas a evaluar, el cual debe suministrar la información relacionada con las corrientes de entrada y salida de materia y energía. La determinación y posterior evaluación del inventario de materia y energía en un proceso industrial, permite tener una primera visión de la incidencia de dicho proceso en el entorno. La etapa de definición y evaluación del inventario, sigue los pasos que se muestran en el diagrama de la Figura 4.5.

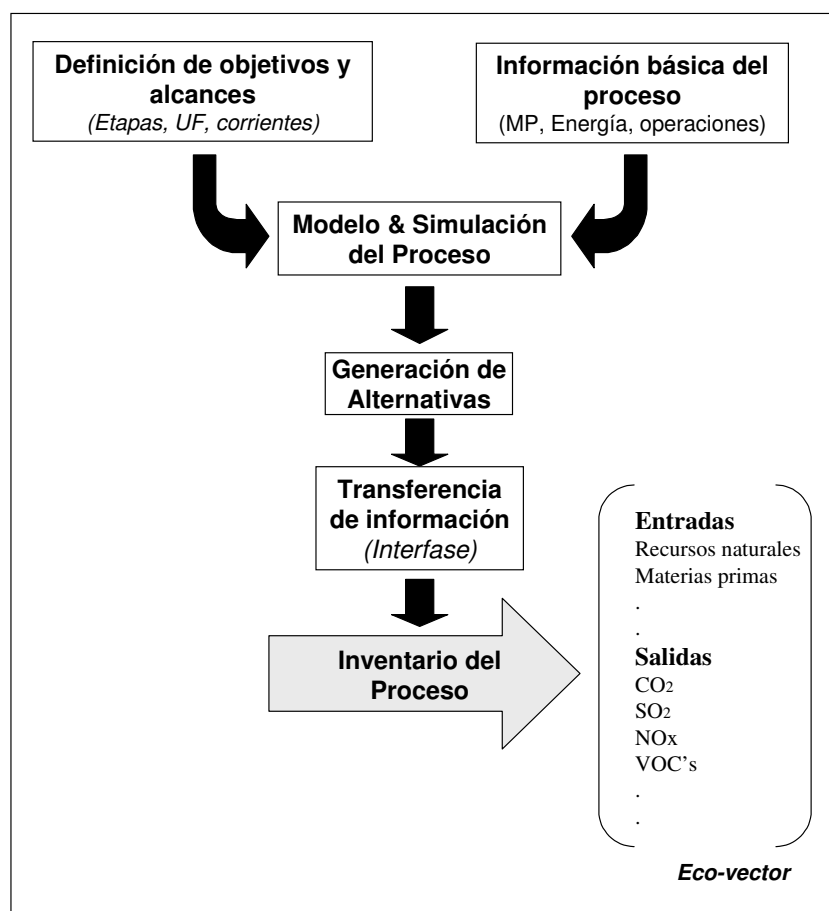


Figura 4.5 Diagrama esquemático para la obtención del inventario del proceso

El inventario del proceso, comienza con la definición del objetivo y alcance del análisis, es decir, con la definición de las etapas a estudiar, el producto de interés (generalmente utilizado unidad funcional) y las corrientes que intervienen en el proceso. Así mismo, es necesario definir la información básica del proceso. Con base en la información anterior, es posible desarrollar un

modelo del proceso a estudiar para generar las diferentes alternativas o escenarios de producción.

Una vez generada la información del proceso, esta se transfiere a una hoja de cálculo donde se obtiene el inventario del proceso (todas las alternativas tenidas en cuenta).

Por último, para llevar a cabo el análisis de inventario, es necesario partir de un diagrama de flujo que ayude a identificar las etapas del sistema a estudiar y su conexión. Así mismo, establecer la calidad de los datos que se utilizarán; tomar los datos pertinentes y por último y si es necesario, redefinir los objetivos y los alcances del estudio. En el siguiente apartado se describe paso a paso el desarrollo del inventario del proceso propuesto en esta metodología.

4.3.1 Definición de los escenarios a evaluar

Una vez desarrollado el modelo del proceso, se deben identificar los escenarios que serán comparados, es decir, se evaluará el proceso original y las alternativas de producción que contemplan variaciones de dicho proceso original.

Los escenarios o alternativas de proceso, se diferencian básicamente en dos aspectos: 1) las corrientes que intervienen en el proceso y los cambios en las materias primas o en los productos, subproductos y reciclos que se propongan en las alternativas, y 2) los cambios en las operaciones desarrolladas en el proceso, tanto para el proceso principal como para los servicios requeridos por el mismo.

Con base en esto, se tendrá en cuenta la mejor alternativa, considerando todos los aspectos involucrados en el proceso.

4.3.2 Cuantificación de recursos naturales, materiales necesarios y descargas.

A partir del modelo o simulación del proceso, se obtiene información de las corrientes involucradas en el proceso, a través de la transferencia de información a una memoria de cálculo, donde es posible cuantificar la totalidad de las corrientes. Así mismo, teniendo en cuenta su actividad o función en el proceso, son caracterizadas para su posterior análisis.

La cuantificación de corrientes como base para el análisis del inventario involucra dos aspectos fundamentales: inicialmente es necesario definir una unidad funcional que permita comparar todas las alternativas bajo una misma base de cálculo, y posteriormente, se deben definir las cargas ambientales que han de ser tenidas en cuenta para la evaluación.

Unidad funcional

La unidad funcional es la unidad de cálculo que permite comparar la cantidad de las corrientes no sólo de entrada sino también de salida, de manera que se pueda medir las cantidades requeridas o emitidas por un producto en particular.

Usualmente la unidad funcional corresponde al producto mayoritario o principal en el proceso, sin embargo, puede ser elegido cualquier corriente de masa o energía. Las unidades de la unidad funcional, dependen del tipo de componente elegido, y pueden ser másicos y/o energéticos.

Determinación de las cargas ambientales (eco-vector)

Debido a que no existe una metodología claramente definida de selección de las cargas ambientales a ser estudiadas, es necesario aplicar criterios para la selección. En esta metodología se propone evaluar las cargas ambientales de las corrientes que satisfacen a uno o más de siguientes criterios:

- ✓ Certeza o posibilidad de significación ambiental (e.g., tóxica);
- ✓ Certeza o posibilidad de importantes necesidades másicas o energéticas (e.g., mayor consumo que un proceso similar);
- ✓ Funcionalmente significativa (e.g., que no se pueda sustituir por otra)

Los criterios anteriores no deben ser tomados como suficientes y/o necesarios para elaborar un inventario, sin embargo, pueden servir como base para la elaboración de nuevos criterios.

Balance de materia y energía

El balance de materia y energía es el paso fundamental en la elaboración del inventario. En la metodología, el balance de materia y energía se realiza en la denominada memoria de cálculo, a partir de los datos del proceso obtenidos por medio de la interfaz.

4.3.3 Evaluación de posibles descargas puntuales (accidentes)

En la evaluación del inventario, es necesario tener en cuenta la posibilidad de que existan fugas o descargas puntuales, las cuales pueden incidir en una incorrecta interpretación de los resultados del inventario.

La metodología considera dos tipos de descargas puntuales: 1) emisiones fugitivas y, 2) pérdidas o escapes. La primera de ellas, se debe incluir al modelar el proceso (se consideran las emisiones fugitivas cuando las pérdidas de materiales sobrepasen el 1%). En este caso, dicha emisión se introducirá como un elemento más del eco-vector, de manera que sea posible cuantificarla en el inventario.

Así mismo, este tipo de descarga se puede evaluar, calculando la probabilidad del evento. El efecto de descarga puntual (C_i/evento) multiplicado por la frecuencia de ocurrencia del evento (evento/año), da como resultado una carga que puede ser agregada a la carga estacionaria.

4.3.4 Reporte de los resultados del inventario.

Los resultados del inventario de entradas y salidas de un proceso, son generalmente presentados en forma de tablas o figuras comparativas. Sin embargo en esta metodología, se ha elegido el eco-vector, puesto que a partir de él, es posible generar las diferentes matrices tanto de concentración en el medio, como de efectos. Adicionalmente, un eco-vector, hace posible la comparación de los diferentes inventarios desarrollados, tantos, como alternativas de proceso hayan sido propuestas y estudiadas. A continuación, se describe las ecuaciones de formulación del eco-vector, sus componentes y unidades, utilizadas en la metodología desarrollada.

El eco-vector (E_v), está compuesto por las cargas ambientales (C) definidas en la descripción del alcance de la evaluación, por lo que el número de componentes, depende de la cantidad de cargas a evaluar. La ecuación 1, representa la configuración del eco-vector:

$$E_v = C_i \quad i=1.....N \quad (1)$$

Quedando entonces el Eco-vector de la siguiente forma:

$$E_v = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_N \end{bmatrix}$$

$$C_i = \frac{[Fi]}{[FUF]} \quad (2)$$

Donde

C_i = Carga Ambiental

F_i = Flujo de elemento i (kg/h)

FUF = Flujo de unidad funcional (kg/h o kW/h)³

Las cargas puntuales, como ha sido descrito en el apartado anterior, se calculan tal como se muestra en la Ecuación 3.

$$C_p = \frac{C_i / evento}{evento / año} = \frac{C_i}{año} \quad (3)$$

³ La unidad de este flujo depende de la unidad funcional escogida.

Donde,

C_p = carga puntual (Kg/año)

Por otra parte, una vez definidos los componentes del Eco-vector, es necesario considerar el tipo de asignación que corresponda a dichas cargas. Como se mencionó antes, esto puede realizarse con base en criterios másicos o energéticos. En el actual desarrollo metodológico, se optó por la asignación másica, teniendo en cuenta que en el análisis de procesos, los flujos másicos son una variable que puede ser manipulada con cierta facilidad. La asignación de cargas en este trabajo se define a través de la siguiente ecuación:

$$Ac_m = \frac{[MP * 100]}{[MA]} \quad (4)$$

Donde

Ac_m = Asignación de cargas-criterio másico (%)

MP = Masa de producto principal (kg)

MA = Masa de alimento al proceso (kg)

Por lo que finalmente, la carga ambiental en el inventario de un proceso queda tal como muestra la Ecuación 5.

$$C_i = \frac{[Fi]}{[FUF]} * Ac_m \quad (5)$$

La información generada a través del eco-vector, puede ser descrita para cada una de las etapas que conforman el proceso en estudio, con lo que es posible generar una matriz de cargas por etapas o también llamada matriz eco-tecnológica (E_t) [Heijungs, 1997; Sonneman, 2002]. La matriz viene dada por la siguiente ecuación:

$$E_t = C_{ij} \quad (6)$$

Donde

C = carga o emisión determinada en el inventario

i = sustancia evaluada, $i = 1 \dots N$, y

j = etapa involucrada, $j = 1 \dots M$

Por lo que la matriz queda de la siguiente manera:

$$E_t = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{1M} \\ C_{21} & C_{22} & C_{2M} \\ C_{N1} & C_{N2} & C_{NM} \end{bmatrix}$$

La información de la matriz se presenta en la Tabla 4.2, en la cual se describe la configuración del eco-vector de un proceso de M etapas.

Tabla 4.2 Configuración general de la matriz de tecnología con base en el inventario

<i>Sustancia</i>	<i>Etapas de proceso</i>			
<i>Consumo</i>	<i>Etapas 1</i>	<i>Etapas 2</i>	<i>Etapas M</i>	<i>Total</i>
<i>Combustibles</i>				
<i>Recursos naturales</i>				
<i>Descargas</i>				
<i>Emisiones</i>				
<i>Vertidos</i>				

La información recogida por la matriz E-t, puede servir posteriormente – a partir de factores de destino y de ponderación de efectos-, como base para la evaluación del destino de las sustancias, y la descripción de los impactos potenciales.

4.3.5 Análisis del inventario del ciclo de vida de un proceso

El análisis de los resultados del inventario de consumo y descargas al entorno, es el primer paso para la determinación del perfil ambiental de un proceso, y permite continuar con la evaluación ambiental hacia etapas de mayor complejidad pero de mayor valor agregado, por cuanto los efectos ambientales identificados pueden ser diferenciados en el tiempo y el espacio, y por lo tanto, cuantificados de una manera menos incierta.

En este paso, se relacionan las **cargas ambientales** del eco-vector a través de los **trayectos hacia los medios** con los **receptores** donde generarán los **efectos** más significativos.

4.3.6 Relación de las cargas ambientales con posibles efectos.

Una vez definido las cargas ambientales a través del consumo de recursos y las sustancias emitidas, es necesario relacionar dichas cargas con las etapas del proceso productivo y los posibles efectos. Por lo tanto es necesario considerar aspectos de transporte en los diferentes medios y evaluar los impactos reales y su carácter regional. Las etapas que se deben tener en cuenta para la determinación de los impactos desde una perspectiva de ACV, se presentan a continuación:

a) *Extracción y Transporte de materias primas.* Se tienen en cuenta todos los procesos de extracción, pretratamientos y transporte hasta llegar a la cadena de procesos. En esta etapa, las

principales cargas están referidas al suelo y aire (movimientos de tierra, emisiones por extracciones y transporte).

b) *Procesos productivos (cadena de procesos)*. Se tienen en cuenta los procesos por sí mismo (etapas desarrolladas) y los procesos de generación de energía. Las cargas en este ítem están relacionadas con emisiones, vertidos y residuos generados durante estas fases.

c) *Transporte*. El transporte a través de tierra, aire y agua, debe ser tenido en cuenta, de manera que puedan identificarse los efectos causados en tal actividad. Las cargas definidas aquí están relacionadas con las emisiones causadas por la extracción, producción de combustible y el uso de dicho combustible.

d) *Procesos de producción de energía*. Aquí se indican los efectos de la generación de la energía necesaria para el funcionamiento de los equipos en las diferentes etapas de los procesos y también, la necesaria para la extracción de materias primas.

e) *Escenarios de disposición. (Reciclaje y procesamiento de residuos)*. En esta etapa se determinan las diferentes alternativas para la gestión de los residuos y los impactos generados. La Figura 4.6 representa la relación entre las etapas (cargas), efectos y daños.

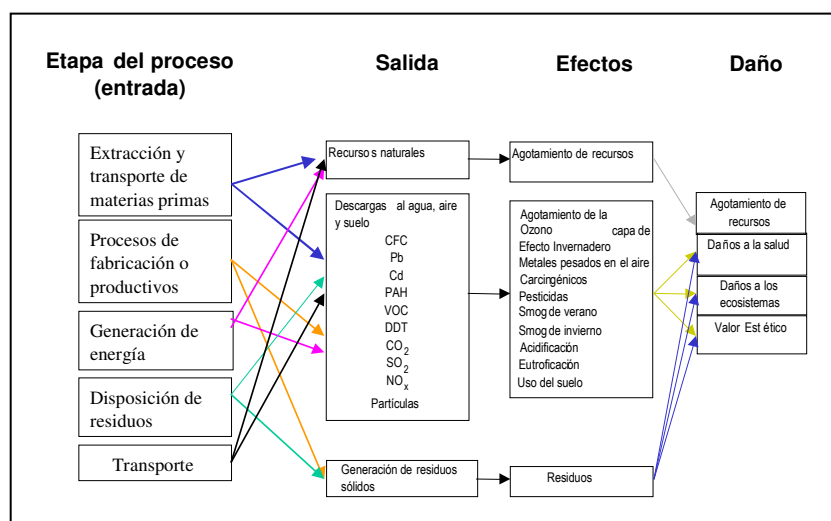


Figura 4.6. Relación entre etapas, cargas y daños. Adaptado de Goedkoop et al, 2000.

Finalmente, en el desarrollo metodológico propuesto, no se tienen en cuenta, los daños a edificaciones (ambiente hecho por el hombre), puesto que no se han incluido en el alcance de la evaluación.

4.4 EVALUACIÓN DEL DESTINO Y EXPOSICIÓN

La evaluación del destino y exposición de una sustancia descargada en un proceso industrial, inicia con el análisis del inventario, donde han sido evaluadas las cargas ambientales [Goedkoop

& Spriensma, 2000]. Con base en las propiedades de dichas sustancias, las características del entorno (ambiente) y la relación entre ellas, es posible predecir (en algunos casos con ayuda de modelos), el destino final de las sustancias, y las concentraciones en los diferentes compartimientos para la posterior estimación de la exposición, tal como se representa en la Figura 4.7.

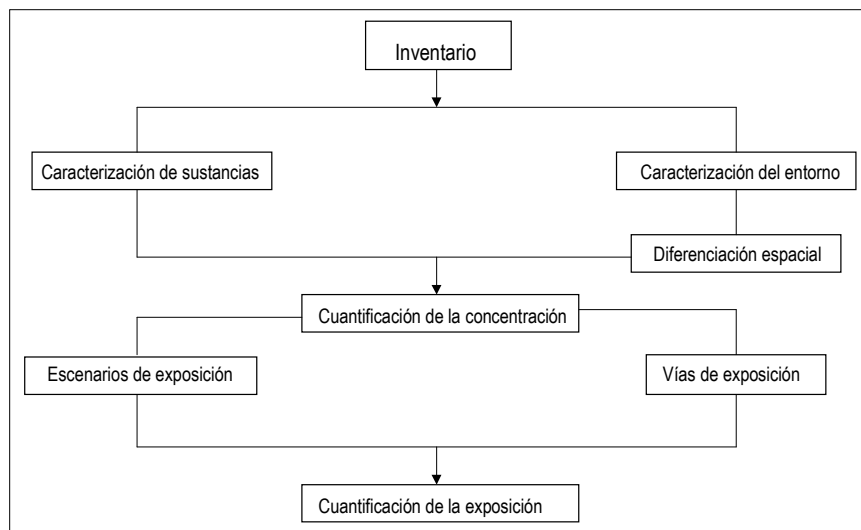


Figura 4.7 Pasos para la evaluación del destino y exposición.

El destino y la concentración de las sustancias en los diferentes compartimientos, pueden ser predichos (o calculados) aplicando criterios de diferenciación espacial y con la ayuda de modelos de transporte, transferencia y transformación de sustancias. Estos modelos –tal como se describió en la evaluación del destino–, permiten obtener información acerca de la tendencia de sustancias específicas a trasladarse o permanecer en determinados medios, aumentando o manteniendo constante la concentración en dicho medio. Así mismo, es posible conocer o inferir dicha tendencia con ayuda del análisis de las relaciones entre las propiedades fisicoquímicas de una sustancia (coeficientes de distribución) y las características del entorno (porosidad de suelo, velocidad del viento, entre otras).

Tal como se describió en la evaluación del destino, la tendencia final de las sustancias descargadas, puede ser predicha a partir de la matriz eco-tecnológica y un factor de destino. Los factores de destino se calculan con base en las tendencias de transporte de las sustancias en los diferentes compartimientos. Más adelante, se describirán dos diferentes formas de calcular el destino de las sustancias, a través del transporte entre compartimientos.

Una vez evaluado el destino, el siguiente paso es el análisis de la exposición. La exposición a la que se encuentran sometidas las áreas de protección, se calcula con base en factores de exposición, los cuales dependen del lugar de evaluación (site-specific). La información relacionada con el destino y exposición de sustancias, es básica para la posterior evaluación de

efectos, ya sea a través del cálculo de riesgos o para la evaluación de impactos. Adicionalmente, esta información sirve de soporte en la toma de decisiones relacionadas con la ubicación de la planta.

Existen tres vías fundamentales para la evaluación de los efectos a partir del destino y exposición de sustancias: 1) , a través de la relación entre la concentración de una sustancia en un compartimento (Predicted Environmental Concentration, PEC) y la concentración mínima para la cual no se ha detectado ningún efecto adverso sobre la población objeto (Predicted No-Effect Concentration, PNEC). La relación entre estos dos valores, a través del cociente ($PEC/PNEC$) permite establecer la necesidad de una evaluación más detallada de los efectos [Crettaz et al, 2001], por lo que es posible calcular los riesgos debidos a su acumulación; 2) A partir de la aplicación de funciones para la determinación de la respuesta a una dosis y/o una exposición, se determinan los impactos ambientales de las categorías de impactos seleccionadas [Hertwich & Hammitt, 2001; Potting & Hauschild, 1999; Seppälä, 1999; Hofstetter, 1998; Hughes, 1996]; y 3) la aplicación de bioensayos o estudios toxicológicos, permite también la evaluación de los efectos, con base en estudios dosis-respuesta, una vez evaluado y cuantificado el destino y exposición.

A continuación, la Figura 4.8 presenta un diagrama esquemático de la etapa de evaluación del destino y exposición seguida en la metodología. En ella se relacionan los diferentes aspectos tenidos en cuenta para su desarrollo y su resultado principal.

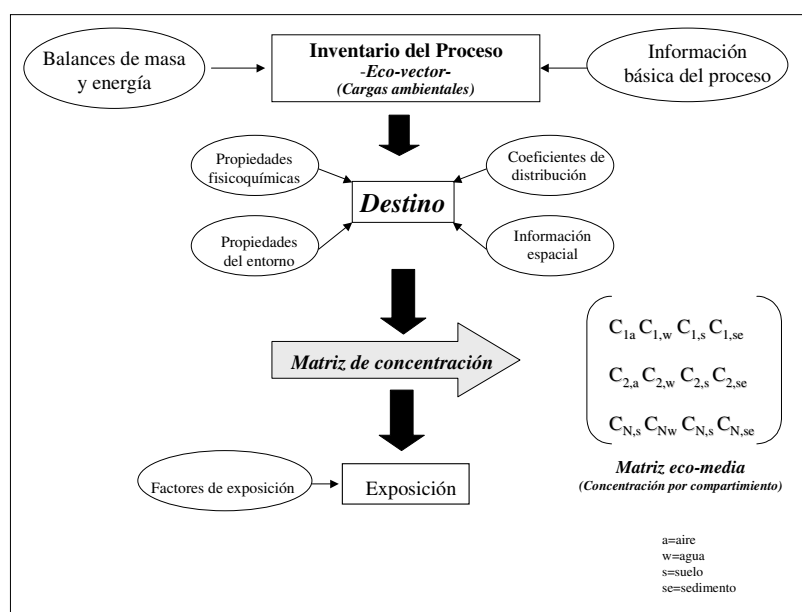


Figura. 4.8 Resultados de la evaluación del destino y exposición de sustancias.

De acuerdo con la Figura 4.8, el principal resultado de esta etapa es la matriz de concentración, en la cual, las filas son las cargas ambientales, y las columnas los compartimentos donde se

pretende evaluar la concentración de las sustancias. La matriz de concentración o matriz eco-media (E_m), se puede obtener a través de dos vías:

a) Por medio de la matriz cargas por etapas (eco-tecnológica) y un factor de destino (ver Ecuación 7).

$$E_m = E_t * F_d \quad (7)$$

En la Ecuación 7, el factor de destino está determinado por la capacidad de distribución de las sustancias en determinados medios, debido a las relaciones entre sus propiedades y las propiedades de los compartimentos.

$$E_m = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{1M} \\ C_{21} & C_{22} & C_{2M} \\ C_{N1} & C_{N2} & C_{NM} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Fd_1 \\ Fd_2 \\ Fd_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{111} & C_{121} & C_{1M1} \\ C_{212} & C_{222} & C_{2M2} \\ C_{N1N} & C_{N2N} & C_{NMN} \end{bmatrix}$$

Los factores de daño (F_d) son valores que predicen la cantidad de sustancia que mayoritariamente, se encontrará en un compartimento específico. Dicho valor depende no sólo de las propiedades de las sustancias, sino también, de las cantidades emitidas y las características de los compartimentos. Los factores de destino, en el desarrollo metodológico, se determinarán a través de los modelos que han sido descritos en el apartado de evaluación de destino.

Para obtener los factores de destino, o encontrar la cantidad de sustancia en los compartimentos a evaluar, es necesario realizar una caracterización de las sustancias y del entorno donde se evalúan los compartimentos, así como aplicar criterios de diferenciación espacial.

El resultado de esta fase, es una matriz en la que su diagonal principal representa los valores de la concentración de cada sustancia en un medio específico. Tal como muestra la Ecuación 8.

$$E_m = [C_{111}, C_{222}, \dots, C_{NMN}] \quad (8)$$

b) Por medio de la determinación de la cantidad de sustancia en cada medio. La matriz de concentración se calcula a partir de la ecuación que se describe a continuación:

$$C_{ij} = \left[\frac{PM_i * n_i}{V_j} \right] \quad (9)$$

Donde:

C_{ij} =Concentración de la sustancia i en el compartimiento j

PM_i = Peso molecular de la sustancia i

n_{ij} = Moles de la sustancia i en el compartimiento j

V_j = Volumen del compartimiento j.

La matriz presenta la forma de una matriz (N*M), y en ella se pueden apreciar los valores de cada una las sustancias evaluadas en los compartimientos de interés.

$$E_m = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{1M} \\ C_{21} & C_{22} & C_{2M} \\ C_{N1} & C_{N2} & C_{NM} \end{bmatrix}$$

4.4.1 Caracterización de sustancias provenientes del inventario.

El criterio de caracterización propuesto parte de las propiedades físico-químicas de la sustancia, puesto que su conocimiento permite predecir su distribución en el ambiente. A partir de ellas y bajo la aplicación de modelos de transporte y transferencia, se evalúa el transporte y el destino de dichas sustancias teniendo en cuenta cuatro compartimientos ambientales: aire, agua, suelo y sedimentos.

Los parámetros más útiles en la caracterización son: peso molecular (PM), puntos de ebullición y fusión (Pe, Pf), solubilidad (S), Presión de vapor (Pv), y los coeficientes de distribución en aire, agua o suelos (Koa, Kow, Kos). Finalmente, en función de las proporciones y valores determinados, las sustancias se clasifican con base en: 1) persistencia en el medio, 2) capacidad potencial de bioacumulación, y 3) toxicidad.

Persistencia: los datos relativos a la persistencia son muy importantes para la evaluación de los posibles efectos, sin embargo, son difíciles de obtener en una forma que sea útil para efectos prácticos, a causa de la estabilidad intrínseca de las moléculas que conforman las sustancias, y la variabilidad de las condiciones ambientales.

La persistencia se expresa con el concepto de vida media, que se define como el tiempo que tarda el receptor en reducir a la mitad la concentración de la sustancia. En realidad, la clasificación permite comparar la vida media estimada, con los valores marcados por el organismo regulador (ver Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Rangos de aplicación del criterio de persistencia en los diferentes medios

MEDIO	VIDA MEDIA (días)		
	No persistente	Persistente	Muy persistente
Agua	< 60	≥ 60	> 180
Suelo	< 60	≥ 60	> 180
Aire	< 2	2	> 2
Sedimentos	< 60	≥ 60	> 180

Fuente: US-EPA. Persistent Bioaccumulative Toxic (PBT) Chemicals; Lowering of Reporting Thresholds for Certain PBT Chemicals: October 29, 1999 (Volume 64, Number 209)

Bio-acumulación: se refiere a la acumulación de sustancias tóxicas en los organismos. De forma habitual, no se otorga un valor propio a la bioacumulación, sino que se emplea el factor de bioconcentración (BCF) [US-EPA, 1999]. De acuerdo con Calamari (1993), el factor de bioacumulación para diferentes especies (mayoritariamente compuestos orgánicos) puede predecirse a través de las siguientes ecuaciones:

✓ Animales acuáticos y terrestres

$$\text{LogBCF} = a\text{LogKow} + b \quad (10)$$

✓ Plantas

$$\text{BCF} = LK_{oa} \quad (11)$$

Donde a y b son constantes que dependen de las especies, L es la fracción lípida y Kow, Koa son los coeficientes octanol-agua y aire respectivamente. La Tabla 4.4 presenta un probable rango de valores que pueden ser utilizados para determinar la bioacumulación, a partir de datos de bioconcentración.

Tabla 4.4. Rango de aplicación de la bioacumulación

FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN (BCF)		
No bioacumulativa	Bioacumulativa	Muy bioacumulativa
< 1000	≥1000	≥5000

Toxicidad: es una propiedad intrínseca de la sustancia, que se define como la capacidad que tiene dicha sustancia de producir un daño. La magnitud de la respuesta tóxica en un organismo depende de la exposición (dosis, tiempo, y vía de exposición) y de factores relacionados con las características del organismo expuesto, del medio ambiente y de la sustancia [CEPIS, 2003]. En la actualidad, no existen criterios cuantitativos de toxicidad convenidos, y los índices de toxicidad empleados, son los parámetros toxicológicos que se utilizan en la evaluación de

riesgos, que son obtenidos a través del análisis dosis-respuesta. A pesar de que existen dos tipos de toxicidad (aguda y crónica), esta generalmente se expresa mediante el término ChV (valor de toxicidad crónica o máximo valor de concentración aceptado). En la Tabla 4.5, se presenta el rango de aplicación utilizado para medir la toxicidad crónica en peces (ESC, 2002).

Tabla 4.5 Rango de aplicación del criterio de toxicidad⁴

<i>ChV (mg/l)</i>		
<i>No tóxica</i>	<i>Tóxica</i>	<i>Muy tóxica</i>
> 10	< 10	< 0.1

Propiedades de las sustancias y la relación con su clasificación.

Las propiedades de las sustancias que permiten clasificarlas de acuerdo con los tres aspectos mencionados antes son: 1) fisicoquímicas, 2) vida media, 3) coeficientes de distribución, y 4) factores de biotransferencia. La Tabla 4.6, muestra la incidencia de dichas variables, en la caracterización de las sustancias.

Tabla 4.6 Incidencia de las propiedades sobre la caracterización de sustancias.

PROPIEDADES	INCIDENCIA		
	Persistencia	Bioacumulación	Toxicidad
Fisicoquímicas	Propiedades tales como peso molecular, puntos de ebullición y fusión, y presión de vapor inciden de forma directa sobre la persistencia de una sustancia en un medio.	Existe una incidencia directa entre las propiedades fisicoquímicas de las sustancias y su capacidad de bioacumulación. Por ejemplo, un mayor K_{ow} implica una mayor acumulación en la fase lipídica. Así mismo, el aumento en la persistencia de una sustancia en un medio, facilita su acumulación en los organismos vivos.	No se presenta una incidencia directa en el aumento de la toxicidad de una sustancia debido a las propiedades fisicoquímicas.
Vida media	Factor ligado de forma directa con la persistencia. Mayor vida media implica una mayor persistencia de la sustancia.	Si existe un mayor tiempo de exposición sobre los organismos vivos, habrá una mayor capacidad para pasar a la cadena alimenticia.	No existe una relación directa de la vida media de una sustancia con su potencial tóxico.
Coeficientes de distribución	Estos coeficientes, permiten estudiar el transporte de una sustancia en diferentes medios. Coeficientes de distribución altos y de difusión bajos, implican una mayor persistencia de la sustancia en los medios.	A mayor transporte de las sustancias, hacia un medio, mayor posibilidad de incorporación de la sustancia. Por el contrario, valores altos de coeficiente de difusión reducen la probabilidad de bioacumulación en el medio.	Dependiendo del tipo de sustancia, una mayor concentración de esta en el medio aumenta su capacidad de causar daño (toxicidad).
Factores de biotransferencia	Si los factores de biotransferencia son altos, la sustancia es fácilmente incorporada a la cadena alimenticia aumentando su persistencia en el medio.	Determinan la capacidad de la sustancia de ser ingerida por los seres vivos. A mayor valor de estos factores mayor capacidad de bioacumulación de la sustancia.	Si la capacidad de pasar a la cadena alimentaria es mayor, también lo será la toxicidad de dicha sustancia.

Fuente: [Herrera et al, 2003a]

⁴ La toxicidad crónica expresada en mg/l, indica la concentración en una solución acuosa, donde la solubilidad máxima de la sustancia en agua, ha sido alcanzada

4.4.2 Caracterización del entorno

Comprende la identificación de las características del entorno para diferentes niveles. Tal como se presentó en la definición de los objetivos y alcances, los entornos a evaluar pueden ser de tipo genérico o específico.

4.4.2.1 Entorno genérico. El entorno genérico habitualmente se asume como un entorno multi-compartimiento, en el cual, el destino de sustancias se evalúa en una escala espacial de grandes dimensiones. La idea general es calcular el equilibrio de masa en el ambiente e identificar los compartimientos en los que la sustancia podría aumentar su concentración. En este tipo de modelos se aplica el concepto de “mundo uniforme”, por lo que el ambiente real se simplifica y es posible predecir el comportamiento de las sustancias en los compartimientos de forma preliminar o como una primera aproximación.

4.4.2.2 Entorno específico. Para la determinación de un entorno específico, es necesario caracterizar la zona donde se desarrolla la evaluación. A través de la utilización de Sistemas de Información Geográfica, es posible introducir información de diferentes índoles, tal como meteorológica, población, ríos, y puntos de emisión de aguas residuales, entre otras.

La definición de un entorno específico requiere información relacionada con diferentes aspectos, tales como suelo, acuíferos y climatología. La posición de los acuíferos con respecto al nivel de la superficie es también una variable importante.

Los datos climatológicos permiten estimar la persistencia de los tóxicos en el ambiente, los posibles desplazamientos por arrastre de partículas y gases debido a los vientos, además, y junto con la topografía, los desplazamientos en corrientes superficiales.

El análisis de los modelos de transporte (Chemcan, TaPL3, etcétera, descritos en el Anexo A, sección A.1), ha permitido caracterizar un entorno genérico para dos escalas espaciales diferentes: escala local y escala global.

Como resultado de esta actividad, se determinaron dos tipos de entorno para la evaluación del destino: entornos global y local, así como las relaciones entre dichos entornos y los mecanismos de transporte y transferencia de las sustancias descargadas en ellos. Toda la información concerniente a los entornos definidos, se presenta en el Anexo B, concerniente a los resultados obtenidos.

El entorno regional, descrito en algunos modelos de evaluación del destino de sustancias, en la metodología se ha asimilado el entorno global, dadas las similitudes entre ellos

4.4.3 Aplicación de cartografía en la diferenciación espacial

El uso de análisis cartográfico en la diferenciación espacial, ayuda a la aplicación de criterios de evaluación espacial, y permite identificar el estado real del entorno donde se ubica una actividad industrial.

En este sentido, el uso de sistemas de información geográfica, el desarrollo de mapas de contaminación, y la predicción del destino de sustancias deben estar relacionados para obtener información que pueda ser utilizada en la toma de decisiones relacionadas con la ubicación de la planta.

En la actualidad existe una gran cantidad de información cartográfica que permite conocer el estado ambiental de los diferentes compartimentos que conforman el entorno. A partir de esta información, es posible generar mapas que permiten identificar cual es el estado de dichos compartimentos (en términos de concentración) después de que una actividad industrial esté en funcionamiento. Los pasos para la obtención de mapas de contaminación son los siguientes:

1. Aplicación de modelos de destino para las cargas ambientales identificadas en el inventario.
2. Análisis de los resultados e identificación de sustancias de mayor importancia, por “toxicidad o ecotoxicidad” o por cantidad.
3. Identificación de los compartimentos con un mayor incremento de la concentración.
4. Desarrollo de mapas de contaminación, con base en la cartografía de la zona y los resultados de los modelos.

Para la aplicación de la cartografía en la determinación del destino de sustancias, se utilizaron dos herramientas de creación de mapas: MiraMom® y ArcView®. Estas herramientas, permiten crear y modificar mapas de localización y diferenciación de sustancias en los diferentes compartimentos estudiados.

Por medio de dichas herramientas, y con la ayuda de modelos de evaluación de exposición de sustancias, basados en programas informáticos (e.g: Euses y Great_er), es posible comparar los resultados generados a través de la evaluación de modelos genéricos y específicos, en términos de concentraciones predichas, para las sustancias cuantificadas en un análisis de inventario [Petzet, 2003].

Las características de las herramientas antes mencionadas, están descritas en detalle en el Anexo A (sección A.1) correspondiente a herramientas utilizadas en el desarrollo metodológico.

4.4.4 Estimación de la exposición

Como se ha comentado anteriormente, el concepto de exposición implica la presencia de una sustancia tóxica en un determinado punto del espacio y el tiempo, y la presencia simultánea de

una población en el mismo lugar. Además, es necesario precisar la cantidad de la sustancia que entra en contacto con el individuo. A continuación se presentan los factores más importantes a tener en cuenta para la estimación de la exposición.

4.4.4.1 Escenario de exposición. El escenario de exposición comprende el sitio donde se emiten los tóxicos al ambiente, donde se transportan y donde las poblaciones entran en contacto con los medios o compartimientos contaminados.

El estudio del escenario consta de dos partes fundamentales; la **descripción del sitio y de las áreas de protección** propensos a sufrir la exposición. Las características que interesan serán aquellas que son útiles para estimar las exposiciones.

El entorno se describe en función de las variables que puedan tener influencia sobre el transporte de las sustancias y los niveles de contaminación. Las características físicas importantes del escenario de exposición son: **clima, vegetación, topografía, edafología** (composición y estructura de suelos) y **geohidrología** (estratos en el subsuelo, acuíferos subterráneos y corrientes superficiales).

En lo referente al suelo y al subsuelo es conveniente describirlos en función de la **humedad, pH, contenido de carbono orgánico, presencia de otros intercambiadores de iones, porosidad y tipo de suelo.**

Por otra parte en la descripción de las áreas de protección, se consideran aquellas que están en cercanía de la fuente de contaminación, así como las que pudieran quedar expuestas en el futuro, aunque se encuentren localizados en sitios alejados de dicha fuente.

4.4.4.2 Ruta de exposición. La ruta de exposición, es la trayectoria que sigue un tóxico desde la fuente de emisión hasta el contacto con las poblaciones expuestas, incluyendo la vía de ingreso del tóxico a los organismos expuestos. A continuación se describen cada uno de los elementos que integran la ruta de exposición típica.

Fuente. Las características fundamentales de la fuente son su localización y los mecanismos de emisión. Se localiza y describe utilizando los datos de muestreo y la información preliminar que se tenga acerca del sitio. Se localizan los lugares dónde se liberaron, se están liberando, o se espera que se liberen los tóxicos, identificando todos los mecanismos posibles de liberación y de medios receptores.

Transporte y destino. Después de que la sustancia ha sido liberada le puede pasar lo siguiente:

- ✓ Que se acumule en uno o más medios incluyendo el de recepción

- ✓ Transportarse por una corriente de agua, disuelta o suspendida en algún sedimento, o por los vientos, en estado gaseoso o partículas, o a través del subsuelo.
- ✓ Transformación física (volatilización, precipitación), química (fotólisis, hidrólisis, oxidación, reducción, etc.) o biológica (biodegradación)

Punto de exposición. Cualquier contacto potencial entre los pobladores con un medio contaminado es un punto de exposición. Son más importantes los puntos de exposición dónde la concentración que va a ser contactada sea la más alta y dónde la población expuesta se clasifique como de interés especial por pertenecer a un grupo en particular.

Vías de exposición. El último elemento de la ruta de exposición es la vía de exposición, que es el mecanismo por medio del cual el tóxico entra al organismo. En el caso de exposiciones ambientales las vías de exposición son ingestión, inhalación y contacto cutáneo. La selección de que vías se deben de estudiar, depende de los medios en los que se encuentre la sustancia en el punto de contacto. Si se encuentra en el agua potable, en los alimentos o en el suelo la vía de exposición será la ingestión, si se encuentra en el aire, sea como gas, vapor o partículas suspendidas, la entrada será por la vía respiratoria (inhalación) y si se encuentra en el agua o aire ambiente que entra en contacto con la piel, será por vía cutánea.

4.4.4.3 Cuantificación de la exposición. El estudio de la ruta de exposición tiene por objeto llegar a determinar la cantidad de sustancia tóxica que entra en un organismo durante el período de exposición y poder estimar las exposiciones futuras. La cuantificación de la exposición consiste en determinar la magnitud, frecuencia y duración de las exposiciones de los individuos miembros de la población por cada una de las rutas de exposición significativas.

Si la exposición ocurre durante un determinado período, la exposición total se divide entre el tiempo de ocurrencia para calcular la tasa de exposición promedio por unidad de tiempo y frecuentemente esta tasa promedio de exposición se expresa por unidad de masa corporal.

Existen tres categorías de variables que se pueden usar para calcular el valor de la exposición: 1) variables relacionada con la sustancia (**concentración de exposición**); 2) variables que describen la población expuesta (**tasa de contacto, frecuencia y duración de la exposición, peso corporal**) y 3) variable determinada por el proceso de evaluación (el **tiempo promedio**).

4.5 ANÁLISIS DE DOMINANCIA

Como se ha mencionado en el capítulo de fundamentos teóricos, el objetivo de un análisis de dominancia en la evaluación ambiental, no sólo es determinar las etapas y corrientes predominantes por su capacidad contaminante, sino también los compartimentos sobre los cuales existirá un incremento de la concentración de las sustancias descargadas.

En el análisis de dominancia para los compartimentos (aire, agua, tierra y sedimento), primero se asignarán todas las emisiones consideradas para una categoría de impacto determinada a un compartimento. A partir de aquí, en la toma de decisiones se debe considerar cual (o cuales) compartimentos deben ser evaluados. En el caso de las etapas del proceso en estudio, el análisis de dominancia define aquellas cuya descarga aumente la concentración de las sustancias emitidas en los compartimentos predominantes, o sean de especial interés.

Una representación gráfica de la concentración de una sustancia específica en los diferentes medios, ayudará a identificar aquellos compartimentos que serán elegidos para una evaluación con mayor detalle. En el mismo sentido, las descargas por etapa pueden representarse de forma gráfica, con lo que su evaluación permitirá definir cual de ellas son las de mayor aporte contaminante. Sin embargo, este procedimiento, sólo sirve de punto de partida para quienes toman decisiones, porque deben tenerse en cuenta además otros criterios de selección.

Finalmente, el análisis de dominancia en la selección de etapas predominantes del proceso con base en factores específicos y dependientes de un sitio (entornos genéricos o específicos) permite obtener una evaluación de efectos reales.

4.5.1 Determinación de las etapas del proceso con una mayor carga ambiental

Las etapas del proceso con mayor carga ambiental se determinan a partir de consumos o descargas por cada etapa (información contenida en el eco-vector). En otras palabras, una vez obtenido el eco-vector, se compara la contribución de cada etapa por sustancia y compartimento. Se consideran entonces las que presenten una mayor contribución en los compartimentos denominados predominantes en el análisis de dominancia. El resultado de esta actividad, será una matriz de cargas ambientales basada en el eco-vector.

4.5.2 Determinación de los compartimentos predominantes

Los compartimentos predominantes serán determinados a partir de la matriz eco-media, puesto que en ella se encuentran las concentraciones por compartimentos. Los criterios que ayudan a determinar cuales son los compartimentos afectados son: 1) las condiciones del entorno, y 2) la capacidad de afectación de las áreas de protección. Es decir, una vez identificadas las concentraciones después de la descarga en los compartimentos elegidos, deben ser evaluadas aquellas que superen los rangos definidos en el análisis de dominancia.

4.6 DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE IMPACTOS Y/O RIESGOS DEL PROCESO

El perfil de efectos a través inicialmente de riesgos y posteriormente de impactos, se determina a partir de las cargas ambientales identificadas en el inventario y de la concentración de las

sustancias descargadas en los diferentes compartimentos. La Figura 4.9, presenta el diagrama de flujo definido para determinar este perfil de efectos.

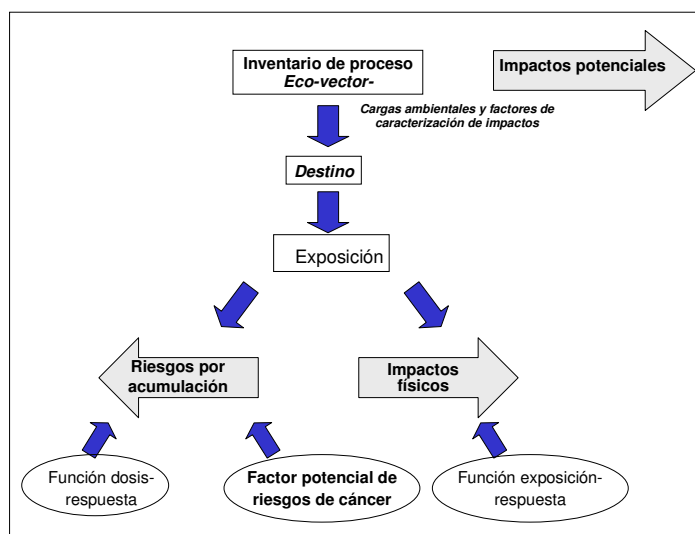


Figura 4.9 Perfil de efectos a partir del inventario y destino. Adaptado de Jolliet, 2001

En la figura 4.9, se hace un recorrido por los pasos para la obtención del perfil de riesgo y/o impactos. Los impactos potenciales pueden ser calculados a partir de las cargas ambientales y con base en factores de caracterización [Herrera et al, 2003b].

Posteriormente, con base en la información de la matriz del destino, es posible caracterizar el riesgo o determinar la proporción de peligro para las áreas de protección establecidas en el objetivo de la evaluación, a partir de información específica del sitio.

En el primer caso, la caracterización del riesgo debe diferenciar el área afectada (salud o ecológico) y en el caso de riesgos a la salud, si estos son cancerígenos o no. En el caso de riesgos cancerígenos, la caracterización expresa la probabilidad de sufrir un cáncer debido a una exposición diaria a una determinada sustancia.

Por otra parte, en el caso de los no-cancerígenos, la relación de peligro se obtiene a partir de dividir los niveles de exposición (o dosis), por su respectivas dosis de referencia de la sustancia descargada. La Figura 4.10, representa la respuesta a una dosis, para riesgos cancerígenos y no cancerígenos.

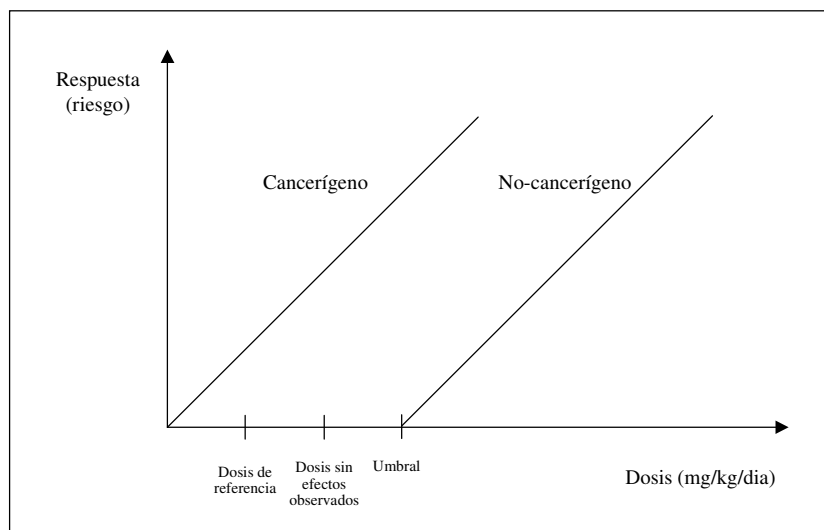


Figura 4.10 Funciones dosis-respuesta para contaminantes cancerígenos y no-cancerígenos

Adicionalmente, los impactos físicos, que en este estudio hemos denominado cuantificables, pueden ser calculados a partir de los datos de la evaluación del riesgo, o con base en funciones exposición-respuesta.

4.6.1 Selección de indicadores, categorías y unidades.

Es necesario seleccionar las categorías de impacto, o indicadores de categorías a ser utilizadas en la cuantificación de los efectos, ya sea como riesgos o impactos. En la metodología, se ha realizado una caracterización de indicadores para categorías de impacto, diferenciando éstos como mid-point (punto intermedio) o end-point (punto final). Así mismo, se han clasificado los indicadores en diferentes categorías: 1) *indicadores de presión*, 2) *de estado*, 3) *puntos intermedios*, y 4) *puntos finales*. A partir de indicadores de presión, se obtienen las tres categorías de interés o áreas de protección: 1) salud humana, 2) recursos naturales, y 3) ecosistemas.

Con base en el análisis del inventario desarrollado por la iniciativa Setac-Unep [Setac-Unep, 2002], se ha obtenido una caracterización de los impactos de mayor reconocimiento en el análisis ambiental (Tabla 4.7), donde se muestran los indicadores de mayor incidencia.

Esta información se complementa en la Figura 4.11, donde se describe gráficamente la relación entre las diferentes categorías de indicadores, impactos y áreas de protección. En dicha figura, también presenta la relación existente entre los niveles de evaluación ambiental propuestos en la metodología. En ella se ve claramente, como partiendo del inventario del proceso, es posible llegar hasta las áreas de protección, a través de diferentes indicadores y categorías.

Tabla 4.7 Definición de indicadores de categorías como intermedios y de punto final

Indicadores de Presión	Indicadores estado	Punto intermedio	Punto final
Acidificación			
Emisiones de SO ₂	g eq. H ⁺	Acidificación	Destrucción áreas
Emisiones de NO _x	g eq. H ⁺	Acidificación	Destrucción áreas
Cambio climático			
Emisiones de CO ₂ , No ₂ , HC	g eq. CO ₂	Cambio climático	Aumento nivel océanos
Contaminación del suelo			
Vertidos de residuos sólidos	g eq. Residuos	Contaminación del suelo	Extinción de especies
Deforestación			
Extracción de combustibles fósiles	m ² desforestados/año	Uso del suelo	Extinción de especies
Destrucción de la capa de ozono			
Emisiones de CO ₂ , CFC	g eq. CO ₂	Destrucción capa ozono	Cáncer
Eutrofización			
Emisiones de NO _x , SO ₄ ⁻	g eq. NO _x	Eutrofización	Proliferación de algas
Polución de aire			
Emisiones de CO ₂	eq. CO ₂	Polución en atmósfera	Problemas respiratorios
Emisiones de SO ₂	eq. SO ₂	Polución en atmósfera	Problemas respiratorios
Emisiones de NO _x	eq. NO _x	Polución en atmósfera	Problemas respiratorios
Emisiones de sustancias orgánicas	VOC, PAHs	Polución en atmósfera	Problemas respiratorios
Emisiones de Partículas	TSP	Polución en atmósfera	Problemas respiratorios
Polución en el agua			
Vertidos de agua con alto nivel de DQO	Consumo de O ₂	Contaminación de aguas	Extinción especies
Edificación			
Construcción de la Planta	m ² construidos	Uso del suelo	
Reducción de recursos naturales			
Extracción de combustibles fósiles	kg/año	Uso del suelo	Reducción de los recursos
Consumo de agua	l/año	disminución caudal	Extinción de especies
Daño del ecosistema			
Extracción de combustibles fósiles	kg/año	Uso del suelo	Extinción de especies
Extracción de metales	Kg/año	Uso del suelo	
Consumo de agua	l/año	disminución caudal	Extinción de especies
Niebla			
Emisiones de vapor de agua	kg agua/año	Efecto invernadero	Falta de visibilidad

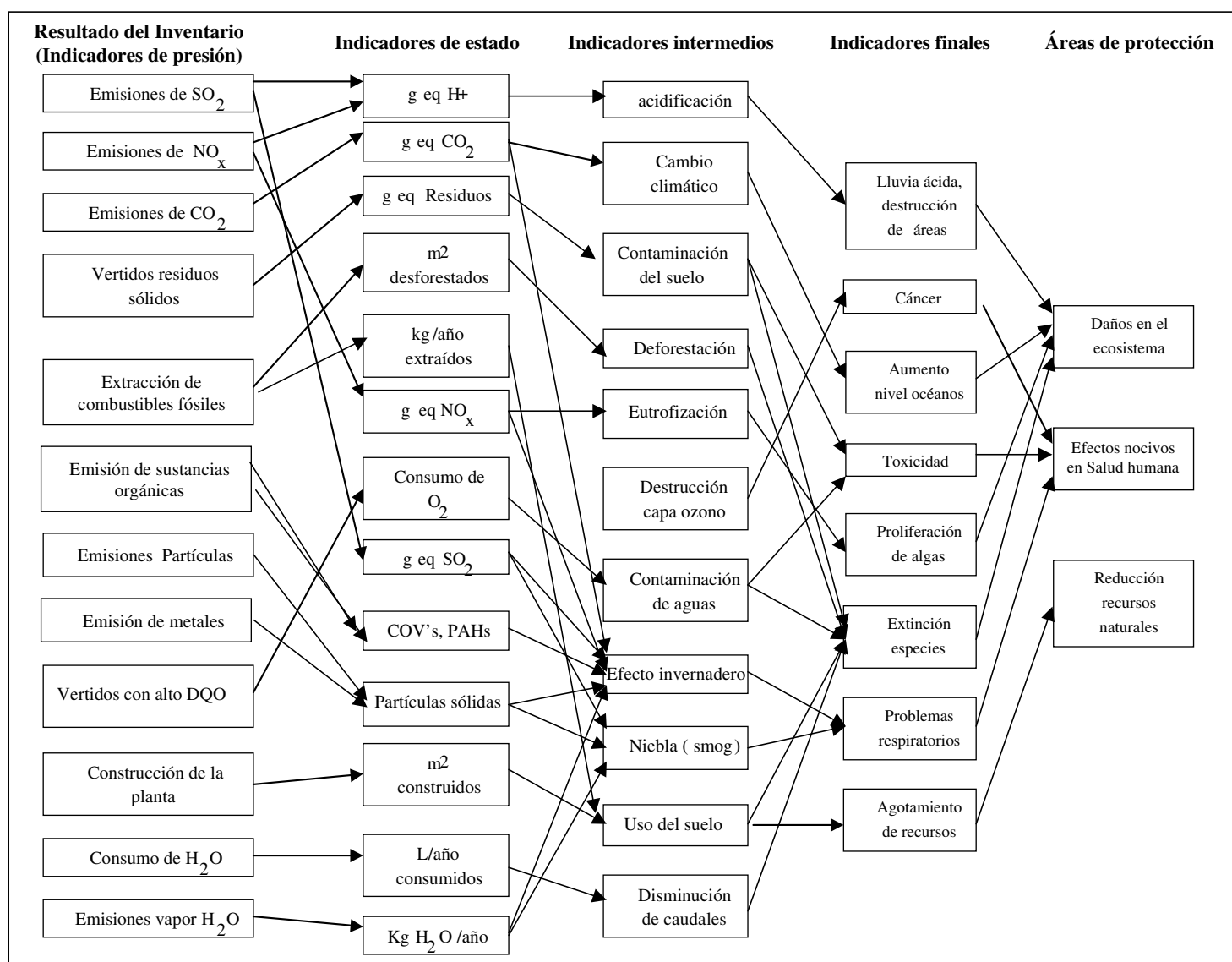


Figura 4.11. Caracterización y clasificación de indicadores intermedios y finales. Adaptado de Setac-Unep, 2002

4.6.2 Cuantificación de efectos (riesgos y/o impactos)

Antes de cuantificar los efectos en términos de riesgos y/o impactos generados por las cargas ambientales del proceso en estudio, es necesario aclarar lo que en la metodología han sido considerados como tales, y la forma de cuantificarlos.

Riesgos ambientales

A partir de la concentración predicha de una determinada sustancia en un compartimiento es posible caracterizar el riesgo e identificar la probabilidad de que ocurra un efecto dañino. Si la probabilidad es alta, entonces es necesario cuantificar dicho efecto para conocer el daño ambiental que puede llegar a ser generado.

En el caso de los riesgos a la salud, estos pueden ser cancerígenos y no cancerígenos. En el caso de los riesgos no cancerígenos, es posible expresarlos como la relación entre el nivel de exposición estimado y el nivel de exposición para el que no se observan efectos.

Otro aspecto importante en la estimación de los riesgos a la salud, es el factor de pendiente de cáncer. Este factor se define como la pendiente de la región lineal de la función dosis-respuesta, y es el índice de toxicidad que se usa para evaluar riesgos ambientales producidos por cancerígenos. Las unidades son $(\text{mg/Kg}\cdot\text{día})^{-1}$

El factor de pendiente no representa un nivel de exposición invariable, pero permite relacionar la exposición con la probabilidad de sufrir un cáncer [Meneses, 2002].

A partir de las diferentes metodologías utilizadas para la determinación de riesgos, en el actual desarrollo metodológico la estimación de la probabilidad de sufrir un cáncer, se calcula como se presenta en la Ecuación 12.

$$R = \frac{D_t * FP * DE}{TP} \quad (12)$$

Donde:

R= Probabilidad de ocurrencia de cáncer, (adimensional)

D_t= Dosis diaria total, por cada una de las vías de exposición definidas, (mg/kg-día)

FP= Factor de pendiente, $(\text{mg/kg}\cdot\text{día})^{-1}$

DE= Duración de la exposición, (años)

TP= Tiempo promedio de vida, (años)

Por otra parte, los riesgos a la salud no-cancerígenos, se evalúan a partir de la relación de peligro (HR). La forma de calcular esta forma de riesgo a la salud, en la metodología, se describe con la Ecuación 13.

$$RP = \frac{D_t}{DdR} \quad (13)$$

Donde:

RP= Relación de peligro (adimensional)

D_t= Dosis total (mg/kg-día)

DdR= Dosis de referencia para la sustancia en evaluación (mg/kg-día)

Finalmente, para los riesgos ecológicos, la caracterización se realiza con base en la relación entre la concentración de una sustancia y aquella a la que dicha sustancia no causa un efecto nocivo, tal como se muestra en la Ecuación 14.

$$CR = \left[\frac{CAP}{CANE} \right] \quad (14)$$

Donde:

CR= Caracterización del riesgo (adimensional)

CAP= Concentración ambiental predicha (mg/m³)

CANE= Concentración ambiental de no-efecto mg/m³

En el caso de que no contar con información de la CANE, siempre es posible obtener la proporción de peligro, a partir de información referente a los efectos nocivos de las sustancias.

En este sentido, la evaluación del riesgo requiere *la identificación de la zona* que probablemente sería afectada, por lo que dicha evaluación es específica de un lugar y de un momento determinado.

Por otra parte, la determinación de impactos se desarrolla en dos vías: 1) impactos potenciales - los cuales son calculados a partir de las cargas ambientales y factores de caracterización-, que son impactos globales y no dependen de un lugar específico; y 2) los impactos específicos o físicos –aquellos que dependen de lugar donde se evalúan- y que pueden ser cuantificados para las tres áreas de protección definidas.

Existen diversas herramientas informáticas y modelos que pueden ser útiles en la evaluación del riesgo, en los casos de estudios presentados al final de este documento, se evaluarán las ventajas y desventajas para su aplicación en casos prácticos. Particularmente en la evaluación de riesgos, se utilizó CaltoxTM y Euses

Impactos Ambientales.

En el desarrollo metodológico propuesto, se definen dos tipos de impactos ambientales. Por un lado los impactos potenciales, que representan la capacidad que tiene una sustancia de causar un efecto negativo. Por otro lado, los impactos específicos, cuya estimación permite cuantificar cual es el efecto de una sustancia sobre entorno específico.

Impactos potenciales

Los impactos potenciales se calculan a partir de los datos del inventario y considerando las categorías de impacto e indicadores de categorías que hayan sido elegidos en la etapa anterior. Los factores de caracterización, son específicos y deben estar relacionados con cada indicador, de manera que se pueda evaluar la contribución potencial. Las cargas ambientales inventariadas se clasifican bajo diferentes indicadores de impacto. Se relacionan factores de caracterización (ponderación) con cada indicador para evaluar la contribución potencial de cada carga. Estos factores dependen de la base de datos utilizada y multiplicándolos por las cargas ambientales, se obtienen las contribuciones potenciales correspondientes.

En el actual desarrollo metodológico, los impactos potenciales evaluados serán el *consumo de Recursos Naturales (RN)*, *la acidificación*, *la eutrofización*, *la toxicidad humana* y *el efecto invernadero*, así mismo, la evaluación ha sido desarrollada con ayuda de herramientas informáticas de análisis de ciclo de vida (TeamTM, SimaPro®). Estas herramientas permiten analizar los impactos generados por un producto, proceso o actividad industrial durante su ciclo de vida, así como comparar dos productos que tienen materiales y/o procesos diferentes pero que cumplen con la misma función [Herrera, 2003b]. De acuerdo con la metodología, la forma de calcular los impactos potenciales se aprecia en la Ecuación 15.

$$I_p = C * P * F_c \quad (15)$$

Donde:

I_p = impacto potencial (g-eq de sustancia)

C= Carga ambiental (g/kg de producto)

P= Producto total en el tiempo de evaluación (kg)

Fc = Factor de caracterización (g-eq/g)

Los factores de caracterización dependen de la sustancia y de los métodos utilizados para la obtención de los impactos.

Impactos específicos (físicos o cuantificables)

Los impactos específicos referidos a un sitio en concreto, y a una población determinada tales como *casos de hospitalización*, o *pérdida de vida* en el caso de salud humana, y *neutralización de áreas* o *pérdida de rendimiento* en el caso de ecosistemas o recursos naturales. Estos impactos son calculados a partir de las funciones respuesta a la exposición. Así mismo, los efectos específicos o reales, se calculan sobre las tres áreas de protección definidas en la primera parte de la metodología: salud humana, ecosistemas y recursos naturales.

A partir de la determinación de la concentración de sustancias en los diferentes compartimentos, y con base en variables tales como dosis de referencia, concentración de no-efecto, valores umbrales de toxicidad, entre otros, se obtiene el valor de los impactos obtenidos.

La evaluación de impactos físicos y daños ambientales se ha realizado a través de una herramienta informática (Ecosense ©). Dicha herramienta permite evaluar los efectos más importantes de la exposición de sustancias, a través de factores de impacto y daño, para cada categoría identificada en las áreas de protección establecidas.

4.7 ESTIMACIÓN DE DAÑOS

El perfil de daño ambiental puede ser generado a partir del análisis de impactos y riesgos ambientales identificados a lo largo del ciclo de vida de un proceso. A partir de cada impacto físico ó matriz eco-impacto (carga por etapa) se multiplica con las matrices de asignación de daño (factor de daño por contaminante).

Para cada matriz de asignación de daño el resultado puede ser otra matriz o un vector. En el caso de evaluación de impactos globales, es necesario definir el eco-vector [Sonneman, 2000]. La matriz permite comprobar, en que localización un proceso habría causado menos daño.

El perfil de daños podría contener daños potenciales en el caso de accidentes que sean simulados, o de los cuales se tenga un modelo de comportamiento. En principio, dependiendo del esquema intermedio de agregación seleccionado, el perfil de daños se puede diferenciar en daños en áreas de protección. En el caso de salud humana se evalúan en términos de enfermedad y/o mortalidad. La Figura 4.12 presenta los pasos para la obtención del perfil de daño, a partir de la información del inventario y de las matrices de concentración y tecnológica.

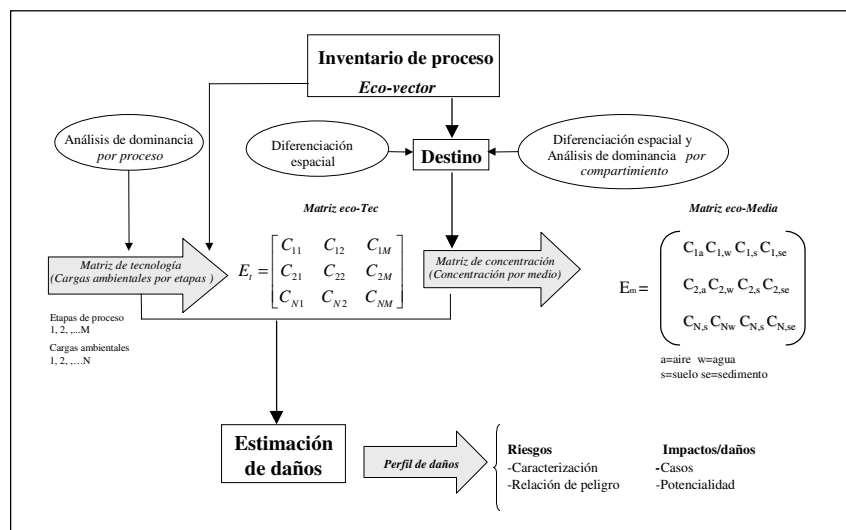


Figura 4.12 Determinación del perfil de daños

La determinación del perfil de daños inicia con el cálculo de las matrices de tecnología y concentración, para estimar los daños a la salud humana, ecosistemas y recursos naturales.

4.8 TOMA DE DECISIONES CON BASE EN CRITERIOS AMBIENTALES

La toma de decisiones es la última etapa de la metodología, en ella se comparan las diferentes alternativas para el proceso en estudio, y consiste en dos pasos: 1) estructuración, y 2) análisis del problema. La Figura 4.13 muestra un diagrama de flujo de esta etapa.

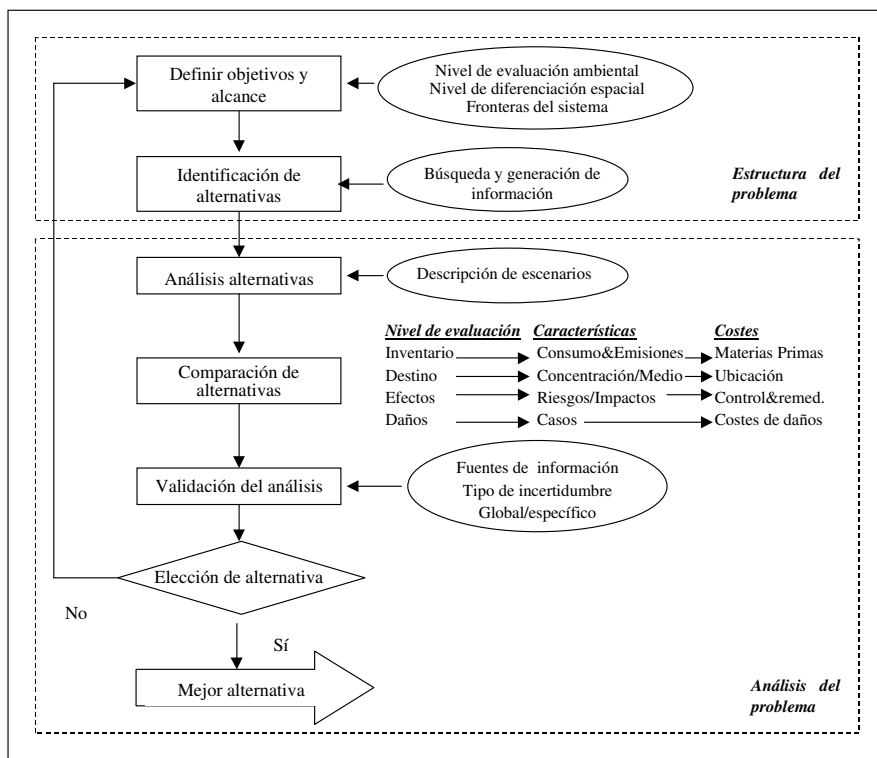


Figura 4.13 Toma de decisiones con criterios ambientales en el análisis de procesos.

De acuerdo con la figura, la toma de decisiones en el análisis de procesos, se basa en el desarrollo de dos etapas. En la primera de ellas, la estructuración del problema, se define tanto los objetivos y alcance del análisis como las alternativas que se pretenden comparar.

En la segunda etapa o análisis del problema, se desarrollan los pasos para describir las alternativas elegidas, comparar en diferentes niveles de evaluación ambiental, y elegir la(s) alternativa(s) que mejor se adecuén(n) a los criterios definidos para la selección.

4.8.1 Definición de objetivos y alcance de la etapa de toma de decisiones

La definición de los objetivos y alcances de la etapa de toma de decisiones, consiste en el planteamiento de las decisiones que se deben tomar, y que nivel de detalle se alcanzará. En este paso se determina el nivel de evaluación ambiental sobre el que se soportan las decisiones tomadas, la diferenciación espacial que se debe tener en cuenta, y las etapas o procesos sobre los cuales se toman las decisiones.

4.8.2 Identificación de las alternativas

Una vez definido el proceso a estudiar, y el nivel de detalle que debe involucrar la toma de decisiones, el siguiente paso es identificar las alternativas que conforman los diferentes escenarios del proceso. Cada alternativa debe ser evaluada bajo los mismos criterios de evaluación y caracterizada de manera que se puedan comparar su desempeño ambiental.

En la identificación y caracterización de las alternativas es necesaria una gran cantidad de información, de manera que sean tenidos en cuenta todos los aspectos. La información requerida en este paso está básicamente relacionada con los aspectos técnicos del proceso.

4.8.3 Análisis de alternativas.

El análisis de alternativas consiste en la descripción de sus características más importantes y la generación de los escenarios para la evaluación ambiental. Con base en los escenarios se hace la comparación en los diferentes niveles de evaluación.

4.8.4 Comparación de las alternativas o escenarios.

Una vez han sido descritas las alternativas propuestas para el proceso en estudio, y generados los escenarios que resumen sus características, el siguiente paso consiste en compararlos.

La comparación de los escenarios se realiza con base en los cuatro niveles de la evaluación ambiental. El primer nivel de comparación es el inventario. Con base en dicho inventario es posible comparar los consumos de materia y energía de cada alternativa y de la misma forma, las sustancias descargadas tanto cualitativa como cuantitativamente. La comparación en este nivel de la evaluación, se realiza a través de los resultados de un balance de materia y energía, de manera que sean evaluados los consumos y descargas, sino también, a

través de balances económicos, de manera que sea visible cual es la alternativa que presenta menores costes de producción.

El segundo nivel de comparación es la evaluación del destino de las sustancias descargadas al ambiente. En este nivel, se pueden evaluar también las características de la región o zona donde son descargadas las sustancias a través de su concentración en los compartimentos de interés. En este nivel, es posible hacer una comparación en términos económicos, evaluando los costes de ubicación de la actividad industrial en zonas donde se produzca un efecto menor.

El tercer nivel de comparación se basa en el análisis de los efectos generados por cada uno de los escenarios, dichos efectos pueden ser descritos en forma de riesgos o impactos. Así mismo, en términos económicos se pueden describir los costes de control de la contaminación (al interior de la planta) o de remediación cuando ya se ha identificado un efecto adverso.

El cuarto y último nivel de comparación, se desarrolla a través de la estimación del daño ambiental causado por los diferentes escenarios de producción. En este caso, la comparación puede ser efectuada a través de la cuantificación de los daños en forma de casos registrados de efectos específicos (enfermedad, incapacidad o muerte, disminución de cosechas, entre otras) para las diferentes áreas de protección. Finalmente, la comparación de los daños puede ser realizada por medio de costes ambientales (costes externos).

4.8.5 Valoración de la incertidumbre

Teniendo en cuenta la cantidad de información necesaria para la caracterización, el análisis y la comparación de los escenarios de evaluación, así como que no siempre dicha información puede ser contrastada con datos reales (puesto que en algunos casos esta información es el resultado de la aplicación de modelos matemáticos), es necesario corroborar los resultados obtenidos con técnicas de validación.

Existen diferentes técnicas de validación de la información. Ellas dependen del tipo de incertidumbre que esté presente, de las fuentes de información con que se cuente y de la diferenciación espacial que se halla especificado [Schuhmacher et al, 2001]

A medida que se avanza en el nivel de comparación, la necesidad de conocer la incertidumbre del análisis es mayor. Es decir, cuando se pretende comparar en el nivel de inventario, donde la información necesaria es básicamente información técnica del proceso, la incertidumbre es muy poca y probablemente no sea necesaria una validación rigurosa.

Por otra parte, en el siguiente nivel de comparación, cuando se trata del destino de las sustancias descargas, es necesaria no solo información de la sustancias descargadas, sino también del entorno donde se efectúa la descarga. En este sentido, la aplicación de modelos de transporte y transformación de sustancias aumentará la incertidumbre de los resultados

obtenidos, por lo que la definición de los criterios espaciales ayudará a disminuir la incertidumbre.

En los siguientes niveles de comparación, la necesidad de validar los datos es mayor. En el caso de los efectos ya sea a través de riesgos o impactos, existe una mayor incertidumbre en la información porque se involucran criterios no sólo referentes a las sustancias y el entorno, sino también, a factores de exposición o categorías de impacto, entre otros.

En el caso de la estimación y cuantificación de daños, es necesaria una mayor rigurosidad en la validación.

4.8.6 Elección de la(s) alternativa(s)

Una vez realizada la comparación de alternativas, el siguiente paso es la elección de la(s) alternativa(s) que se adapte(n) a lo definido en los objetivos y alcances. Si con base en la comparación de los escenarios, no se obtiene una alternativa que cumpla con las especificaciones establecidas, entonces es necesario replantear algunas de las especificaciones de manera que puedan ser establecidas nuevas alternativas e iniciar nuevamente el procedimiento de toma de decisiones.

Si por el contrario, como resultado del procedimiento de toma de decisiones, se encuentra una alternativa que cumple con las especificaciones establecidas, el siguiente paso consistirá en su implementación.

REFERENCIAS

- Aguilera V., Alcantara V. De la economía ambiental a la economía ecológica. Ed. Icara:Fuhem. (1994)
- Beyer A., Mackay D., Matthies M., Wania, F., Webster E. Assessing Long-range Transport Potential of Persistent Organic Pollutants. Environ. Sci. Tech. 34: 699-703 (2000)
- Calamari D. Chemical Exposure Predictions. Lewis Publishers Inc, Chelsea (1993)
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Curso de autoinstrucción en metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/tutorial3/e/index.html> (2003)
- Crettaz P., Pennington D., Brand K., Rhomberg L., Jolliet O. Assessing human health response in life cycle assessment using ED10s and DALYs, Part 1: Cancer effects; Risk Analysis, in press. Coefficients available at <http://gecos.epfl.ch/lcsystems> (2001)
- Di Guardo A. CHEMCAN Program. level III fugacity model of regional fate of chemicals Version 4.95. Disponible en <http://www.trentu.ca/envmodel> (1996)
- Ecobilan. Introduction to Tools Environmental Analysis Management. (1998)
- Economic and social council. ESC-EU An evaluation of the economic impact of ozone pollution on agricultural crop production in Europe. Technical report. (2002)
- Environmental Science Center. ESC. PBT Profiler Methodology. <http://www.pbtprofiler.net/Methodology.asp> (2002)
- European Chemicals Bureau. European Union System for the Evaluation of Substances. EUSES-Program. Version I (1997)
- Goedkoop M., Spriensma R. The Ecoi-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Manual for Designers. Pré Consultants B.V. (2000)

Gómez A. Simulación y Modelización de una Planta de Incineración de Residuos sólidos. Reporte Final, laboratorio de investigación. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Rovira y Virgili. (2001)

Heijungs R., Suh S. The computational structure of life cycle assessment. Kluwer Academic Publishers. 1-4020-0672-1 (2002)

Heijungs R. Economic Drama and the environmental stage. Ph.D Thesis. CML. Leiden University. The Netherlands (1997)

Herrera I., Schuhmacher M., Felix L., Castells F. Application of Tools for Environmental Analysis and Management for the Design and re-design of Processes. 11th Annual Meeting of SETAC-Europe, Madrid, 6 – 10 May (2001)

Herrera I. Integración entre una herramienta ambiental y la simulación de procesos, para su aplicación en el diseño. Memoria proyecto de investigación. Departamento de Ingeniería Química. Universitat Rovira i Virgilil, España. (2001)

Herrera I., Schuhmacher M., Castells F. Comparison of several alternatives to assess fate & exposure as a previous phase in the ecological risk assessment. 13th annual meeting of SETAC-Europe, Hamburg, April 27 – May 1, (2003)

Hertwich E., Hammitt J. A decision-analytic framework for impact assessment Part I: LCA and decision analysis. Int. J. LCA 6 (1) 5 – 12. (2001)

Hofstetter P. Perspectives in life cycle impact assessment. A structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and, valuesphere. Kluwer academic publishers. (1998)

Hughes W. Essentials of environmental toxicology. The effects of environmentally hazardous substances on human health. Ed. Taylor&Francis. (1996)

Jolliet O., Pennington D. TORs of the definition study of the LCIA Programme in the UNPE-SETAC Life Cycle Initiative. EPFL Lausanne, Switzerland (2001)

McKone T., Enoch K. CalTOX™, A Multimedia Total Exposure Model Spreadsheet User's Guide. Version 4.0 (Beta). Disponible en <http://eetd.lbl.gov/ied/era> (2002)

Meneses M. Modelo de evaluación del riesgo sobre la salud. Aplicación a los residentes en las rodalias de la incineradora Montcada y Reixac. Tesis doctoral, Universitat Rovira i Virgili, Spain (2002)

Pänkäläinen P. Environmental Simulation of a MSW Incineration Process with Hyprotech Hysys Plant® v.2.1 Simulation Software. Final Report, laboratorio de investigación. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Rovira y Virgili (2000)

Petzet S., Herrera I., Schuhmacher M. Comparison of the environmental multimedia fate and exposure model Euses and Gis-based chemical exposure tool for down the drain chemical Great_er for rivers. Study work. Technical University Berlin-University Rovira i Virgili, Tarragona, September, (2003)

Potting J., Hauschild M. The structure of life cycle impact assessment, Int. J LCA 4(1), 4-6. (1999)

Prat N. Estado Ecológico de los ecosistemas acuáticos en España. Libro de Ponencias. Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de Aguas. Zaragoza. pp 45-62. (1998)

Seppälä J. Decision analysis as a tool for live cycle impact assessment. LCA documents Vol 4. Ecomed publishers. (1999)

Schuhmacher M., Meneses M., Xifró A., Domingo J.L. The use of Monte-Carlo simulation techniques for risk assessment - Study of a municipal waste incinerator. Chemosphere 43:787-799. (2001)

Sonneman G. Environmental Damage Estimation in Industrial Process Chains. Ph.D Tesis, Universitat Rovira i Virgili, Spain (2002)

United States-Environmental Protection Agency. US-EPA. Generic assessment endpoints for ecological risk assessments U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum EPA/630/P-02/004A, 75 pp. (2002)

US-EPA. Persistent Bioaccumulative Toxic (PBT) Chemicals; Lowering of Reporting Thresholds for Certain PBT Chemicals; Addition of Certain PBT Chemicals; Community Right-to-Know Toxic Chemical Reporting. (<http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-WASTE/1999/October/Day-29/f28169.htm>). (1999)

Webster E., Robson L., Zalewski A. Level III Program. Fugacity-Based Environmental Equilibrium Partitioning Model. VERSION 2.70 (2002)

5. CASOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La metodología desarrollada, se validó a través de la aplicación de los diferentes pasos que la conforman en casos prácticos. Estos casos de aplicación comprenden por una parte las diversas posibilidades del análisis de procesos (simulación, modelado, diseño de nuevos procesos y evaluación y mejora de procesos existentes), y por otra los diferentes niveles de detalle, en los cuales puede ser evaluada la incidencia ambiental de un proceso industrial.

El caso N° 1, correspondiente al proceso de incineración de residuos sólidos urbanos, se refiere a la aplicación de la metodología, hasta la etapa de transferencia de información entre las herramientas de análisis de procesos (modelado y simulado de procesos) y aquellas de evaluación ambiental (análisis de ciclo de vida).

El objetivo en este caso, fue la integración de las variables que conforman el análisis de procesos en la evaluación ambiental hasta el nivel de inventario. En este sentido la información obtenida de los balances de masa y energía, sirvió de base para la elaboración del inventario del ciclo de vida del proceso.

Por su parte, en el caso N° 2 se presentan avances respecto a la aplicación de las etapas propuestas en el desarrollo metodológico. En este caso, además de mejoras en la interfaz de transferencia de información, se desarrolló un análisis del inventario obtenido en dos procesos de separación de sustancias (separación por medio de destilación).

Los procesos desarrollados en este caso de aplicación, se analizaron no sólo desde un punto de vista técnico (relaciones másicas y energéticas de las corrientes involucradas), sino también ambiental (comparación de consumo de materias primas y recursos naturales).

Finalmente, el caso de aplicación N° 3 describe avances significativos de la aplicación de la metodología, puesto que en él, se desarrollan la totalidad de los pasos que la conforman.

En este caso de aplicación, se realiza el perfil ambiental de un proceso de desisopentanización de Naftas, en términos de inventario, destino, efectos y daños para las áreas de protección establecidas como primordiales. Los casos de aplicación mencionados anteriormente, se describen en los apartados 5.1, 5.2, y 5.3 respectivamente.

5.1 PROCESO DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

5.1.1 Resumen

En este caso de aplicación, se desarrolló una formulación preliminar de la metodología desarrollada en el trabajo de investigación. El objetivo principal, fue integrar las herramientas de simulación de procesos con herramientas de análisis ambiental. Para ello, se llevó a cabo, el modelado del proceso de incineración de residuos sólidos urbanos, a partir de datos de la planta incineradora de Tarragona y con la ayuda de la herramienta HysysPlant®, para simulación. En el caso del análisis ambiental, se utilizó la herramienta Team™ para la obtención del balance de cargas ambientales.

La simulación del proceso de incineración, presentó algunas dificultades de índole técnico, puesto que no fue posible simular el comportamiento de los sólidos (metales) que están presentes en las corrientes de este proceso. Sin embargo, la integración de las herramientas de análisis de procesos y ambiental, fue exitosa y los resultados obtenidos fueron el punto de partida para la transferencia de información de la metodología propuesta.

Los aspectos metodológicos desarrollados en este caso de aplicación, así como los principales resultados obtenidos, se describen en los siguientes apartados.

5.1.2 Descripción del proceso de incineración de residuos sólidos municipales.

Se escogió este proceso debido a su importancia ambiental y además porque ha sido objeto tanto de estudios por el grupo de investigación, como por diversos grupos en diferentes partes del mundo [Belevi, 2001; Kremer, 1998; Verhulst, 1996; Fernández, 1992; IDAE, 1992]. Tales estudios, permiten contar con suficiente información para validar los resultados obtenidos por la simulación. El proceso de incineración seguido en la planta de Tarragona desarrolla las siguientes etapas (ver Figura 5.1):

1. Recepción, pesado y descarga.
2. Alimentación de los hornos
3. Incineración y depuración de gases.

Horno de incineración

Sala de control

Lavado de gases

Filtro de mangas

Ventilador de tiro, chimenea y analizador de gases.

4. Producción de energía

Suministro y tratamiento de agua para calderas

Caldera de vapor

Turbina alternador y condensador

Circuito de agua y vapor

Sistema eléctrico

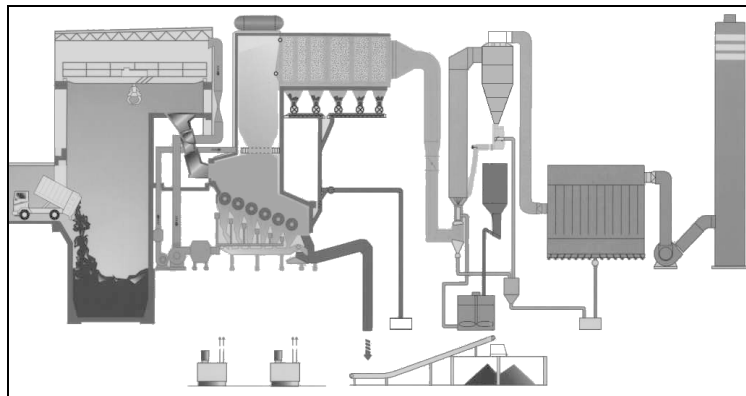


Figura 5.1. Diagrama esquemático de la Planta de incineración de residuos

5.1.3 Simulación del proceso.

A continuación se describen los aspectos más importantes en la etapa de creación del modelo del proceso de incineración. Los aspectos generales sirvieron para identificar el comportamiento de las corrientes y equipos involucrados. Así mismo, los aspectos metodológicos sirvieron como base para obtener diversos modelos, en los cuales se probaron variaciones de equipos y características:

✓ Modelo 1. Proceso de incineración aire/residuo

En este modelo, la simulación se realizó considerando como corrientes de entrada los residuos urbanos y el aire que aporta el oxígeno necesario para la combustión.

✓ Modelo 2. Proceso de incineración aire/residuo y combustible

Este modelo incorpora la adición de combustible (aproximadamente 1% de la masa a incinerar), para iniciar la combustión y hacerla más eficiente.

5.1.3.1 Aspectos Generales de la simulación del proceso.

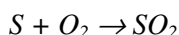
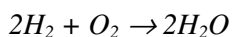
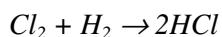
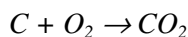
Los aspectos generales de la simulación están relacionados con la definición de las corrientes, las etapas y equipos y la construcción y posterior validación de los modelos. Los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta son:

Corrientes. La descripción de las corrientes y su composición, permite conocer las características de los elementos involucrados. La descripción de las corrientes se basa en los siguientes aspectos:

- Características de los residuos (industrial, mixto, doméstico), y su composición.
- Componentes que pueden ser despreciados por su características.
- Determinación del tratamiento que recibe el residuo teniendo en cuenta si estos son orgánicos o inorgánicos.
- Definición de los tratamientos previos.
- Condiciones del proceso.

Cinética. Dado que se desarrolla una reacción de combustión, es necesario describir su cinética y la información que esto aporta en términos de:

- Definición de las reacciones que se desarrollan.
- Evaluación de la cinética y el mecanismo de reacción.



Termodinámica.

Dado que no existe una única ecuación para describir el comportamiento del equilibrio entre fases para cualquier tipo de mezclas y con cualquier tipo de componentes, hay que recurrir a modelos parciales que sólo pueden aplicarse a clases específicas de mezclas y de componentes. De acuerdo con la librería de la herramienta de simulación, el modelo termodinámico elegido ha sido equilibrio líquido-vapor ideal, calculando las presiones de vapor de los componentes a partir de la conocida ecuación de Antoine

Condiciones de operación.

- Determinación de las condiciones de operación.
- Generación de reacciones secundarias. (formación de contaminantes tales como cenizas y sales metálicas)

La caracterización de la corriente de residuo se basa en los datos de un residuo urbano típico

$$T=298 \text{ K}$$

$$P=100 \text{ kPa}$$

A partir de las reacciones de combustión que tienen lugar en el horno es posible calcular la cantidad de oxígeno necesario para que estas se desarrollen completamente, y consecuentemente la cantidad estequiométrica de aire que es necesario alimentar.

Diagramas de flujo del proceso.

- Definición del diagrama del proceso de la planta a simular.
- Descripción de las especificaciones de los equipos para un correcto dimensionamiento.
- Determinación de las condiciones de operación de cada equipo: temperatura y presión.

Variables. Determinación de las variables fijas y las variables a calcular. Cuales son dependientes y cuales independientes.

Estrategias de control. Planteamiento de las estrategias de control del proceso, a partir del entendimiento del entorno dinámico de la simulación.

5.1.3.2 Aspectos metodológicos de la simulación del proceso de incineración de RSU.

Para desarrollar la simulación, y de acuerdo con la literatura revisada, el proceso de incineración, se definió como tres subsistemas: *combustión* (generación de vapor), *recuperación de energía* (utilización del vapor) y *purificación de gases*. La Figura 5.2 presenta los diferentes subsistema del proceso de incineración.

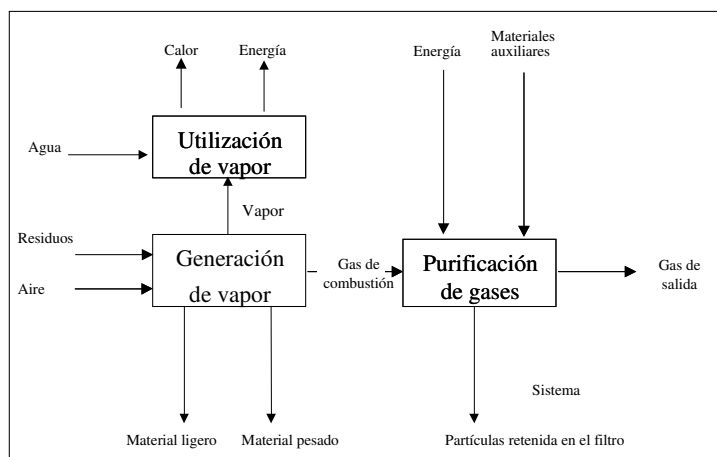


Figura 5.2. Subsistemas del proceso de incineración

Generación de vapor. El subsistema de generación de vapor, consiste en: 1) un reactor de combustión, donde tiene lugar el proceso de combustión a partir de la entrada de residuos, aire, combustible y agua de enfriamiento, 2) un intercambiador de calor, para estabilizar el vapor generado a alta presión, y 3) un precalentador de aire, que acondiciona el aire antes de entrar en el horno. De este subsistema las corrientes de salida son: a) vapor, b) material pesado

(cenizas pesadas y residuos inertes), c) material pesado (cenizas volantes) y, d) gases de combustión, tal como se muestra en el diagrama de la Figura 5.1.

Generación de energía. El subsistema consiste en: 1) una turbina en la que a partir de una expansión del vapor, se obtiene trabajo eléctrico (*poder energético*), 2) un intercambiador de calor en el que se enfría el vapor expandido antes de la entrada al condensador, 3) un condensador en el que tiene lugar el cambio de fase, y 4) finalmente, una bomba que permite mantener el agua a la misma presión del vapor.

Purificación de gases. En general este subsistema cuenta con: 1) un reactor rotativo semiseco que contiene un atomizador de lechada de cal, lo que garantiza el contacto gas-lechada, 2) un sistema de inyección de carbón activo para mejorar la eficacia de eliminación de compuestos orgánicos y metales pesados y, 3) un filtro de mangas que operan al 100% de eficacia con las celdas restantes. El tejido filtrante puede soportar altas temperaturas en funcionamiento continuo.

En el caso actual, sólo se ha considerado en la limpieza de gases el filtro de mangas, puesto que a partir de aquí, la contribución a las cargas ambientales se reduce significativamente. Las corrientes de salida de este subsistema son: a) gas de salida y, b) partículas retenidas en el filtro.

Caracterización de la corriente del residuo. El caudal del residuo alimentado a la incineradora es de 9600 kg/h, lo que corresponde a la capacidad por línea de la planta de incineración. Así mismo, su composición también corresponde a la composición típica⁵. La Figura 5.3, presenta la composición general del residuo urbano recibido en la planta de Tarragona, y el que fue utilizado para la composición de la corriente de entrada en la creación del modelo.

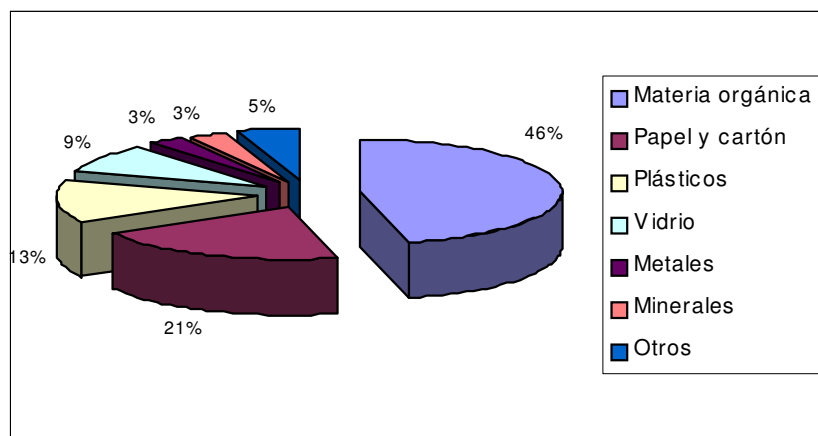


Figura 5.3. Composición del residuo urbano

La corriente de alimentación en la simulación, parte de la composición general del residuo que llega a la planta. La Tabla 5.1 presenta la composición de dicha corriente en fracción másica.

⁵ Datos suministrados por SIRUSA, 1.999.

Tabla 5.1. Composición de la corriente de entrada al reactor de combustión

Componente	Fracción Másica (kg/kg totales)	Componente	Fracción Másica (kg/kg totales)
Cenizas	1.95E-01	F	2.46E-04
H₂O	2.76E-01	H	4.85E-02
Br	2.88E-04	Hg	1.00E-07
C	2.59E-01	N	1.41E-02
Cd	5.20E-06	O	1.90E-01
Cl	1.31E-02	Pb	2.12E-04
Cr	1.27E-04	S	1.93E-03
Cu	6.70E-04	Zn	5.70E-04

Fuente: Kremer T, 1998; Belevi & Moench, 2000

Condiciones de operación. Las condiciones de operación de las diferentes corrientes involucradas en el proceso, se presenta en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Condiciones de operación en la simulación del proceso de incineración.

Propiedad	Corrientes de proceso						
	Residuo	Aire	Material pesado	Material ligero	Gases sucios	Partículas retenidas filtro	Gas de salida
Temperatura (°C)	2.5E+01	1.0E+02	1.8E+02	1.8E+02	2.7E+02	2.7E+02	2.7E+02
Presión (kPa)	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	1.0E+02	9.8E+01	9.8E+01
Flujo molar (kgmol/h)	6.7E+02	1.3E+03	8.8E+00	1.9E-01	1.6E+03	8.1E-01	1.6E+03
Flujo másico (kg/h)	9.6E+03	3.7E+04	1.7E+03	3.8E+01	4.5E+04	1.6E+02	4.5E+04
Flujo de líquido (m³/h)	1.4E+01	4.2E+01	8.6E-01	1.9E+02	5.3E+01	7.7E+02	5.3E+01
Flujo de calor (kJ/h)	-4.3E+07	2.8E+06	1.6E+06	3.5E+04	-1.6E+08	2.3E+05	-1.6E+08

En la tabla 5.2, se describen las propiedades de las corrientes de proceso que corresponden a las corrientes descritas en el diagrama de la Figura 5.2 y que han sido utilizadas para la simulación del proceso que son simuladas. Las variables temperatura, presión y flujo másico, permiten la predicción de variables tales como el flujo de líquido por corriente y su calor específico, el cual en algunos casos puede ser negativo.

5.1.3.3 Resultados de la simulación

Se observó la dificultad de simular el comportamiento de los metales pesados porque no es factible definir sólidos en la herramienta utilizada. Esta dificultad se superó con la utilización de sistemas de separación, aplicando coeficientes de transferencia o arrastre en las corrientes que presentaban sólidos en su composición (lo que implicó forzar la simulación). El modelo fue utilizado para la obtención de datos de proceso, a partir de la información de entrada.

Diagrama de flujo del proceso.

El primer resultado de la simulación es el diagrama de flujo del proceso (PDF) de la planta de incineración, ya que este describe gráficamente el proceso en términos de las corrientes y las etapas que se desarrollan (Figura 5.4).

La totalidad de las corrientes que se evalúan en este trabajo de investigación, se encuentran referenciadas a este diagrama. La información de las corrientes simuladas para el proceso de incineración en términos de su composición y caudal másico, se encuentra registrada en la Tabla 5.3.

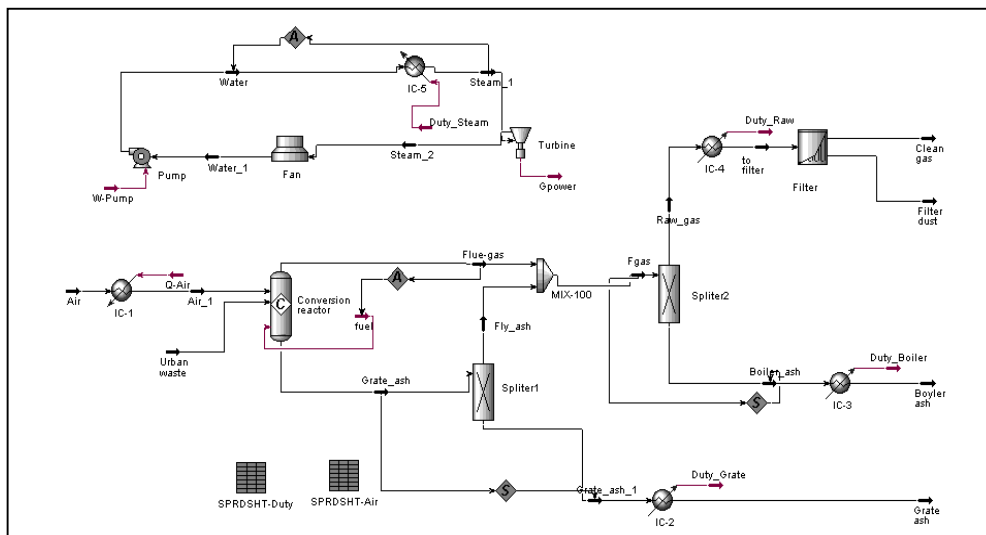


Figura 5.4. Diagrama de Flujo del Proceso de Incineración, simulado en HysysPlant.

Tabla 5.3. Composición y caudal másico de las corrientes del proceso

Componentes	Residuo urbano	Aire	Material pesado	Material ligero	Partículas retenidas filtro	Gas de salida
	(Kg/h)	(Kg/h)	(Kg/h)	(Kg/h)	(Kg/h)	(Kg/h)
Br	2.76E+00	-	-	-	-	2.76E+00
H ₂ O	2.65E+03	-	-	-	-	6.78E+03
C	2.49E+03	-	-	-	-	-
H ₂	4.66E+02	-	-	-	-	-
O ₂	1.82E+03	7.79E+03	-	-	-	2.45E+03
Cl ₂	1.26E+02	-	-	-	-	1.01E+00
S	1.85E+01	-	-	-	-	-
N	1.36E+02	2.93E+04	-	-	-	2.56E+04
HF	-	-	-	-	-	2.47E+00
CO ₂	-	-	-	-	-	9.11E+03
HCl	-	-	-	-	-	1.29E+02
SO ₂	-	-	-	-	-	3.70E+01
Cenizas	1.87E+03		1.69E+03	3.75E+01	1.50E+02	-
Hg	1.00E-03	-	-	4.00E-06	-	9.00E-04
Pb	2.03E+00	-	1.32E+00	1.00E-02	7.00E-01	-
Zn	5.47E+00	-	3.49E+00	8.00E-02	1.91E+00	-
Cd	5.00E-02	-	1.00E-02	-	4.00E-02	-
Cu	6.43E+00	-	6.24E+00	2.00E-02	1.80E-01	-
Cr	1.11E+00	-	1.07E+00	2.00E-02	2.00E-02	-

En la tabla se presenta la composición de las corrientes que forman parte del proceso de incineración, sin embargo, en ella no se referencia la corriente “gas sucio”, puesto que dicha corriente es interna (Sub proceso de purificación de gases), y no tiene incidencia en las posibles cargas generadas por el proceso.

5.1.4. Transferencia de información

La transferencia de información tal como se ha comentado anteriormente, se desarrolló en dos direcciones: desde la herramienta de simulación hacia Excel, y a su vez, de Excel hacia la herramienta de análisis ambiental.

Se definió la estructura de transferencia, de manera que la información generada y necesaria por las herramientas estuviese en la misma interfaz. A continuación, se describen los elementos más importantes de la transferencia de información, y los aspectos tenidos en cuenta para su desarrollo.

5.1.4.1 Importación y exportación de datos entre Excel y Hysys Plant®.

El procedimiento de importación/exportación consiste en capturar los datos de la simulación realizada en Hysys Plant® y exportarlos a una hoja de Excel donde se representan las diferentes salidas en las etapas del proceso simulado. En este estado de la transferencia, se pueden hacer cambios en la hoja de Excel en aspectos tales como composición y/o condiciones de operación, y a través de la opción “volcado a Hysys” simular otra vez el proceso con las nuevas condiciones de operación. [Herrera et al, 2002a].

La Figura 5.5, representa la transferencia de información entre la simulación y la hoja de cálculo. Posteriormente, la Figura 5.5 presenta la interfaz desarrollada para este caso.

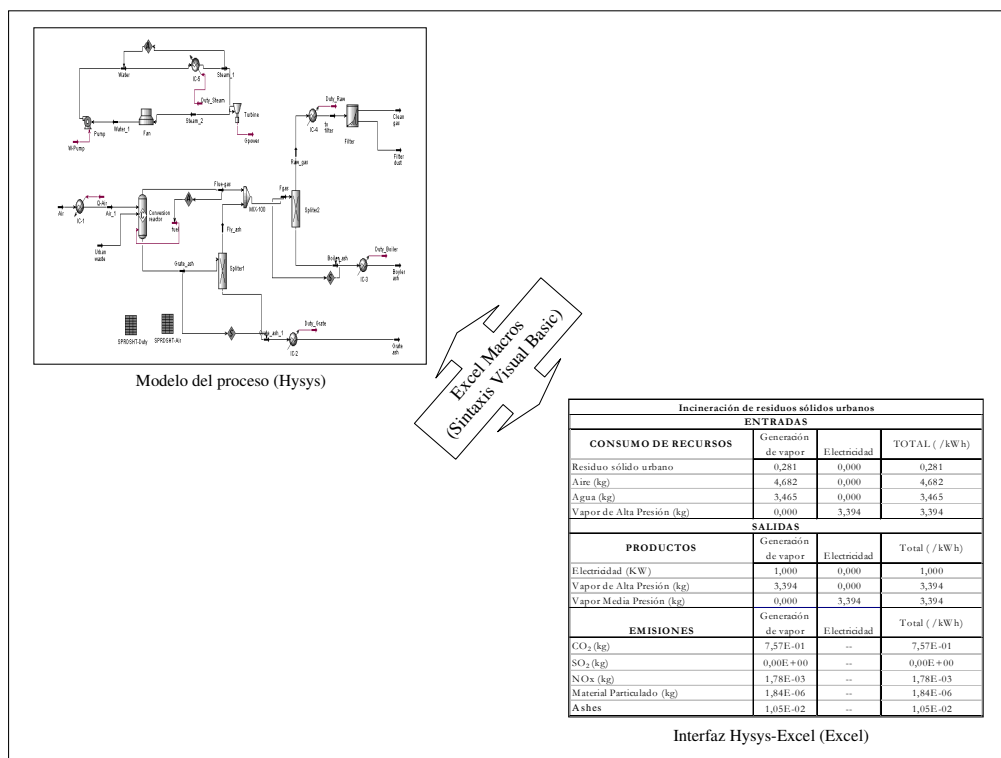


Figura 5.5. Diagrama esquemático de la transferencia de información Hysys-Excel

5.1.4.2 Estructura de la interconexión Excel - TEAM™.

Se definió la estructura de interconexión entre Team y Excel, de manera que la información de TEAM™, estuviese en la misma interfaz con la información de la herramienta de simulación:

- ✓ Creación de una hoja de cálculo para los módulos que configuran el proceso. Estas hojas de Excel están vinculadas al archivo de Excel creado por la macro, de esta manera si se realiza algún cambio en la simulación se modifica automáticamente. Importación del archivo TEAM, función “*Read Excel Modules*”, o con la función “*Update Excel Module*”, cuando el módulo ya está creado y sólo se pretende actualizar los valores.
- ✓ Ecobalances correspondientes. El resultado de estos ecobalances se exporta a partir de la función “*Export*” como archivo de Excel.

El procedimiento descrito anteriormente se presenta gráficamente en la Figura 5.6.

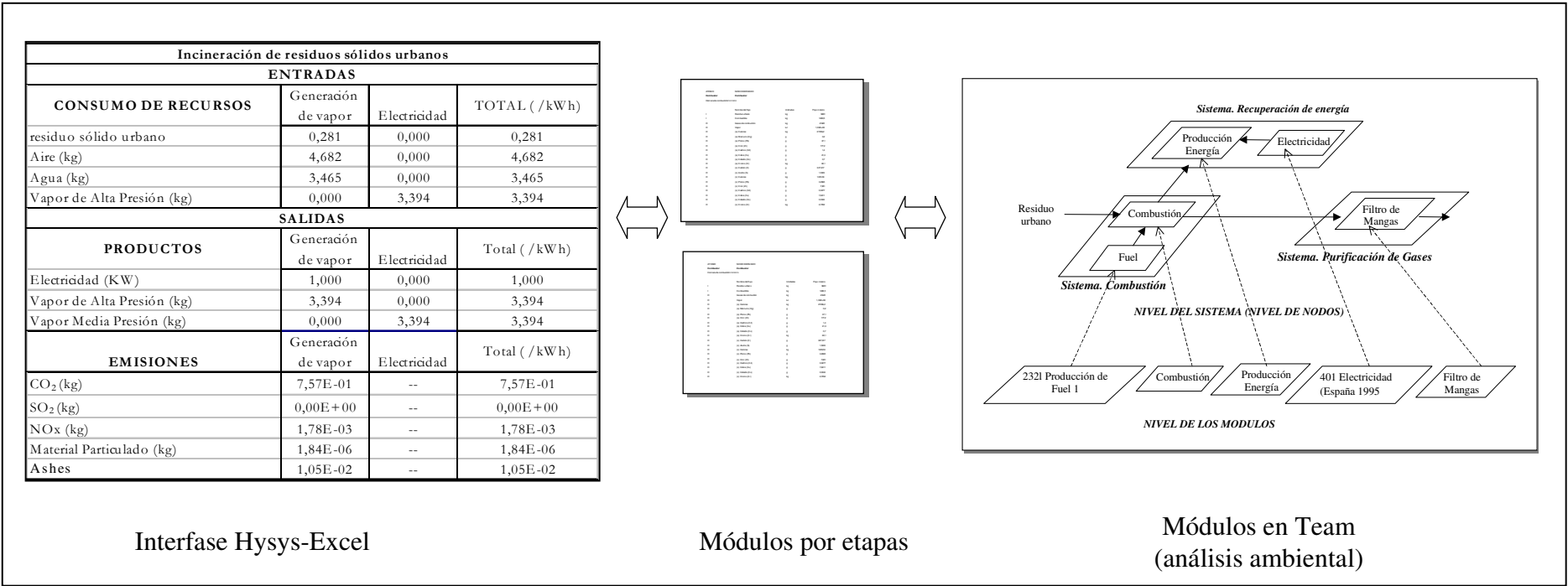


Figura 5.6. Estructura interconexión Excel - TEAM™.

Resultados de la interconexión.

Como resultado de la interconexión se obtuvo la interfaz en Excel, a través de la cual se obtuvo la información del proceso, necesaria para el análisis ambiental. La interfaz de transferencia se presenta en la Figura 5.7.

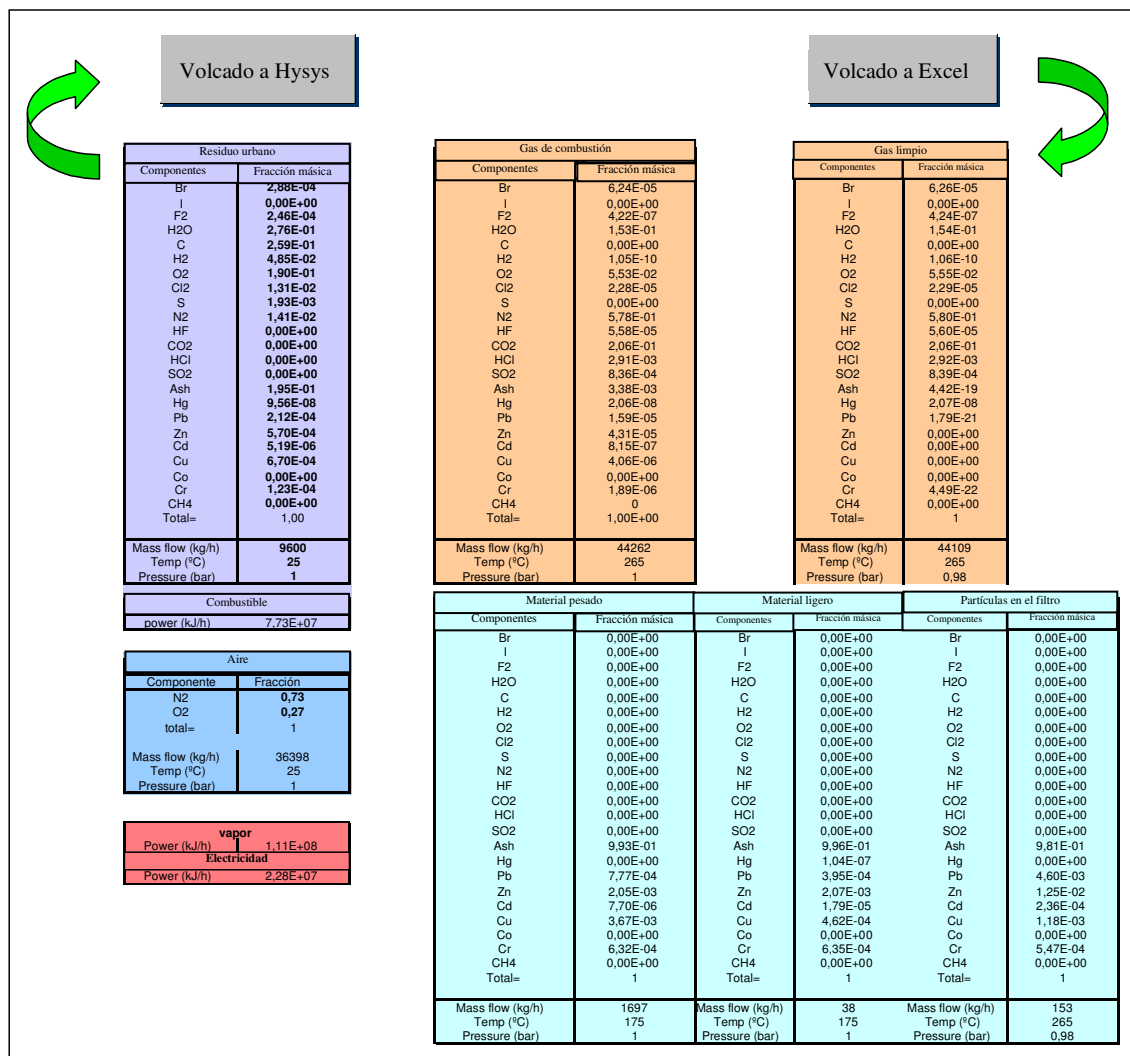


Figura 5.7. Interfaz de transferencia proceso incineración de residuos.

La interfaz de transferencia, es la herramienta que permite realizar cambios en las características del proceso, y evaluar en tiempo real su incidencia en el análisis ambiental. El procedimiento inicia con la obtención de los resultados de la simulación, los cuales son enviados a la hoja de cálculo a través de la opción “volcado a Excel”. Una vez los datos se encuentran en la hoja de cálculo, estos pueden ser analizados allí mismo, o transferidos a una hoja diferente, donde pueden ser modificados.

Una vez la información ha sido analizada, los datos técnicos pueden ser cambiados y enviados nuevamente al simulador por medio de la opción “Volcado a Hysys”, donde inicia nuevamente

el ciclo de obtención de los resultados de la nueva simulación, para su validación desde el punto de vista técnico.

5.1.5. Análisis ambiental del proceso de incineración.

A continuación se presenta la metodología seguida para la aplicación de la herramienta de análisis ambiental en dicho proceso. El desarrollo metodológico se basó en la definición del sistema y la descripción de entradas y salidas.

5.1.5.1 Definición del sistema.

Para analizar el proceso de incineración con la herramienta TEAM™, se dividió el proceso de incineración en tres subsistemas (de la misma forma que en la simulación) y se creó un sistema para cada una de éstas.

La combustión ó generación de vapor (sistema 1), recuperación de energía ó utilización del vapor (sistema 2) y limpieza de gases (sistema 3). Cada sistema, contiene en forma de nodos los distintos equipos o etapas que constituyen el proceso de incineración.

Combustión. En esta etapa, se incluyeron el horno o cámara de combustión, con el nombre de módulo “combustor”; además del fuel-oil necesario para calentar la cámara antes de que se produzca la incineración.

Recuperación de energía. Este bloque corresponde al ciclo de producción de energía eléctrica a partir del vapor aprovechado del calor que se desprende durante el proceso de incineración. Todo el ciclo esta contenido en el módulo “Producción Energía”, importado desde las hojas de Excel. Además en este bloque se ha tenido en cuenta la energía eléctrica que consume la bomba que forma parte del ciclo.

Purificación de gases. Este bloque corresponde al sistema de limpieza de gases, y consta de un sistema conformado por el nodo creado “filtro de mangas”. La información de este sistema, se obtiene partir de una hoja de Excel.

En la Figura 5.8, se puede observar el diagrama que representa el sistema creado en TEAM™, con los diferentes nodos y flujos.

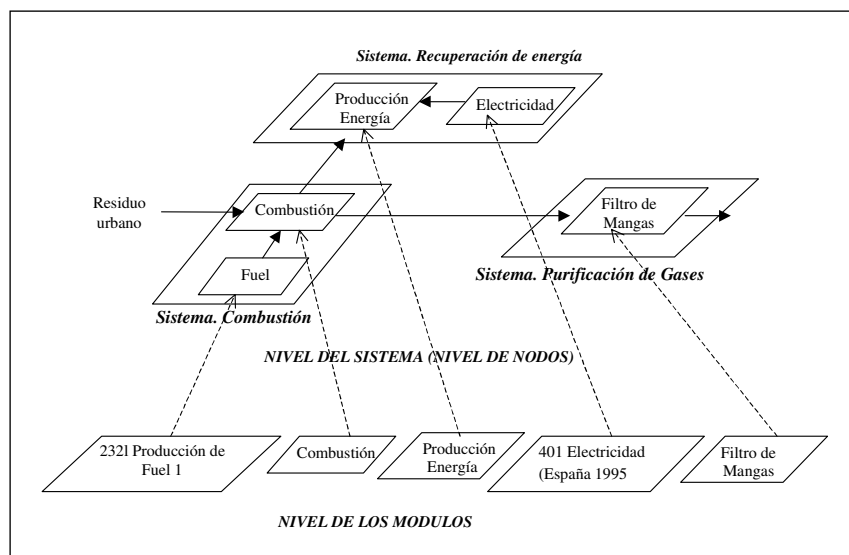


Figura 5.8. Módulos del proceso de incineración para el sistema creado en TEAM™.

5.1.5.2 Descripción de entradas y salidas al proceso.

Al igual que en la simulación del proceso de incineración con Hysys Plant®, en el análisis ambiental, es necesario partir de la composición de entrada del residuo a incinerar, para lo cual se tomó la composición usada en la simulación.

La información de entradas y salidas de los módulos que en TEAM™ representan las etapas del proceso, fue importada desde una hoja de Excel donde se encontraban los datos que había arrojado la simulación. Este procedimiento, se realizó a través de la función “Read Excel Modules”. Por su parte, la actualización de la información en los módulos de TEAM™, se realizó con la función “Update Text Modules”.

Como se describió en el apartado de definición del sistema, la aplicación de TEAM™ en el proceso de incineración consta de un sistema para cada uno de las etapas del proceso en estudio (Generación de vapor, utilización del vapor y lavado de gases). Cada sistema contiene en forma de nodos derivados los diferentes equipos o procesos de la simulación con Hysys Plant®.

Módulos del análisis ambiental. Cada una de las etapas en el proceso de incineración cuenta con un módulo creado en Excel. La información del módulo es obtenida de la simulación. Cada uno de estas hojas de Excel contiene los flujos de entrada y de salida de cada módulo y su valor correspondiente.

Una vez creadas las hojas en Excel se guardan como ficheros de texto y se importan. Para importar estos módulos se utiliza la función “Read Excel Modules”. La Figura 5.9 presenta

a modo de ejemplo, el módulo creado para el combustor, dentro del sub- sistema generación de vapor.

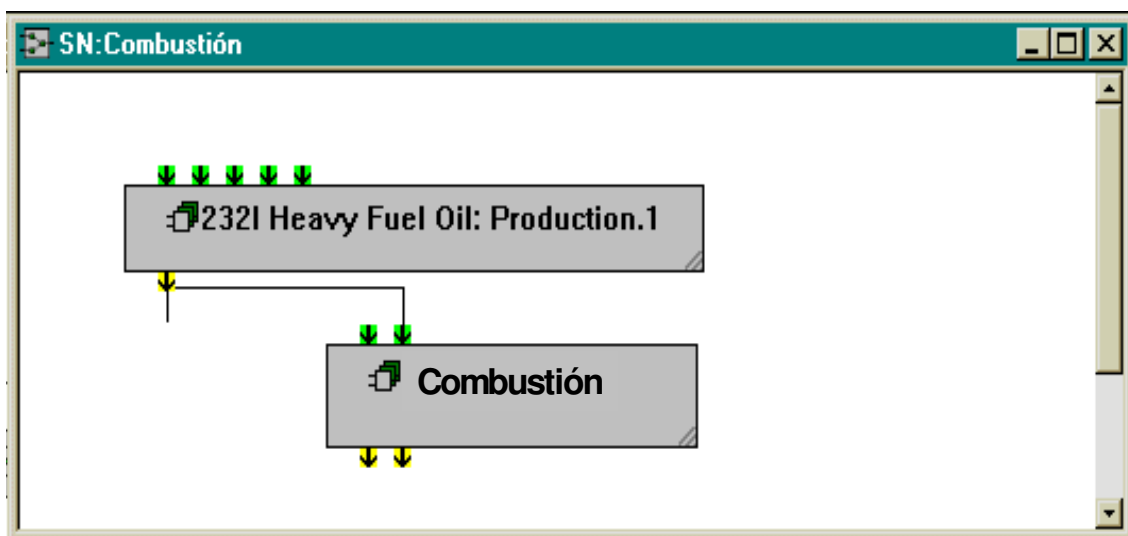


Figura 5.9. Módulo Combustor creado con el software Team™

Sistema creado en TEAM™. El sistema creado en la herramienta de análisis ambiental, se basa en los tres subsistemas simulados, es decir, *combustión, recuperación de energía y purificación de gases*. El sistema general, se muestra en la Figura 5.10.

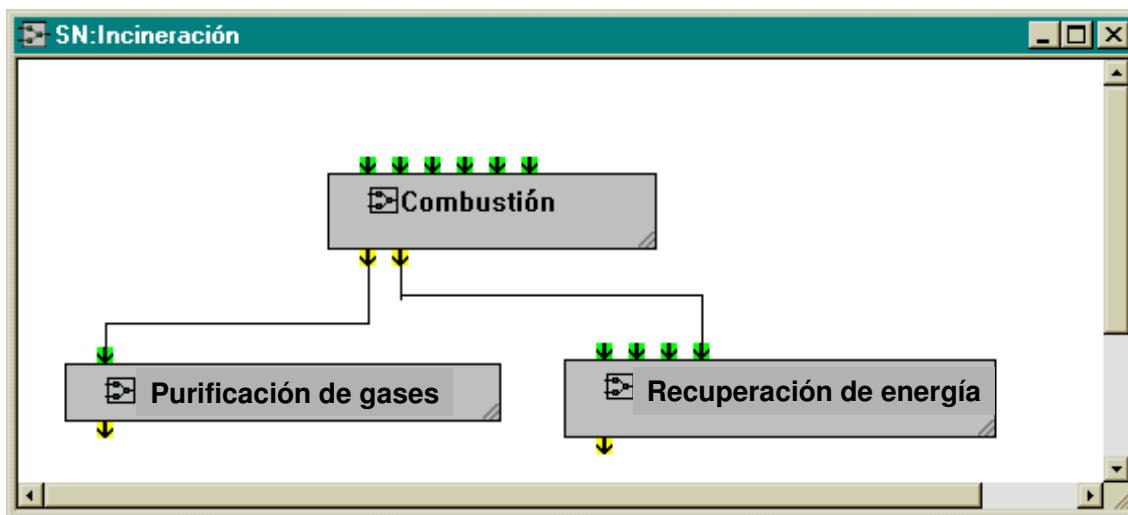


Figura 5.10. Sistema del proceso de incineración con la herramienta TEAM™.

Así mismo, se crearon tres subsistemas que contienen los nodos y sus respectivas conexiones. Estos nodos se presentan a continuación.

Nodos y conexión entre los subsistemas. Los nodos correspondientes al combustor, al filtro y a la producción de energía se han creado como nodos derivados, importados a TEAM™.

Los nodos correspondientes a la producción de combustible y electricidad -que son necesarios para el funcionamiento de los sub-sistemas combustión y recuperación de energía respectivamente-, fueron creados a partir de módulos existentes en la herramienta. En este caso, los módulos ya existían en la base de datos de TEAM™.

Una vez creados todos los nodos, se procede a la conexión entre ellos a partir de los flujos de entrada y de salida. Después de la conexión, se realizó la compilación para cada uno de los subsistemas.

5.1.5.3 Balance de cargas ambientales producidas por el proceso de incineración (Eco-balance)

Una vez insertados los datos en el sistema creado para el proceso de incineración, se ha realizado un ecobalance ó cálculo del total de las cargas ambientales del proceso.

La unidad funcional para la realización del balance de cargas, puede ser tanto el residuo de entrada como la energía generada, en este caso particular, se han realizado balances tomando como unidad funcional inicial 1000 MJ de “poder energético”, que equivale a 9600 kg de residuo. Resultados del balance de cargas obtenido, se presenta en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Balance de cargas ambientales del proceso de incineración

Artículo	Unidad*	Cargas ambientales por etapa de proceso			Carga total
		Combustión	Purificación de gases	Generación de energía	Incineración
(r) Bario (Sulfatos)	kg	5,23E-02	-	6,20E-04	5,29E-02
(r) Gas Natural	kg	5,15E+01	-	5,93E-01	5,21E+05
(r) Zinc	kg	3,72E-07	-	4,41E-09	3,76E-07
Electricidad	MJ	2,41E+02	-	-	2,41E+02
Residuos	kg	9,60E+00	-	-	9,60E+00
Agua (total)	L	5,72E+03	-	7,17E+01	5,79E+03
Energía generada	MJ	-	-	1,00E+03	1,00E+03
(a) Acetaldehído	kg	1,12E-06	--	8,19E-06	9,31E-06
(a) Arsenico	kg	3,33E-05	--	5,13E-06	3,84E-05
(a) Cenizas (volátiles)	kg	1,04E-02	--	3,96E-04	1,08E+02
(a) Benceno	kg	1,04E-02	--	3,96E-04	1,08E+02
(a) Cadmio	kg	7,83E-04	--	2,23E-06	7,85E-04
(a) Calcio	kg	2,99E-04	--	2,26E-03	2,56E-03
(a) Dióxido de carbono	kg	4,03E+02	--	2,80E+01	4,31E+02
(a) Monóxido de carbono	kg	2,25E-01	--	2,28E-01	4,53E-01
(a) Tetracl de carbono	kg	1,24E-08	--	1,47E-10	1,25E-08
(a) Cromo	kg	2,00E-02	-	-	2,00E-02
(a) Cobalto	kg	8,31E-05	--	5,48E-06	8,86E-05
(a) Cobre	kg	1,82E-02	--	7,92E-06	1,82E-02
(a) Mercurio	kg	8,54E-06	--	5,93E-07	9,13E-06
(a) NOx	kg	1,11E-04	--	5,71E-06	1,16E-04
(a) Óxidos de Sulfuro	kg	2,77E+00	--	1,60E-01	2,93E+00
(s) Cenizas (sólidas)	kg	1,76E+03	1,41E+02	--	1,90E+03
(s) Cadmio	kg	1,36E-02	3,39E-02	1,43E-12	4,76E-02
(s) Calcio	kg	2,67E-03	--	3,16E-05	2,70E-03
(s) Cobre	kg	6,50E+00	1,69E-01	7,26E-12	6,67E+00
(s) Lead	kg	1,37E+00	6,60E-01	3,32E-11	2,03E+00
(w) Arsenico	kg	5,76E-05	--	3,05E-07	5,79E-05
(w) DBO5	kg	3,14E-03	--	5,25E-06	3,14E-03
(w) Cadmio	kg	4,73E-05	--	9,64E-08	4,74E-05
(w) DQO	kg	5,99E-02	--	8,44E-05	6,00E-02

a:aire, s:suelo, w: agua, r: residuos

* Unidades referidas a la unidad funcional (1000 MJ)

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 5.4, los recursos naturales consumidos en mayor proporción, son agua y gas natural en este orden. En términos de las emisiones, las cenizas (sólidas y volátiles) conforman la carga ambiental mayoritariamente identificada. A

continuación, en la discusión de los resultados del caso de aplicación, se considerará más ampliamente, esta información.

5.1.6. Discusión de los resultados

La discusión de los resultados obtenidos en el primer caso de aplicación, se orientará en tres áreas específicas. Inicialmente se discutirán los resultados de la simulación en término de los aspectos técnicos del proceso. La segunda parte de la discusión se centrará en la transferencia de información, para finalmente repasar los resultados obtenidos en el análisis ambiental del proceso estudiado.

5.1.6.1 Resultados de la simulación del proceso de incineración

Desde el punto de vista de la simulación, ha sido posible modelizar un proceso de mucho interés desde el punto de vista técnico, puesto que la incineración de residuos, es una práctica cada vez más utilizada no sólo en el ámbito urbano, sino también industrial. En este sentido, la posibilidad de contar con una herramienta que permita evaluar diferentes características de este proceso, ayudará a la elección de mejores alternativas de incineración.

Ahora bien, el hecho de utilizar coeficientes de transferencia en la simulación, implica que los modelos obtenidos no representan el comportamiento exacto del proceso desde el punto de vista fisicoquímico y termodinámico, puesto que la respuesta del sistema no depende de las relaciones entre sus variables. No obstante, esta opción permite obtener información muy útil en la posterior evaluación ambiental del proceso, que finalmente era el objetivo más relevante de este caso de estudio.

Un aspecto específico de la simulación, el cual es muy importante en el desarrollo de futuras mejoras a la simulación del proceso, es que la operación de incineración contenida en la herramienta de simulación utilizada, no se ejecuta, por lo tanto, se ha asimilado dicha operación unitaria a un reactor de conversión.

Así mismo, en lo concerniente a la simulación del proceso, la herramienta utilizada no permite desarrollar el entorno dinámico debido a la existencia de componentes en estado sólido. Este hecho significó la imposibilidad de realizar el control del proceso. Sin embargo, es necesario aclarar que dicha actividad no formaba parte de los objetivos buscados en este caso de aplicación.

5.1.6.2 Integración de las herramientas (transferencia)

En términos generales, la integración de las herramientas se basa en la posibilidad de transferir información del proceso entre ellas. En este caso específico, se transfirió a TEAMTM información generada en la simulación con Hysys Plant® del proceso de incineración, consiguiéndose así, el objetivo principal del caso en estudio.

Por otra parte, la posibilidad de evaluar cambios en las características técnicas del proceso – corrientes o condiciones de operación-, en tiempo real, no sólo en la herramienta de simulación, sino también, en el análisis ambiental, abre nuevas posibilidades de integrar las variables ambientales en el análisis de procesos, de manera que se tengan en cuenta, las posibles cargas ambientales de un proceso, aún cuando este se encuentre en fase de desarrollo.

5.1.6.3 Resultados del análisis ambiental del proceso de incineración.

Desde el punto de vista del análisis ambiental del proceso, es posible orientar la discusión en dos vías, por un lado con la actual aplicación, se ha confirmado cual es la etapa más significativa en términos de cargas ambientales (de acuerdo con la Tabla 5.4 es la combustión), y por otro lado, es posible plantear mejoras en el proceso simulado a partir de cambios en las características del proceso -condiciones de operación, flujos de materia y composición de las corrientes-.

En términos generales, el proceso obtención de energía a partir de incineración de residuos sólidos urbanos, presenta menores consumos de combustibles fósiles, comparado con los procesos normales de generación energética, debido a la importante disminución en el uso de combustibles al utilizar los residuos como fuente energética.

Por otra parte y también con base en el eco-balance, se observa que existe una alta generación de cenizas (aproximadamente 2100kg / MJ producido), las cuales llegan a ser la carga ambiental mayoritariamente presente, y que son atribuibles a la mayor proporción de sólidos en el material utilizado como combustible.

En términos de las etapas del proceso de incineración, la etapa de combustión es la que presenta una mayor generación de cenizas, de igual forma, es en esta etapa, donde se observa la generación de óxidos de diferentes sustancias. Los óxidos de carbono, se encuentran en mayor proporción (431kg/ MJ producido), comparados con los óxidos de Azufre (3kg/ MJ producido) y los de Nitrógeno que podrían llegar a ser despreciables, comparados con otros procesos de combustión.

Lo relativo a los metales pesados ha sido discutido ya en la parte inicial de este apartado, y desde el punto de vista del análisis ambiental, sólo es preciso aclarar que se mantienen en concordancia con los coeficientes de transferencia aplicados en la creación del modelo.

Con base en lo anterior, es posible simular nuevamente el proceso donde dichos cambios repercuten en diferentes áreas tales como cambios en equipos, composición de los residuos y relaciones alimento/aire, de manera que se disminuyan las cargas ambientales del proceso.

5.2 SISTEMAS DE SEPARACIÓN (PROPANO-ISOPROPANO; ETANOL-AGUA)

5.2.1 Resumen del caso de aplicación.

En este ejemplo se describe la aplicación de la metodología de integración de análisis ambiental y de procesos, en sistemas de separación por destilación. La metodología, se aplicó a dos mezclas frecuentemente encontradas en la industria de procesos: 1) proceso hipotético de separación de Propano y Propileno, proveniente de una corriente de la refinación de petróleo, y 2) proceso real de destilación de Alcohol (mezcla Etanol-Agua), realizado en una planta del laboratorio de procesos de fabricación del departamento de Ingeniería Química de la Universitat Rovira i Virgili.

Con esta aplicación, el objetivo fue analizar desde el punto de vista técnico y ambiental, el sistema de separación por destilación, y plantear mejoras a través de alternativas viables. A su vez, el alcance de la aplicación, se centró en la obtención de las cargas ambientales y su comparación para las alternativas o variaciones en el proceso evaluado.

Los principales resultados de esta aplicación van desde mejoras en la transferencia de información entre herramientas de análisis de procesos y evaluación ambiental (interfaz desarrollada con el caso de incineración), hasta el desarrollo de técnicas de evaluación y comparación de los procesos en estudio.

En términos de la transferencia, un resultado palpable es la **interfaz completa de transferencia**, la cual presenta mejoras significativas con respecto a la presentada en el proceso de incineración-y que permite obtener una **memoria de cálculo** completa de cada uno de los procesos analizados.

Por otra parte, las comparaciones entre alternativas diferentes de proceso, se presentan en forma gráfica, para facilitar su interpretación.

En el caso de la mezcla Propano-Isopropano, toda la información fue tomada de la literatura, por lo que no fue posible validar los resultados obtenidos. Por el contrario, la separación de la mezcla Etanol-Agua, correspondió al proceso real desarrollado en el equipo de destilación (o planta piloto) del laboratorio de procesos de fabricación, y los datos técnicos obtenidos por la simulación, fueron validados con datos reales.

5.2.2. Desarrollo metodológico

Para la aplicación de la integración del análisis de procesos y la evaluación ambiental en el caso actual, se desarrollaron cuatro fases de la metodología propuesta por Herrera & Kulay [Herrera et al 2002b). Esta metodología se basa en el desarrollo de cinco etapas, tal como se presenta en la Figura 5.11.

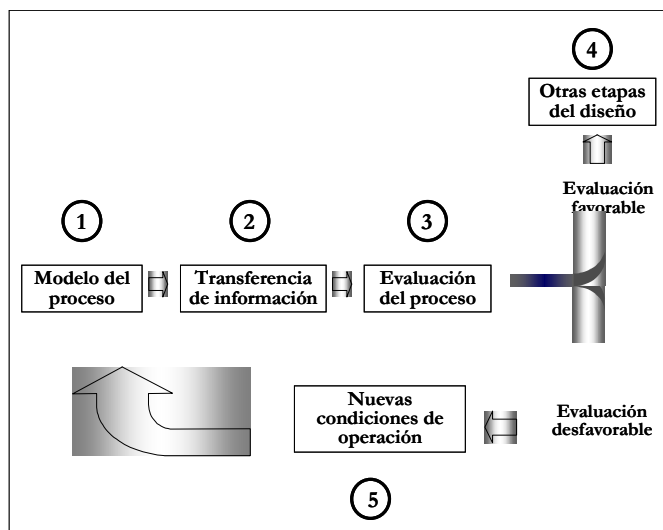


Figura 5.11. Metodología para la evaluación ambiental en el análisis de procesos

5.2.2.1 Generación del modelo del proceso (Simulación)

La simulación es el primer paso del desarrollo metodológico seguido, el objetivo de esta fase es generar un modelo del proceso, de manera que se obtenga información técnica de las diferentes corrientes y etapas.

5.2.2.2 Transferencia de información

La transferencia de información permite utilizar de forma ágil y recíproca la información del proceso evaluado generada con la herramienta de simulación. La interfaz es una herramienta de transferencia de información útil que permite comparar en tiempo real variaciones en las condiciones de operación y a partir de ellas, evaluar su incidencia ambiental.

5.2.2.3 Evaluación del sistema en estudio (viabilidad técnica y ambiental).

El último paso del actual desarrollo metodológico consiste en la evaluación de la viabilidad técnica y ambiental del proceso. En esta fase de la metodología, se compara no sólo los aspectos técnicos más relevantes del proceso, sino también su incidencia ambiental. Con base en dicha información, es posible determinar nuevas condiciones de operación que permitan obtener configuraciones de los procesos (escenarios), viables desde un punto de vista técnico y ambiental.

5.2.3. Resultados de la aplicación de la metodología de integración en sistemas de separación.

Los resultados de este caso de aplicación corresponden a la metodología seguida. Inicialmente se presenta una descripción del sistema de separación. El siguiente apartado consiste en la descripción de la información necesaria para la creación de los modelos. Con base en esta información, se genera la interfaz de transferencia, con la que se obtiene la memoria de cálculo. Finalmente, se presenta la evaluación técnica y ambiental con base en nuevos escenarios o alternativas al proceso original.

5.2.3.1 Descripción del sistema de separación y construcción de modelos.

El sistema de separación objeto de este caso de aplicación se simplificó suponiendo tres etapas de proceso: 1) generación de mezcla, 2) destilación y 3) generación de energía, tal como se muestra en la Figura 5.12.

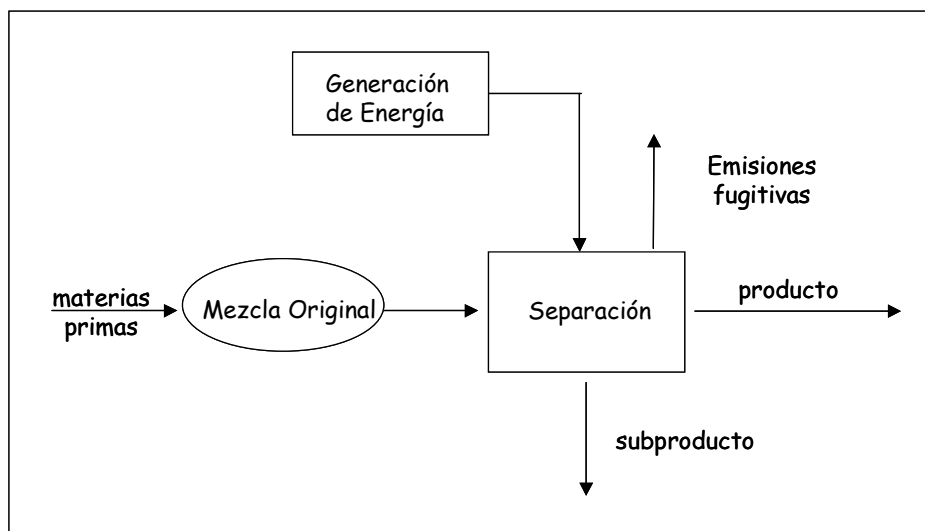


Figura 5.12. Simplificación del proceso de separación para su análisis.

La generación de la mezcla representa los procesos desarrollados para la obtención de la corriente de entrada al sistema de separación. De acuerdo con la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, esta etapa puede ser considerada parte del proceso dependiendo de la ubicación

de las barreras del sistema. La etapa siguiente, separación por destilación, consiste en la obtención del producto y es en esta etapa donde se presentan los mayores requerimientos de agua y energía del sistema. La última etapa considerada en el análisis, es la generación energética, etapa que consiste en la obtención de la energía necesaria (calor y electricidad) para llevar a cabo la separación.

Simulación del proceso de separación.

Los aspectos que se mencionan a continuación, han sido tenidos en cuenta para la obtención del modelo a través de la simulación.

- ✓ La columna de destilación dispone de una serie de platos teóricos, con un único punto de alimentación. Todos los equipos se prueban a diferentes condiciones de operación.
- ✓ Se han fijados diferentes fracciones másicas, las cuales a su vez fueron probadas para las diferentes condiciones de operación.
- ✓ Se probaron diversos sistemas de condensación, desde un condensador convencional hasta un conjunto compuesto por un intercambiador de calor (E) y un separador líquido-vapor (S).
- ✓ Los sistemas de intercambio de calor (E) se componen de una unidad del tipo tubo-carcasa, que operan con agua o aire entre 25 y 30°C como agentes de condensación.
- ✓ Las variaciones de temperatura se han establecido con base en las condiciones climáticas de la zona donde se desarrolla el estudio (Tarragona).
- ✓ El sistema se completa con separadores de gases (TEE) cuya función es la de representar emisiones fugitivas y pérdidas residuales que no se pueden medir durante el proceso.
- ✓ La solución líquida separada de la mezcla original, es enviada por diferencia de presión a tanques de almacenamiento (V), desde donde pueden ser enviadas a diferentes zonas del sistema, todo esto con ayuda de energía eléctrica.
- ✓ El agua usada en la condensación, originariamente almacenada a presión atmosférica en el tanque, es transferida por la bomba eléctrica a las diferentes unidades.

A continuación se describen los sistemas de separación que han sido analizados. Esta descripción, se realiza en términos de sus características técnicas, y las variables de operación tenidas en cuenta para la creación de los modelos. Inicialmente se describe el proceso Propano-Iso-propano, y finalmente el de la mezcla Etanol-Agua

Separación Propano-Propileno.

Este proceso corresponde a la producción de propileno líquido a partir de intermediarios del refinamiento del petróleo. Se tomó como referencia una mezcla C_3H_6 - C_3H_8 cuyas variables de proceso - presión, temperatura, flujo y composición - se obtuvieron de información consultada

en diversas fuentes bibliográficas. La Tabla 5.5, resume los principales datos técnicos utilizados para la creación del modelo.

Tabla 5.5. Condiciones de operación del proceso de separación de Propileno.

<i>Propiedad</i>	<i>Corrientes de proceso</i>			
	<i>Alimento</i>	<i>Propileno líquido</i>	<i>Propileno vapor</i>	<i>Propano</i>
Temperatura (°C)	3.94E+01	3.64E+01	3.64E+01	4.95E+01
Presión (kPa)	5.00E+03	1.50E+03	1.50E+03	6.00E+03
Flujo másico (kg/h)	5.83E+04	1.51E+04	7.39E+03	3.85E+05
Flujo de líquido (m ³ /h)	1.14E+02	2.91E+01	1.42E+01	7.42E+02

El proceso original que fue simulado, se ha considerado como una etapa más de una refinería de petróleo, por lo tanto, los requerimientos energéticos son provistos por el mismo complejo (vapor y electricidad en refinería). Esta alternativa fue comparada con otras de generación de energía.

Separación Etanol-Agua

El sistema consiste en un dispositivo de destilación (columna empacada) completamente automatizado. Donde la preparación de la solución del alimento, salidas de producto y subproductos funcionan en continuo. Las variables de proceso de la mezcla de referencia *Etanol-agua* se establecieron a través de pruebas de laboratorio.

Tabla 5.6. Condiciones de operación del proceso de separación de Etanol.

<i>Propiedad</i>	<i>Corrientes de proceso</i>				
	<i>Solución 1</i>	<i>Solución 2</i>	<i>Solución 3</i>	<i>alimento</i>	<i>Etanol</i>
Temperatura (°C)	2.00E+01	2.00E+01	2.00E+01	5.50E+01	7.88E+01
Presión (kPa)	1.01E+02	1.50E+03	1.01E+02	1.50E+03	6.00E+03
Flujo másico (kg/h)	2.00E+02	1.51E+04	7.39E+03	7.39E+03	3.85E+05
Flujo de líquido (m ³ /h)	2.06E-01	2.91E+01	1.42E+01	1.42E+01	7.42E+02

El análisis del proceso de obtención de Etanol, se basa en el estudio de tres escenarios de producción de energía, de manera que se elija la alternativa o escenario que presente la mayor viabilidad no sólo técnica, sino ambiental.

5.2.3.2 Modelos de los procesos de separación.

Los modelos de los procesos estudiados han sido generados por medio de la herramienta de simulación HysysPlant®. Con dicha herramienta, además de los modelos, se han desarrollado los diagramas de flujo y modelos en estado estacionario, que representan en un alto grado de aproximación, la funcionalidad de estos procesos. Los diagramas de flujo de dichos procesos se muestran en las Figuras 5.13 y 5.14.

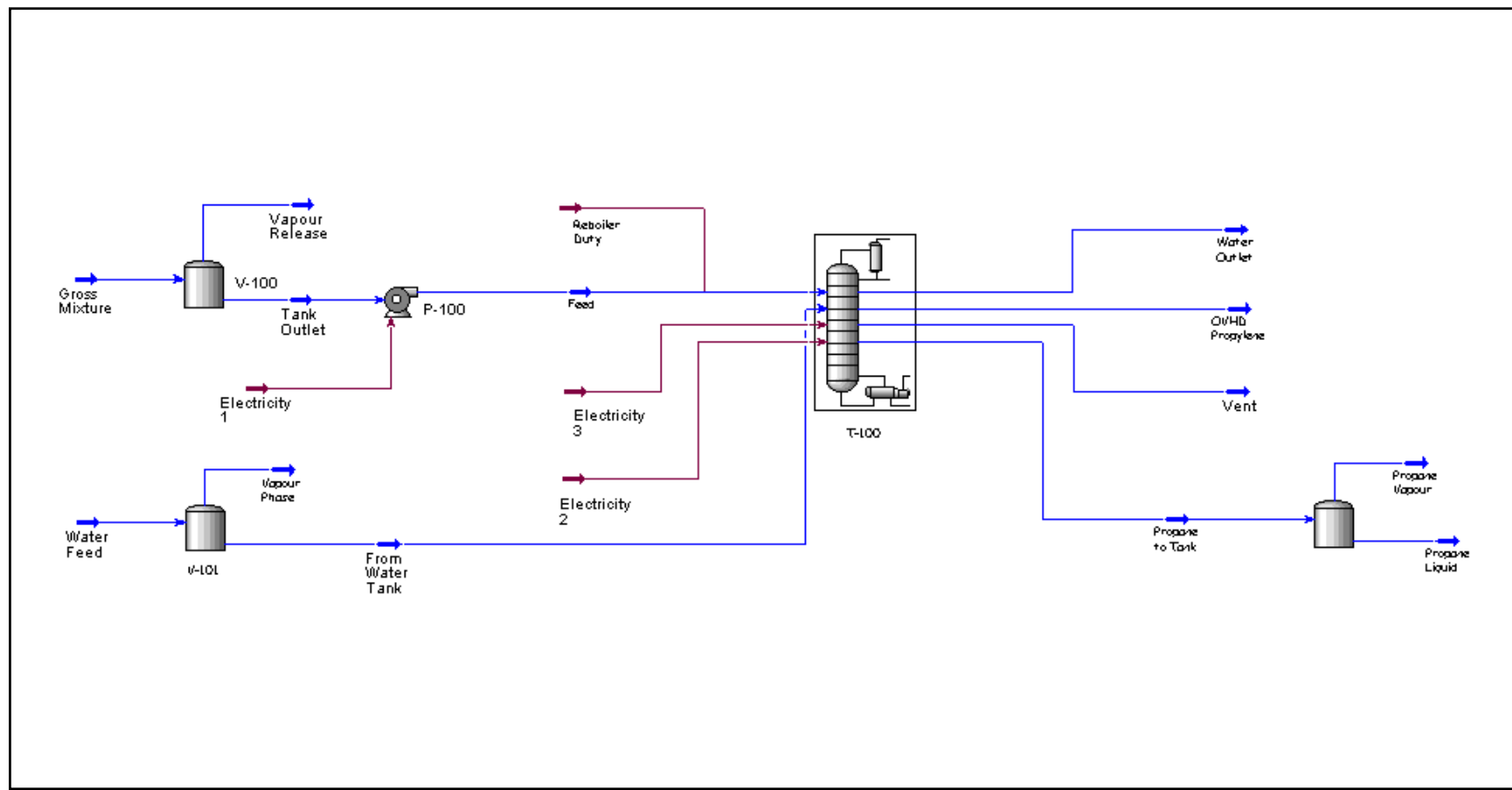


Figura 5.13. Diagrama de flujo proceso de separación de Propano-Propileno.

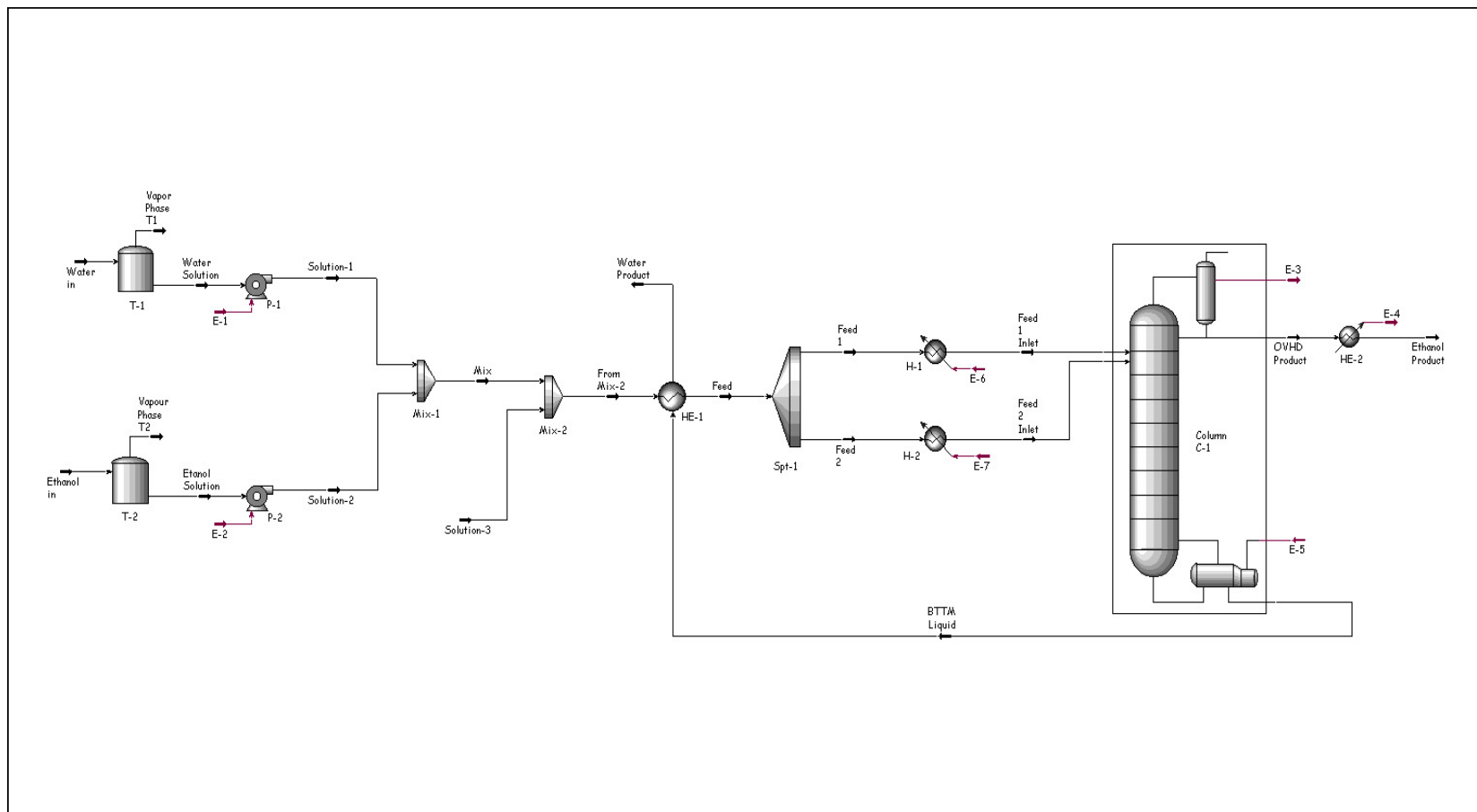


Figura 5.14. Diagrama de flujo proceso de separación de Etanol-Agua

De acuerdo con la metodología seguida en el caso de aplicación, la totalidad de la información generada por la herramienta de simulación, es posteriormente transferida a una hoja de cálculo para su análisis.

5.2.3.3 Interfaz de transferencia

La interfaz de transferencia, para cada uno de los procesos estudiados, incluye las corrientes de mayor interés, así como una descripción detallada de los requerimientos energéticos.

El aspecto más importante en el desarrollo de la interfaz de transferencia de información, es la creación de la memoria de cálculo del sistema estudiado, donde se genera toda la información necesaria para el análisis técnico y ambiental. La Figura 5.15 presenta la interfaz del sistema de separación de Propano-Propileno

Volcado a Excel

Mezcla inicial	
Componente	Fracción másica
C ₃ H ₈	0,60
H ₂ O	0,00
C ₃ H ₆	0,40
total	1,00
Mass Flow (tonne/d)	1400,00
Temp (°C)	20,0
Pres (bar)	20

Volcado a Hysys

Propileno líquido(producto)	
Componente	Fracción másica
C ₃ H ₈	0,10
H ₂ O	0,00
C ₃ H ₆	0,90
total	1,00
Mass Flow (tonne/d)	362,92
Temp (°C)	42,6
Pres (bar)	60

Propano Líquido	
Componente	Fracción másica
C ₃ H ₈	0,92
H ₂ O	0,00
C ₃ H ₆	0,08
total	1,00
Mass Flow (tonne/d)	858,36
Temp (°C)	49,9
Pres (bar)	60

Venteo (emisiones fugitivas)	
Componente	Fracción másica
C ₃ H ₈	0,60
H ₂ O	0,00
C ₃ H ₆	0,40
total	1,00
Mass Flow (tonne/d)	1,40
Temp (°C)	24,4
Pres (bar)	50

Entrada a la columna	
Componente	Fracción másica
C ₃ H ₈	0,60
H ₂ O	0,00
C ₃ H ₆	0,40
total	1,00
Mass Flow (tonne/d)	1398,60
Temp (°C)	39,4
Pres (bar)	50

Agua alimentada	
Componente	Fracción másica
C ₃ H ₈	0,00
H ₂ O	1,00
C ₃ H ₆	0,00
total	1,00
Mass Flow (tonne/d)	18000
Temp (°C)	25,0
Pres (bar)	1

Propileno vapor (recirculado)	
Componente	Fracción másica
C ₃ H ₈	0,09
H ₂ O	0,00
C ₃ H ₆	0,91
total	1,00
Mass Flow (tonne/d)	177,32
Temp (°C)	36,4
Pres (bar)	15

Agua de salida	
Componente	Fracción másica
C ₃ H ₈	0,00
H ₂ O	1,00
C ₃ H ₆	0,00
total	1,00
Mass Flow (tonne/d)	18000
Temp (°C)	62,1
Pres (bar)	23

Consumo de energía

Total Electricidad (MJ/h)	
power	4520

Total Vapor (MJ/h)	
power	123469

Total Energía (MJ/h)	
power	127989

Figura 5.15. Interfaz de transferencia para el proceso separación de Propileno

La misma estructura de interfaz, se presenta en la Figura 5.16, en la que se describen las principales corrientes del proceso de separación de Etanol-Agua.

Volcado a Excel

Volcado a Hysys

SOL 1

Componente	Fracción másica (%)
H ₂ O	0,90
C ₂ H ₆ O	0,10
total	1,000
Flow (kg/h)	200,00
T (°C)	20,00
P (bar)	1,01

SOL 2

Componente	Fracción másica (%)
H ₂ O	0,57
C ₂ H ₆ O	0,43
total	1,000
Flow (kg/h)	300,00
T (°C)	20,00
P (bar)	1,01

MEZCLA (SOL 3)

Componente	Massic Fraction (%)
H ₂ O	0,05
C ₂ H ₆ O	0,95
total	1,000
Flow (kg/h)	500,00
T (°C)	20,00
P (bar)	1,01

Alimento

Componente	Fracción másica (%)
H ₂ O	0,37
C ₂ H ₆ O	0,63
total	1,000
Flow (kg/h)	1000,00
T (°C)	20,00
P (bar)	1,01

Corriente rica en agua

Componente	Fracción másica (%)
H ₂ O	0,75
C ₂ H ₆ O	0,25
total	1,000
Flow (kg/h)	403,93
T (°C)	20,00
P (bar)	1,01

Etanol

Componente	Fracción másica (%)
H ₂ O	0,12
C ₂ H ₆ O	0,88
total	1,000
Flow (kg/h)	596,07
T (°C)	18,00
P (bar)	0,05

Consumo de energía

Bomba1: E1

power (MJ/h)	0,0263
--------------	--------

Bomba 2: E2

power (MJ/h)	0,0407
--------------	--------

Condensador: E3

power (MJ/h)	4676,96
--------------	---------

Enfriador: E4

power (MJ/h)	126,81
--------------	--------

Rehervidor: E5

power (MJ/h)	4777,92
--------------	---------

Consumo total de energía

power (MJ/h)	9,58E+03
--------------	----------

Figura 5.16. Interfaz de transferencia del proceso Etanol-Agua.

5.2.3.4 Evaluación de los sistemas en estudio.

La evaluación se desarrolló con base en la información de la memoria de cálculo. La información contenida en la memoria de cálculo, varía dependiendo del proceso, sin embargo, generalmente está conformada por información técnica del proceso –*equipos y corrientes principales*–.

En la memoria de cálculo se han registrado los datos generados en el modelo del proceso. El desarrollo de la interfaz es muy importante, puesto que a partir de ella, se obtiene la información que permite crear y comparar las diferentes alternativas.

Por otra parte, en la denominada memoria de cálculo se creó el eco-vector donde han sido relacionadas las cargas ambientales con que se evalúa la viabilidad ambiental del proceso y se comparan las alternativas propuestas.

En los siguientes apartados, se presentan los resultados de la evaluación de los sistemas estudiados, inicialmente el caso de separación de Propileno, y en segundo lugar, la evaluación del caso de obtención de Etanol.

Caso separación Propano-Propileno.

Los resultados de la simulación, fracciones másicas de las corrientes de entrada a los procesos simulados, productos y subproductos obtenidos, así como requerimientos de energía se describen en las Tablas 5.7, 5.8, y 5.9 respectivamente.

Tabla 5.7. Composiciones de la corriente de entrada

<i>Propano (Fracción másica)</i>	<i>Propileno (Fracción másica)</i>
0.75	0.25
0.70	0.30
0.60	0.40
0.50	0.50
0.40	0.60
0.30	0.70
0.20	0.80
0.10	0.90

De acuerdo con la Tabla 5.7, se utilizaron diferentes fracciones másicas de la mezcla original como alimento en el proceso de separación. La finalidad de utilizar diferentes fracciones másicas, fue evaluar la respuesta del sistema simulado, y también evaluar la variación en los requerimientos. La incidencia en los resultados del proceso de las diferentes fracciones másicas, se discutirá más adelante.

Tabla 5.8. Principales corrientes del proceso obtenidas de la simulación

Flujos	Cantidades (Ton/d)
Alimento a la columna	1400.00
Venteo (Emisiones fugitivas)	1.40
Propileno líquido (90,0%)	373.05
Propileno Vapor	232.62

Tabla 5.9. Demanda energética para las condiciones establecidas de proceso.

Demanda energética	Etapas de Proceso	Consumo (MJ/h)	(MJ/ton alimento)
Vapor	Calentamiento (Re-hervidor)	28318	485.44
Vapor	Calentamiento (Separador)	533	9.14
Electricidad 1	Alimento	161	2.76
Electricidad 2	Agua de enfriamiento	2520	43.20
Electricidad 3	Corriente Propano líquido. (92%)	117	2.00
Electricidad 4	Reflujo	134	2.29
Electricidad 5	Corriente Propileno Líquido (90%)	43	0.74
Total		31825	546

Considerando los resultados presentados en la tabla anterior, se puede corroborar la importancia del consumo energético en el proceso.

Análisis técnico

La Tabla 5.10, presenta la variación de la producción de propileno (líquido o vapor) a partir de cambios en la mezcla original. Lo novedoso de la fase de integración, es que dicha evaluación se hizo en línea con cambios en el proceso a través de la herramienta de simulación.

Tabla 5.10. Producción de Propileno (líquido / vapor) a partir de la mezcla original

Propileno en Mezcla (%)	Producción de Propileno líquido (ton/d)	Producción de Propileno vapor (ton/d)
0.25	291.97	0.00
0.30	323.18	58.00
0.40	362.19	173.00
0.50	377.46	318.65
0.60	396.92	482.64
0.70	381.92	660.78
0.80	320.14	894.10
0.90	36.41	1347.55

Teniendo en cuenta que el objetivo del proceso es obtener Propileno líquido, se puede observar que a partir de una mezcla original con una composición 50/50 (Propileno/Propano), la producción de Propileno líquido es muy similar a la del Propileno vapor, esto además de ser una limitante del proceso, indica que el sistema definido, es ineficiente para proporciones mayores de la establecida.

Lo anterior puede verse de manera gráfica en la Figura 5.17, donde se representa la variación del Propileno separado en las dos fases, a partir de los cambios de concentración de la mezcla original.

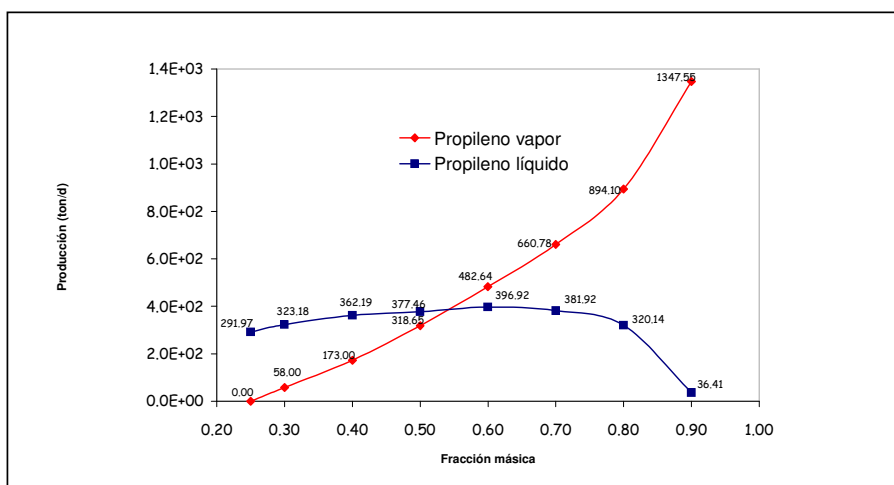


Figura 5.17. Variación de la producción de Propileno en función de la mezcla original

De acuerdo con la figura, es fácilmente observable la proporción en la mezcla original, que permite obtener la mayor cantidad de producto de interés (Propileno líquido).

Otro aspecto también evaluado, ha sido el consumo de agua para diferentes proporciones en la mezcla original. La Tabla 5.11, y la Figura 5.18 presentan los datos del consumo de agua para diferentes proporciones de la mezcla separada.

Tabla 5.11. Consumo de agua alimentada en función de la composición de la mezcla original.

Propileno en Mezcla (%)	Consumo de agua(t/d)
0.26	18000
0.30	24000
0.40	27000
0.50	29000
0.60	29000
0.70	28000
0.80	24000
0.90	2900

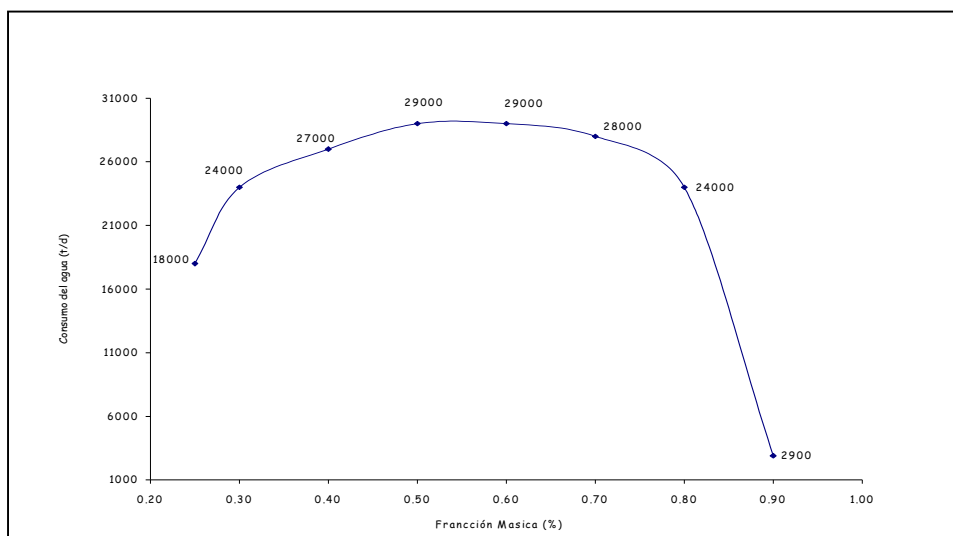


Figura 5.18. Comparación del consumo de agua y su relación con la mezcla original

El mayor consumo de agua se obtiene para una mezcla con proporción cercana 50/50. Mezclas con proporciones más altas de Propileno, presenta una disminución del consumo de agua, pero implicarían, como se observó anteriormente, una menor obtención del producto de interés.

De acuerdo con el objetivo inicial, el proceso inicial debía ser comparado con alternativas viables tanto técnica como ambientalmente. Considerando que no disponemos de información real de la etapa de obtención de la mezcla, dicha etapa no es factible de ser modificada.

Los resultados de la simulación permiten predecir que desde el punto de vista técnico, la destilación no genera mayores dificultades, por lo que la única etapa factible de ser modificada

para generar alternativas de producción al proceso en estudio, es la generación energética. Con base en esto, se plantearon tres escenarios de proceso que involucran alternativas de generación de vapor y electricidad. La Tabla 5.12, resume las características de los tres escenarios definidos.

Tabla 5.12. Alternativas de generación energética para el proceso

<i>Alternativas</i>	<i>Generación de vapor</i>	<i>Generación de electricidad</i>
Proceso Original	Producción en Refinería	Producción en Refinería
Escenario 1	Producción en Refinería	Red Eléctrica de España
Escenario 2	Combustión Gas Natural	Red Eléctrica de Francia
Escenario 3	Combustión Gas Natural	Red Eléctrica de España

Como ya se ha descrito antes, los escenarios establecidos involucran las mismas etapas de producción. Las diferencias consisten únicamente en lo referente a la generación de energía, para la cual se definieron tres diferentes formas de obtención.

Evaluación Ambiental

Para la evaluación ambiental del proceso, se definió un eco-vector. Las cargas ambientales que conforman el eco-vector deben permitir tener una visión representativa del sistema en estudio. Por lo tanto, fueron elegidos para componerlo, los siguientes contaminantes: emisiones de dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), compuestos orgánicos volátiles (VOC), y la carga ambiental referente a los vertidos líquidos, representada por la demanda química de oxígeno (COD). La Figura 5.19, representa el eco-vector que ha sido definido para la evaluación de cargas ambientales del proceso de separación de Propileno.

<u>Carga</u>	<u>Mezcla</u>	<u>Energía</u>	<u>Separación</u>
CO₂	--	--	--
SO₂	--	--	--
COD	--	--	--
VOC's	--	--	--

Figura 5.19. Eco-vector para el análisis ambiental

A partir de las cargas definidas en el eco-vector y con ayuda de la base de datos del programa TEAMTM, se calculó el inventario de entradas y salidas del proceso. Esta información permitió evaluar la incidencia ambiental del proceso a través de la cuantificación de su carga ambiental. La información relacionada con las alternativas de producción de energía (vapor/electricidad) que conforman los tres escenarios de evaluación se presenta en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Carga ambiental por alternativa.

Carga ambiental	Vapor - Refinería	Vapor-Combustión Gas Natural	Electricidad - RED ESPAÑA (1996)	Electricidad - RED FRANCIA (1995)
	g/kg (vapor prod)	g/kg (vapor prod)	g/MJ	g/MJ
CO ₂	1.53E+02	2.20E+02	1.61E+02	1.17E+02
SO ₂	1.40E+00	6.48E-02	9.18E-01	1.15E-03
COD	1.00E-03	1.67E-03	4.85E-04	1.83E-06
VOC	2.10E+00	4.60E-01	8.13E-01	8.91E-04

Fuente: TEAM, 2001. SimaPro, 2002.

La información de la Tabla 5.13, representa las cargas ambientales de dos alternativas de generación de vapor y electricidad. Con ellas, se muestran diferentes opciones, no sólo de la disponibilidad de técnicas, sino también geográfica, para la obtención de energía. Las fuentes consultadas, se basan en información recogida de estudios realizados en países de Europa [Ecobilan, 2000]. Más adelante se discutirán estos resultados, y la forma como deben ser interpretados, para que puedan ser utilizados como soporte en la toma de decisiones respecto al proceso.

Evaluación de las cargas ambientales a partir de la información de proceso

La incidencia ambiental de un proceso, se puede definir a partir de la cuantificación de las cargas ambientales. En este caso de aplicación se utilizó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), para la cuantificación de las cargas a través del eco-vector (Figura 5.19). La Tabla 5.14 presenta los valores obtenidos para el eco-vector, con base en las diferentes etapas del proceso y las cargas totales.

Tabla 5.14. Eco-vector, proceso original

Eco-vector	Etapas				Proceso
	Obtención de la mezcla	Vapor	Electricidad	E. fugitivas	Emisiones totales Kg/h
CO ₂	5.24E+02	6.20E+02	1.42E+02	--	1.29E+03
SO ₂	2.23E+00	5.68E+00	1.30E+00	--	9.21E+00
COD	5.67E-02	4.05E-03	9.00E-04	--	6.17E-02
VOC's	2.84E+00	8.51E+00	1.94E+00	8.31E-08	1.33E+01

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 5.14, la mayor carga ambiental se debe a la emisión de dióxido de carbono, que supera a las demás en forma considerable. Además, la etapa con un mayor aporte es la generación de energía (o la suma de vapor y electricidad). La

Figura 5.20 presenta gráficamente las cargas ambientales, descritas por etapas y sustancias emitidas.

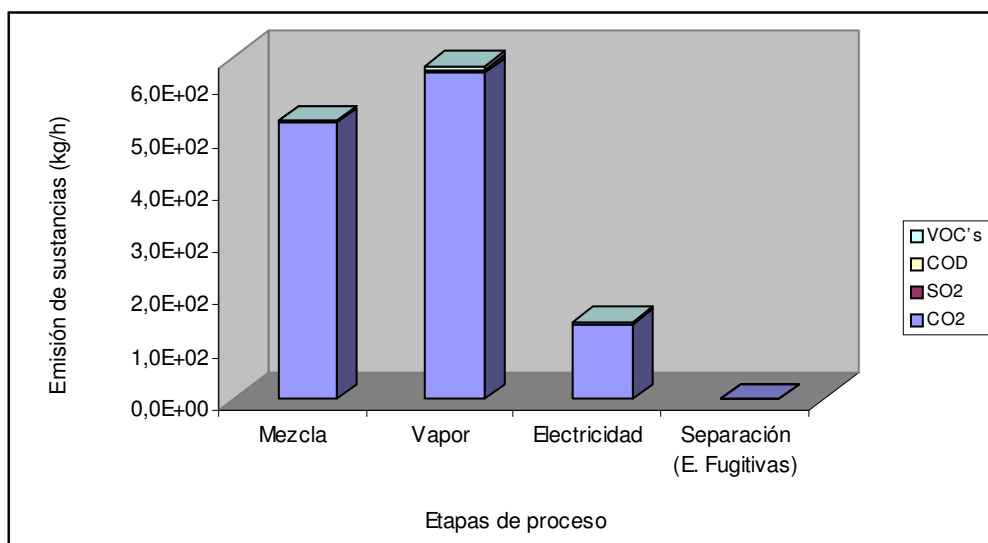


Figura 5.20. Cargas ambientales por etapa en el proceso original

Gráficamente se puede apreciar que la obtención de la mezcla es un aspecto de gran contribución de cargas. Sin embargo, como ya ha sido mencionado, no es una etapa factible de ser revisada, debido a que se encuentra por fuera de los límites de las fronteras definidas para el análisis de este proceso. Por esta razón, el análisis técnico y ambiental está orientado hacia las otras dos etapas consideradas en el proceso: columna de separación y la generación energética.

En este mismo sentido, la mayor carga ambiental es la emisión de dióxido de carbono, que supera a las demás en forma considerable. Así mismo, la etapa que presenta un mayor aporte es la generación de energía (o la suma de vapor y electricidad).

La Tabla 5.15 presenta una descripción comparativa de los escenarios. En ella, se observan las diferencias en la incidencia ambiental de la combinación de alternativas del proceso.

Tabla 5.15. Comparativa de las cargas ambientales de los escenarios desarrollados

Eco-vector	Proceso Original kg/Ton Propileno	Escenario 1 kg/Ton Propileno	Escenario 2 kg/Ton Propileno	Escenario 3 kg/Ton Propileno
CO2	1.29E+03	1.20E+03	1.50E+03	1.35E+03
SO2	9.21E+00	8.20E+00	2.46E+00	2.75E+00
COD	6.17E-02	6.09E-02	6.27E-02	6.27E-02
VOC's	1.33E+01	1.16E+01	4.08E+00	4.28E+00

Gráficamente, el aporte total por alternativa del proceso, se muestra en la Figura 5.21.

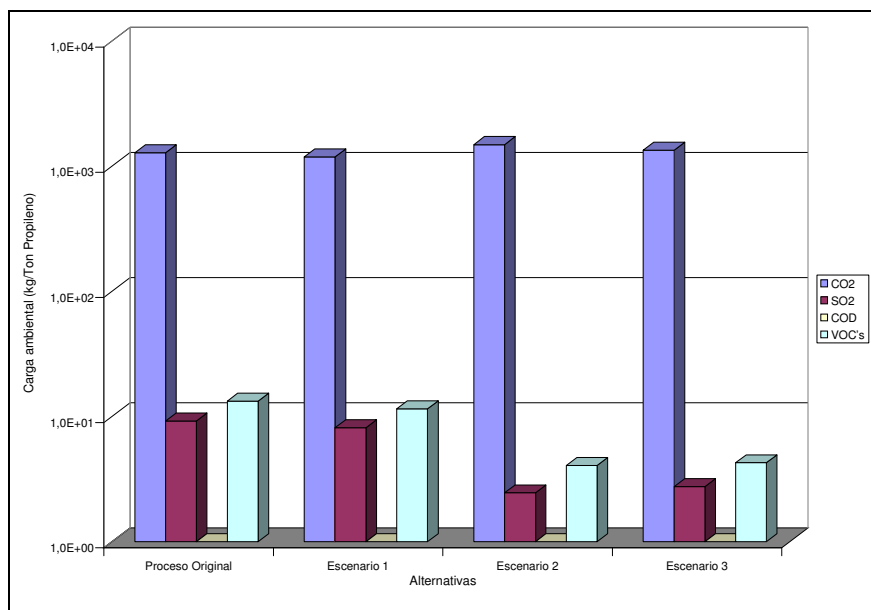


Figura 5.21. Carga ambiental del proceso y alternativas por sustancia

La figura representa las cargas totales del proceso original y las diferentes alternativas de producción de energía. Se observa que existe una variación en la carga total del proceso. Mientras, en el escenario 1 decrece la carga total, en los escenarios 2 y 3, se ve claramente un aumento de la misma. Este análisis es absolutamente cualitativo, y debe tomarse con precaución, debido al hecho de que no existe una proporcionalidad directa entre la cantidad de carga y los posibles daños.

En la Tabla 5.15 y Figura 5.21 se realizó un análisis por sustancia emitida. En este sentido, la discriminación de carga ambiental por sustancia, ayuda a evidenciar que con respecto a la emisión de dióxido de carbono, existe una fuerte disminución en el escenario 1, contrariamente a lo que sucede en los escenarios 2 y 3, en los cuales se presenta un aumento de la carga en mención, en forma considerable para el escenario 2 y de menor magnitud en el escenario 3.

Con respecto a las otras cargas estudiadas (SO_2 y VOC's), estas registran una variación menos marcada. Esto puede ser explicado, por el hecho de que las cantidades emitidas son menores, y la relación entre la alternativa de generación y la emisión es más estable. En este sentido, estas cargas ambientales presentan una leve disminución para el escenario 1 con respecto al proceso original. En el escenario 2, se observa disminución de las cargas de SO_2 y VOC's con respecto al proceso original, mostrando una tendencia opuesta a lo observado para la emisión de CO_2 .

Finalmente, en el escenario 3 se puede observar una mayor disminución en la emisión de SO_2 , y un leve aumento de la emisión de COV's. Por otra parte, la carga ambiental relativa a la carga orgánica en agua, muestra una leve disminución en el escenario 1, sin embargo, la emisión permanece casi constante para los otros dos escenarios.

Caso separación Etanol-Agua.

Aspectos técnicos evaluados

Las Tablas 5.16 a la 5.18, presentan la información obtenida a través de la interfaz del sistema, o memoria de cálculo del estudio, base para el análisis.

Tabla 5.16. Composiciones de la mezcla de alimento

Etanol (fracción másica)	Agua (fracción másica)
0.26	0.74
0.33	0.67
0.47	0.53
0.53	0.47
0.60	0.40
0.65	0.35

Tabla 5.17. Flujo másico de las principales corrientes del proceso

Corrientes	Flujo másico (kg/h)	% Etanol
Sol 1 (Rica en agua)	2.00E+02	10.06
Sol 2 (reciclo del proceso)	3.00E+02	43.09
Sol 3 (Solución rica en etanol)	5.00E+02	95.23
Alimento	1.00E+03	62.55
Solución pobre (Subproducto)	4.04E+02	25.00
Etanol (Producto principal)	5.96E+02	88.00

Tabla 5.18. Requerimientos energéticos del proceso de destilación (Etanol-Agua)

Equipo/corriente	Etapas de proceso	Consumo (MJ/h)	Consumo específico (MJ/kgalimento)
E1	Sol1. Bomba 1. (Electricidad)	2.63E-02	2.63E-05
E2	Sol2. Bomba 2. (Electricidad)	4.07E-02	4.07E-05
E3	Condensación (Electricidad)	4.68E+03	4.68E+00
E4	Enfriador (Electricidad)	1.27E+02	1.27E-01
E5	Re-hervidor (vapor)	4.78E+03	4.78E+00
Total		9.58E+03	9.58E+00

A través de la interfaz, se realizaron pruebas para comparar los resultados en el modelo con diferentes porcentajes de Etanol en la mezcla a separar. La Tabla 5.19 muestra la respuesta del modelo en términos de Etanol producido y consumo de energía.

Tabla 5.19. Variación de la producción de Etanol y del consumo de energía

Mezcla (%etanol)	Producción de Etanol (kg/h)	Consumo de energía (MJ/h)
0.26	17.88	1.78E+04
0.33	121.13	1.65E+04
0.47	348.71	1.31E+04
0.53	445.79	1.19E+04
0.60	555.30	1.02E+04
0.65	633.85	8.94E+03

La producción de Etanol, el consumo de energía, y su variación con la concentración, se presenta en las Figuras 5.22 y 5.23 respectivamente.

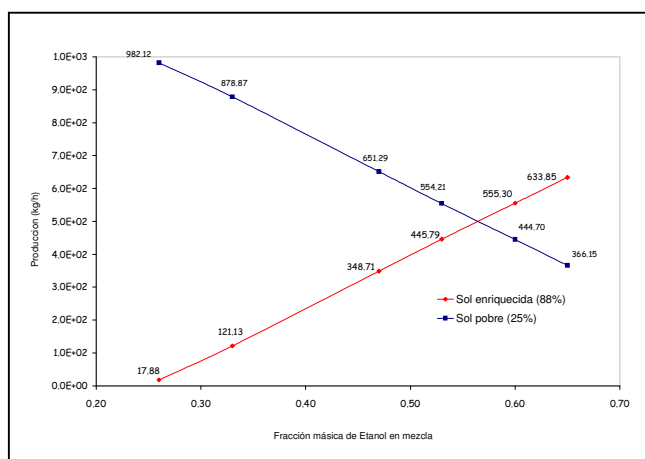


Figura 5.22. Producción de Etanol vs concentración de mezcla en el alimento

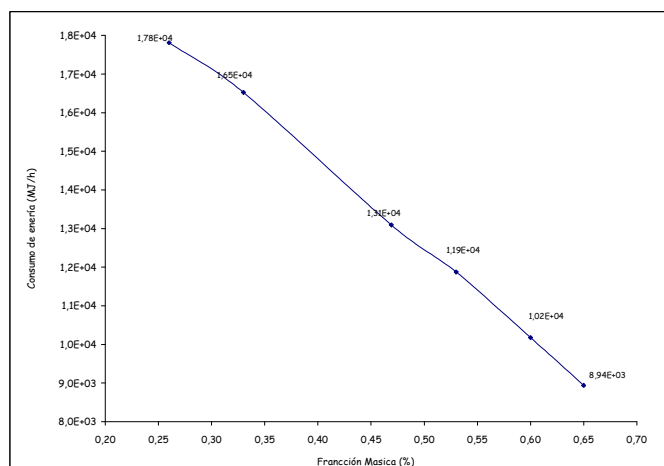


Figura 5.23. Consumo de energía vs concentración de Etanol en el alimento

De las figuras anteriores, se puede ver claramente el aumento de la producción de Etanol (Sol enriquecida) y la disminución en el consumo de energía. Esto puede ser explicado por el hecho de que a mayores concentraciones de Etanol en la mezcla alimentada, el sistema resulta mucho más eficiente.

Evaluación Ambiental

Para la evaluación ambiental del proceso, se definió un eco-vector con las cargas que se presenta en la Figura 5.24.

$$\left\{ \begin{array}{ccc} \text{Carga} & \text{Vapor} & \text{Electricidad} \\ \text{Agua} & -- & -- \\ \text{CO} & -- & -- \\ \text{SO}_2 & -- & -- \\ \text{NO}_x & -- & -- \end{array} \right\}$$

Figura 5.24. Eco-vector del proceso Etanol-Agua.

Hasta ahora, el análisis del proceso se ha realizado asumiendo que toda la energía se toma de la red eléctrica. Para la evaluación ambiental se analizaron y compararon cuatro escenarios de generación energética.

Los escenarios están compuestos por alternativas que comprenden la producción de vapor en refinería y a partir de Gas Natural. A su vez, la generación de electricidad ha sido evaluada para la red nacional de suministro y para combustión de carbón. Los escenarios y alternativas se presentan en la Tabla 5.20

Tabla 5.20. Escenarios de generación de energía.

<i>Alternativas</i>	<i>Generación de vapor</i>	<i>Generación de electricidad</i>
Escenario 1 (V/R-E/RE)	Producción en Refinería (V/R)	Red Eléctrica de España (E/RE)
Escenario 2 (V/R-E/CC)	Producción en Refinería (V/R)	Combustión de carbón (E/CC)
Escenario 3 (V/GN-E/RE)	Combustión Gas Natural (V/GN)	Red Eléctrica de España (E/RE)
Escenario 4 (V/GN-E/CC)	Combustión Gas Natural (V/GN)	Combustión de carbón (E/CC)

Los diferentes escenarios se compararon con base en el eco-vector definido, el que se representa en la Figura 5.24. Para una correcta comparación, se han calculado las cargas por unidad de mezcla alimentada. En la Tabla 5.21, se describen las diferentes cargas asociadas al eco-vector en cada alternativa. Los valores de las cargas ambientales, al igual que en los otros casos estudiados, fueron tomados de la base de datos de la herramienta TEAM™.

Tabla 5.21. Carga ambiental por alternativa de generación energética.

<i>Carga Ambiental</i>	V/R	V/GN	E/RE	E/CC
	/(kg Alimento)			
CO (g)	1.06E-01	1.49E-01	5.32E+00	6.23E-01
SO ₂ (g)	2.96E+00	1.11E-01	3.60E+00	2.47E+00
NO _x (g)	3.18E+00	2.35E-01	1.26E+00	1.10E+00
Consumo de agua (L)	5.72E-01	2.83E-01	1.77E+00	5.30E-01

V=vapor; E= electricidad; R= refinería; GN= gas natural

La información de esta tabla se presenta de forma gráfica en la figura 5.25, donde se puede contrastar fácilmente las diferencias en cada una de las alternativas elegidas

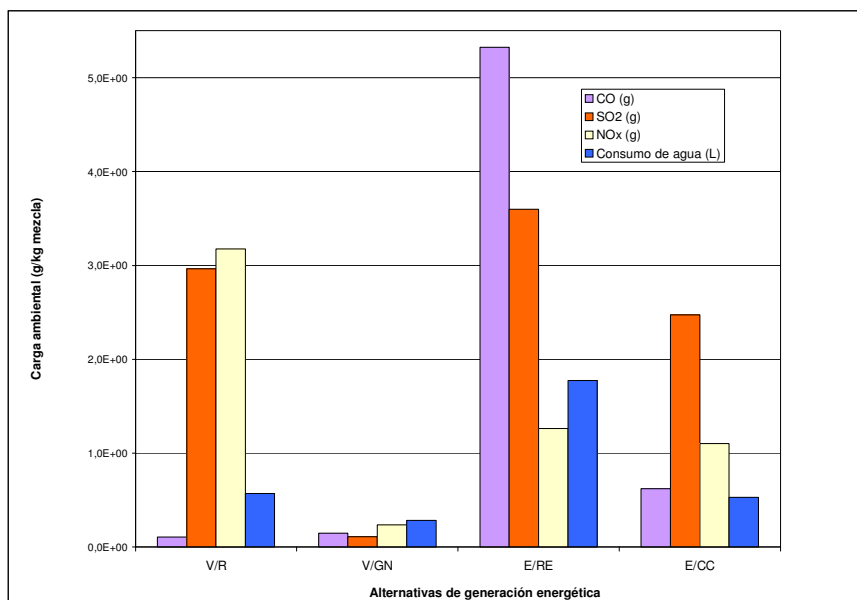


Figura 5.25. Carga ambiental por alternativa de generación de energía.

En la figura anterior se observa que existe un mayor aporte de carga ambiental por producción de electricidad, y por la otra, la alternativa de Gas Natural representa el menor aporte contaminante.

Evaluación de las cargas ambientales de los escenarios evaluados.

La evaluación de las cargas ambientales del proceso de obtención de Etanol se desarrolló con base en dos conceptos muy importantes: 1) la definición de la unidad funcional y 2) la asignación de cargas.

La unidad funcional elegida para la evaluación y comparación de cargas, es la producción de Etanol (Ton de producto).

Por otra parte, la asignación másica de cargas (reparto o localización) se ha realizado, considerando una corriente de Etanol al 100% en volumen (el producto contiene 88%).

La Tabla 5.22, presenta el criterio de asignación de cargas, y el valor real utilizado para la determinación de las cargas ambientales.

Tabla 5.22. Reparto o localización de cargas

Corriente	Caudal (kg/h)
Mezcla alimentada	1000.00
Solución de producto (88% de etanol)	596.07
Solución base para la determinación de cargas (100% Etanol)	355.31

En la anterior tabla se muestra la localización de las cargas ambientales, siguiendo un criterio másico. La producción de Etanol utilizada como unidad funcional, representa aproximadamente el 60% de la producción real.

Cargas ambientales. Las cargas ambientales de los escenarios de generación energética se presentan en la Tabla 5.23. Gráficamente, el aporte de cada carga ambiental en los escenarios evaluados, se presenta en la Figura 5.26.

Tabla 5.23. Eco-vector por escenario de evaluación

Carga (g/kgEtanol (100%))	Alternativas			
	V/R-E/RE	V/R-E/CC	V/GN-E/RE	V/GN-E/CC
Agua	3.93E+00	1.85E+00	3.45E+00	1.36E+00
CO	9.11E+00	1.22E+00	9.18E+00	1.30E+00
SO₂	1.10E+01	9.12E+00	6.22E+00	4.33E+00
NO_x	7.45E+00	7.18E+00	2.51E+00	2.24E+00

En la Tabla 5.23, se presentan las cargas ambientales que conforman el eco-vector, definido para cada una de las alternativas de producción de energía. Las entradas al sistema, se representan por el consumo de agua, y las emisiones consisten en monóxido de carbono, azufre y nitrógeno.

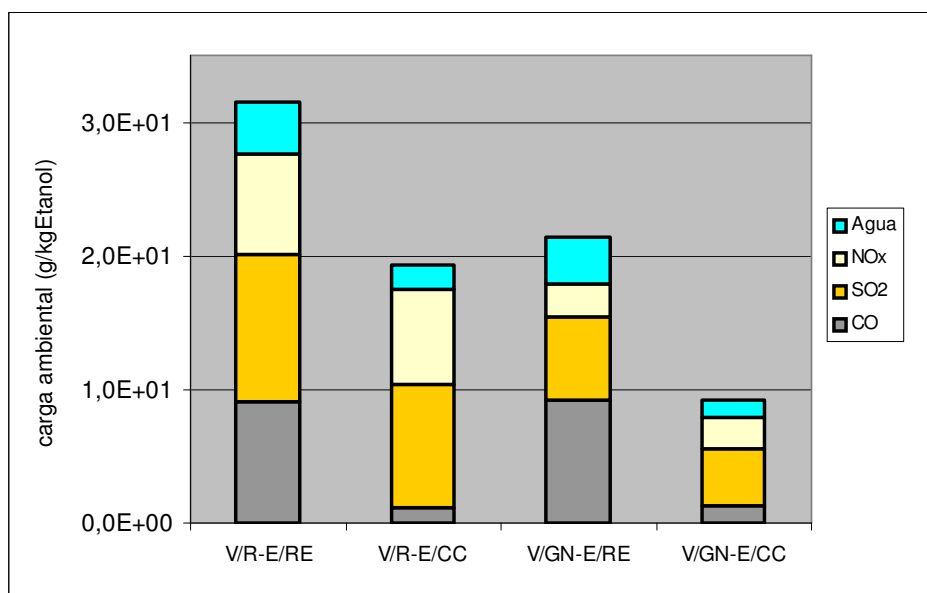


Figura 5.26. Carga ambiental discriminada por sustancia y escenario de producción

De acuerdo con la información observada en la Figura 5.26, los escenarios 1 y 3, presentan los valores más altos en carga total comparados con los escenarios 2 y 4. Sin embargo, es necesario realizar un análisis más detallado por carga y escenario, de manera que se evalúe cada carga por separado. Las Tablas 5.24 a 5.27, muestran información de las cargas del eco-vector, discriminada por escenario y etapa del proceso.

Tabla 5.24. Discriminación del consumo de agua por escenario y etapa

Alternativa	Producción de Vapor		Producción de Electricidad		Consumo total (kg/ton Etanol)
	(kg/Ton Etanol)	(%)	(kg /Ton Etanol)	(%)	
V/R-E/RE	9.59E-01	24.38	2.97E+00	75.62	3.93E+00
V/R-E/CC	9.59E-01	51.88	8.89E-01	48.12	1.85E+00
V/GN-E/RE	4.74E-01	5.04	8.93E+00	94.96	9.40E+00
V/GN-E/CC	2.51E-01	22.00	8.89E-01	78.00	1.14E+00

Tabla 5.25. Discriminación de Monóxido de carbono por escenario y etapa.

Alternativa	Producción de Vapor		Producción de Electricidad		Emisión total (kg/ton Etanol)
	(kg/Ton Etanol)	(%)	(kg /Ton Etanol)	(%)	
V/R-E/RE	1.78E-01	1.95	8.93E+00	98.05	9.11E+00
V/R-E/CC	1.78E-01	14.51	1.05E+00	85.49	1.22E+00
V/GN-E/RE	2.51E-01	2.73	8.93E+00	97.27	9.18E+00
V/GN-E/CC	2.51E-01	5.70	4.15E+00	94.30	4.40E+00

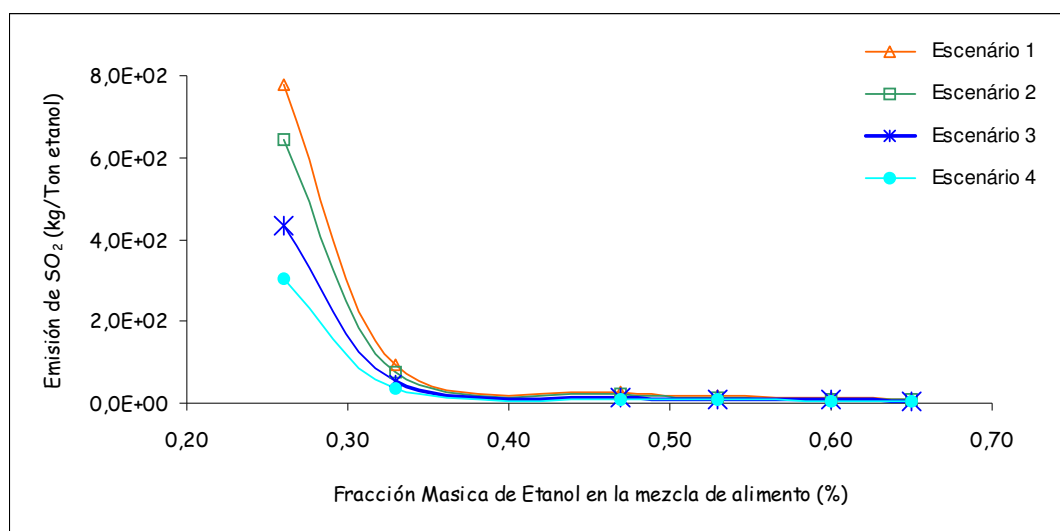
Tabla 5.26. Discriminación de la emisión de Óxidos de Azufre por escenario y etapa

Alternativa	Producción de Vapor		Producción de Electricidad		Emisión total
	(kg/Ton Etanol)	(%)	(kg /Ton Etanol)	(%)	
V/R-E/RE	4.97E+00	45.16	6.04E+00	54.84	1.10E+01
V/R-E/CC	4.97E+00	54.51	4.15E+00	45.49	9.12E+00
V/GN-E/RE	1.85E-01	2.98	6.04E+00	97.02	6.22E+00
V/GN-E/CC	1.85E-01	4.28	4.15E+00	95.72	4.33E+00

Tabla 5.27. Discriminación de la emisión de Óxidos de Nitrógeno por escenario y etapa

Alternativa	Producción de Vapor		Producción de Electricidad		Emisión total
	(kg/Ton Etanol)	(%)	(kg /Ton Etanol)	(%)	
V/R-E/RE	5.33E+00	71.54	2.12E+00	28.46	7.45E+00
V/R-E/CC	5.33E+00	74.23	1.85E+00	25.77	7.18E+00
V/GN-E/RE	3.94E-01	15.69	2.12E+00	84.31	2.51E+00
V/GN-E/CC	3.94E-01	17.58	1.85E+00	82.42	2.24E+00

Adicionalmente, la información descrita en las Tablas 5.24 a 5.27, permite desarrollar en cada escenario, el perfil de variación la emisión de sustancia con la concentración de mezcla inicial. Las Figuras 5.27 a 5.29, muestran los perfiles obtenidos para la emisión de dióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, respectivamente.

Figura 5.27. Emisión de SO₂ por escenario y porcentaje de Etanol en la mezcla

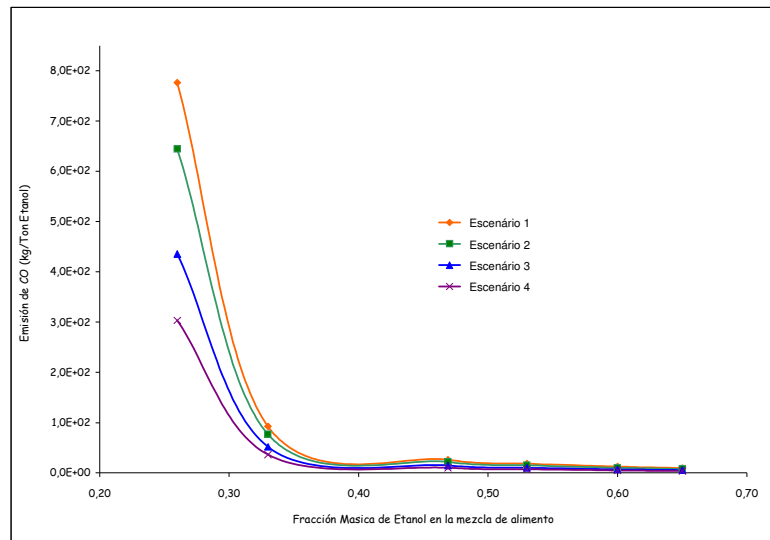


Figura 5.28. Emisión de CO por escenario y porcentaje de Etanol en la mezcla

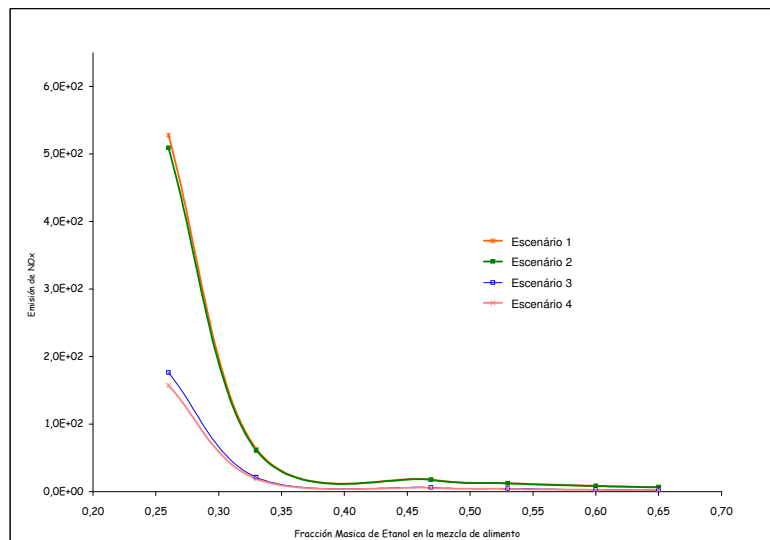


Figura 5.29. Emisión de NOx por escenario y porcentaje de Etanol en la mezcla

Los perfiles de emisión de cargas ambientales presentan la misma tendencia en los escenarios evaluados. De acuerdo con estos perfiles, para mezclas con un contenido de Etanol, por debajo del 30%, las emisiones son mucho más altas que para el resto de proporciones analizadas. Además, por encima del 40% de Etanol en mezcla, las emisiones son prácticamente iguales en los cuatro escenarios.

5.2.4 Discusión de resultados de los casos de separación

Los resultados obtenidos en este caso de aplicación, pueden ser discutidos no sólo desde el punto de vista de la viabilidad de la aplicación del desarrollo metodológico, sino también, desde la evaluación de los procesos y las alternativas propuestas.

Con respecto al primer aspecto, las mejoras obtenidas en la transferencia de información, y su utilización en el desarrollo de la memoria de cálculo, no sólo son satisfactorias, sino que permiten avanzar en la creación de módulos más complejos para procesos que involucren más etapas.

De igual forma, el análisis técnico del proceso, desarrollado con base en la memoria de cálculo, permite conocer rápidamente y con detalle, aspectos muy importantes de la producción, que de otra forma, tardarían mucho más tiempo en ser analizados.

Así mismo, la evaluación ambiental desarrollada con base en el concepto de eco-vector, permite evaluar sistemáticamente las variaciones en las condiciones de operación y su repercusión en las cargas ambientales generadas.

Por otra parte, desde la perspectiva de los procesos analizados, se encontraron resultados un tanto sorprendentes, que en el caso del proceso de Propileno y debido a la carencia de datos reales y/o contrastables, no ha sido posible comprobar que para fracciones de propileno en la mezcla original por encima del 40%, el sistema genera una mayor cantidad de Propileno vapor, haciendo al sistema técnicamente inviable.

Como se mencionó antes, debido a la limitación por la carencia de datos reales, los resultados obtenidos en el análisis del sistema Propano-Propileno no pueden ser contrastado, por lo que el mismo, se ha utilizado únicamente como opción para comprobar las mejoras en la transferencia de información.

Ahora bien, la evaluación del proceso de obtención de Etanol a partir de una mezcla etanol-agua en diferentes proporciones, ha mostrado resultados coincidentes no sólo con la información reportada en la literatura para este proceso, sino también, con los datos obtenidos del equipo utilizado en el laboratorio.

La evaluación técnica predice satisfactoriamente los cambios en la producción y consumo con respecto a variaciones en la proporción de Etanol en mezcla. Adicionalmente, la evaluación ambiental sugiere como mejor alternativa el **escenario 4**.

En orden de prioridad de elección al escenario 4, le sigue el escenario 2 (vapor de refinería y electricidad por combustión de carbón), el escenario 3 (vapor por gas natura y electricidad de la red eléctrica nacional), y finalmente, el escenario 1 (vapor de refinería y electricidad por la red eléctrica nacional).

La elección de la alternativa con menores índices de emisión, se fundamenta en la tendencia observada en diversos sectores industriales (en ocasiones plasmados en compromisos concretos), de reducir las emisiones de sustancias que puedan generar efectos de repercusión internacional (efecto invernadero, calentamiento global, lluvia ácida, entre otros).

El siguiente paso en la metodología es el avance en dos frentes, por una parte en las técnicas de evaluación ambiental, de manera que puedan ser evaluadas, las emisiones, el destino y los efectos de las sustancias descargadas por los procesos productivos. Por otra parte, en la generación de todos los módulos que conformen los procesos estudiados, de manera que sean modeladas todas las etapas involucradas en el proceso analizados.

5.3. PROCESO DE SEPARACIÓN DE ISOPENTANO-NAFTA

5.3.1 Introducción

La aplicación de la metodología a un caso real, donde las condiciones de operación estaban establecidas de antemano y los requerimientos de producción imponían no sólo los materiales a utilizar, sino también la energía necesaria, se utilizó como base para su validación, al tiempo que permitió concebir los aspectos de mayor importancia en la metodología.

El caso de aplicación se basó en el desarrollo de las etapas establecidas en la metodología. Inicialmente se analizó el proceso y sus características; posteriormente, se estudió una simulación previa del proceso y se adecuó a las condiciones requeridas de energía y consumo de materias primas. El siguiente paso, la transferencia de información entre la simulación y una hoja de cálculo, permitió la posterior utilización de dicha información en el análisis ambiental y la determinación de las cargas ambientales, completando así el cuarto paso. Finalmente, se realizó la evaluación ambiental del proceso para basar la toma de decisiones acerca de la continuación de las siguientes fases de diseño.

En la evaluación ambiental del proceso en estudio, se definió un eco-vector, o vector multidimensional cuyas mediciones corresponden a una carga ambiental específica que está dada en términos de masa de un contaminante específico o cantidad de energía requerida. Además, se plantearon diferentes escenarios de evaluación, los cuales aunque involucran las mismas etapas del sistema, presentan diferencias en cuanto a las materias primas utilizadas y a los procesos de generación energética. En este caso, se desarrollaron los modelos de los procesos de generación de energía, utilizados en los escenarios de evaluación.

5.3.2 Objetivos y alcances.

5.3.2.1 Descripción del proceso

El proceso analizado consiste en una planta desisopentanizadora, el cual hace parte de un sistema general de procesamiento de hidrocarburos (refinería). La planta en mención separa el Isopentano (iC_5H_{12}) de una mezcla de Naftas. Antes de producirse la mezcla de Naftas, una corriente de ellas ha sido tratada para retirar los butanos.

El proceso de separación consta de columnas de separación por destilación, mezclador, sistema de intercambiadores para la transmisión de calor, tanques de almacenamiento, bombas. Además, la generación de energía, se realiza mediante una unidad de cogeneración que consta de una turbina de gas y una caldera de recuperación de gases de combustión.

Los requerimientos del proceso materiales y energéticos están conformados por las *Naftas* a las cuales se le separan inicialmente los butanos y posteriormente el isopentano, *Agua* y *Aire* para la transmisión del calor. La *energía eléctrica* y el *vapor*, forman parte de los requerimientos energéticos necesarios para llevar a cabo el proceso.

La generación energética presenta altos requerimientos de *combustible*, *agua* y *aire* para la generación tanto de electricidad como de vapor, dichos consumos forman parte del inventario del proceso.

5.3.2.2 Objetivos del estudio

El objetivo principal de este caso de estudio, fue evaluar el desempeño ambiental del proceso de separación de Isopentano de una corriente de Nafta proveniente del tratamiento de hidrocarburos, a través del perfil ambiental de diferentes alternativas de producción de energía, las cuales fueron comparadas para la elección de la mejor(es) alternativa(s).

El objetivo principal se consiguió a partir del desarrollo de los objetivos específicos que se describen a continuación:

- ✓ Desarrollo de la memoria de cálculo del proceso, a través del modelo y la interfaz de transferencia.
- ✓ Evaluación del proceso en términos de su viabilidad ambiental aplicando diferentes criterios y niveles de evaluación ambiental.
- ✓ Evaluación del Perfil Ambiental del Proceso para diferentes alternativas de materias primas y operaciones en el proceso.
- ✓ Comparación y elección de la mejor alternativa del proceso.

5.3.2.4 Alcances

En términos del análisis del proceso, se estudiaron los subsistemas de separación de IP y de generación energética. Con respecto a la evaluación ambiental, se decidió llegar hasta la obtención de la alternativa(s) que presente(n) el mejor comportamiento ambiental en los cuatro niveles de detalle de la evaluación ambiental (emisión, destino, efectos y daños). Así como dos diferentes niveles de diferenciación espacial (local, global). Los siguientes apartados describen los aspectos que se tuvieron en cuenta a la hora de definir los criterios de evaluación del proceso.

Determinación del nivel de evaluación ambiental.

La incidencia ambiental del proceso en estudio, fue analizada en los cuatro niveles de evaluación, teniendo en cuenta que para este proceso, existe una marcada importancia, no solo en términos de las emisiones, sino también de los efectos y daños.

Nivel de la diferenciación espacial.

Para la evaluación del destino, riesgos e impactos, se han de tener en cuenta los niveles local y global. Estos niveles se basan en la configuración de los entornos definidos en la metodología.

Definición de las fronteras del sistema.

El sistema en estudio comprende el proceso de separación de Isopentano por medio de dos columnas de destilación y la generación de energía. De acuerdo con la metodología propuesta, se consideran las fronteras del sistema a partir de la entrada de materias primas, la separación y la generación de energía. (PPGE).

Información básica para el análisis del proceso

Esta información consta de tres aspectos diferenciados: diagramas del proceso, corrientes involucradas, y etapas del proceso. A continuación, se describen cada uno de estos aspectos y los elementos que los conforman.

✓ Diagramas del proceso.

Como se mencionó en el apartado anterior, el proceso en estudio se concibió como un sistema comprendido por dos subsistemas. El subsistema de separación o subsistema 1 y la generación energética (subsistema 2). Esquemáticamente, el sistema general y los subsistemas que se han definido para el proceso se presentan en las Figura 5.30, 5.31 y 5.32.

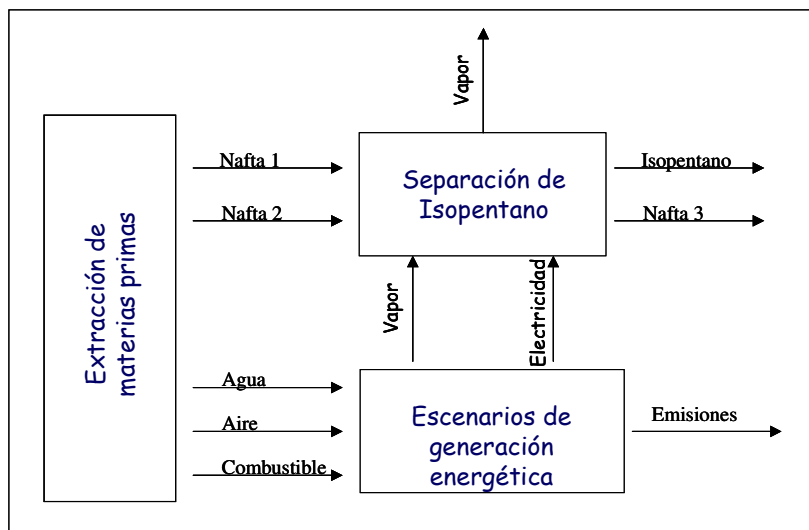


Figura 5.30 Diagrama del sistema general de separación de Isopentano

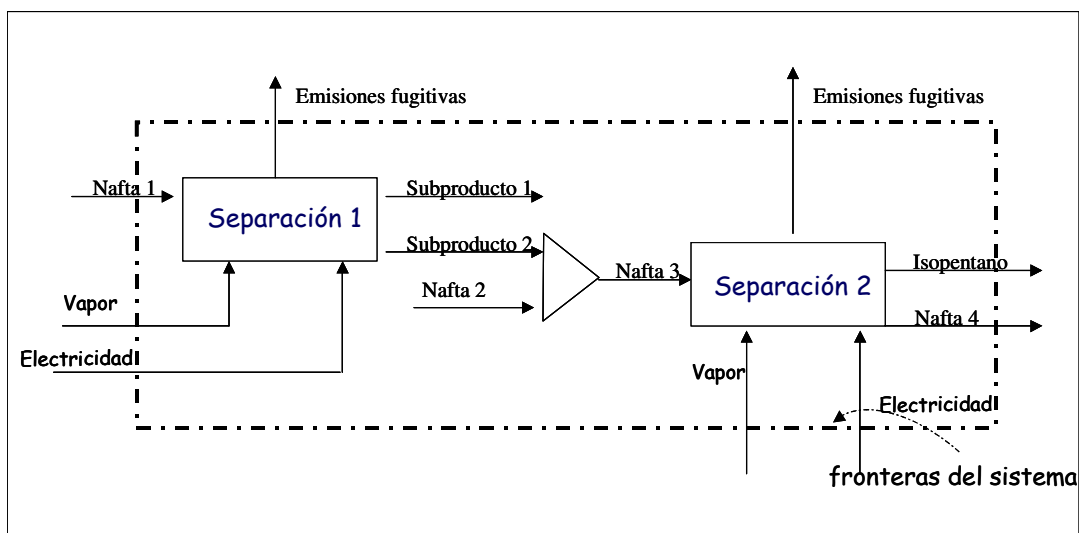


Figura 5.31 Diagrama del subsistema de separación en el proceso general

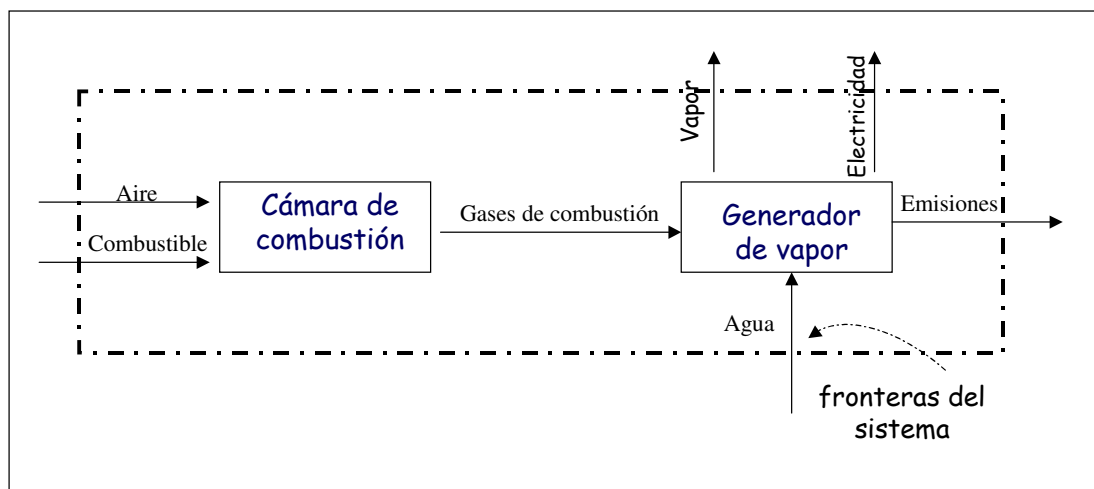


Figura 5.32 Subsistema de generación de energía.

✓ Corrientes involucradas en el proceso

Las corrientes tenidas en cuenta diferenciadas en corrientes de entrada y salida tal como se muestran en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28 Corrientes de proceso tenidas en cuenta para el análisis

<i>Corrientes de proceso</i>	
Entrada	Salida
Nafta 1	Isopentano (89%)
Nafta 2	Nafta 4 (11% de IP)
Gas Natural	Subproducto 1 (89% de Butanos)
Gasoil pesado desulfurado	Emisiones fugitivas (Mezcla N1+N2)
Agua	Gases de combustión
Aire	
Vapor (alta, media y baja)	
Electricidad	

✓ Etapas del proceso (operaciones)

A continuación se presentan las etapas (operaciones) del proceso con una breve descripción, sus características más importantes y las condiciones de operación:

Separación. La separación se lleva a cabo en dos columnas de destilación, la primera de ellas separa los butanos de la Nafta 1. En la segunda columna, una vez se ha mezclado la salida por fondos de la primera columna con la Nafta 2, se separa el IP, recuperándolo para almacenamiento y la Nafta se envía a una etapa posterior. Esta etapa presenta un alto consumo energético no sólo en términos eléctricos, sino también térmico, puesto que el consumo de vapor es elevado.

Mezclado. El mezclado se realiza en un mezclador convencional a donde llegan una corriente de Nafta a la que se le ha retirado gran parte de los butanos, y una corriente de Nafta sin tratamiento previo, para ser homogeneizadas y enviadas a la segunda columna de destilación.

Transmisión de calor. La transmisión de calor se realiza por medio de intercambiadores de calor, algunas veces aprovechando la energía de corrientes del proceso, y otras veces utilizando vapor generado específicamente para este propósito.

Almacenamiento. El almacenamiento se realiza en tanques o depósitos que presentan unas condiciones específicas de temperatura y presión.

Combustión. La combustión es utilizada para la generación energética y en el proceso original se lleva a cabo en una cámara de combustión previa a la turbina de gas.

Condensación (laminación y expansión de vapor). La condensación de vapor, por medio de laminación y/o expansión, se utiliza para la obtención del vapor a las condiciones requeridas, y después de ser utilizado en la producción de electricidad.

5.3.3 Modelo del proceso y transferencia de información.

5.3.3.1 Modelo del proceso a partir de datos reales y condiciones de operación establecidas.

El diagrama de flujo de los procesos de separación y generación energética generados en la herramienta de simulación se presentan en la Figuras 5.33 y 5.34, y se describen seguidamente.

La corriente inicial de Nafta, que aquí denominaremos Nafta 1, es alimentada a la columna 1 (613-c-8) previo aumento de su temperatura, para aprovechar la energía de la corriente de fondos de esta columna. Una vez en la columna, se separan los butanos de la Nafta y el producto de cabeza de esta columna (LPG) es almacenado, mientras que el producto de fondos se alimenta al mezclador 1 (MIX) junto con la Nafta 2, para generar la mezcla de Nafta (Nafta 3) que es alimentada a la columna 2, igualmente esta corriente es precalentada.

En la columna 2 (618-C2), se separa el Isopentano, que sale por cabeza con una composición aproximada de 89% en peso. El producto de fondo (Nafta 4) se envía a una línea de proceso independiente, para que continúe su transformación.

La generación energética por su parte, se desarrolla en cercanías de la planta desisopentanizadora, y utiliza *gas natural* o *Gasoil pesado de vacío desulfurado*, dependiendo casi exclusivamente del aspecto económico. En la cámara de combustión de la turbina, se alimenta el combustible y el aire, en una proporción determinada que permita la combustión. Los gases de combustión pasan a la turbina donde se produce la electricidad y se envían los gases resultantes a la caldera de recuperación donde se alimenta el agua para producir el vapor. Para la simulación del proceso mediante el software Hysys.Plant®, se utilizó el “entorno de columna” como de la simulación del sistema.

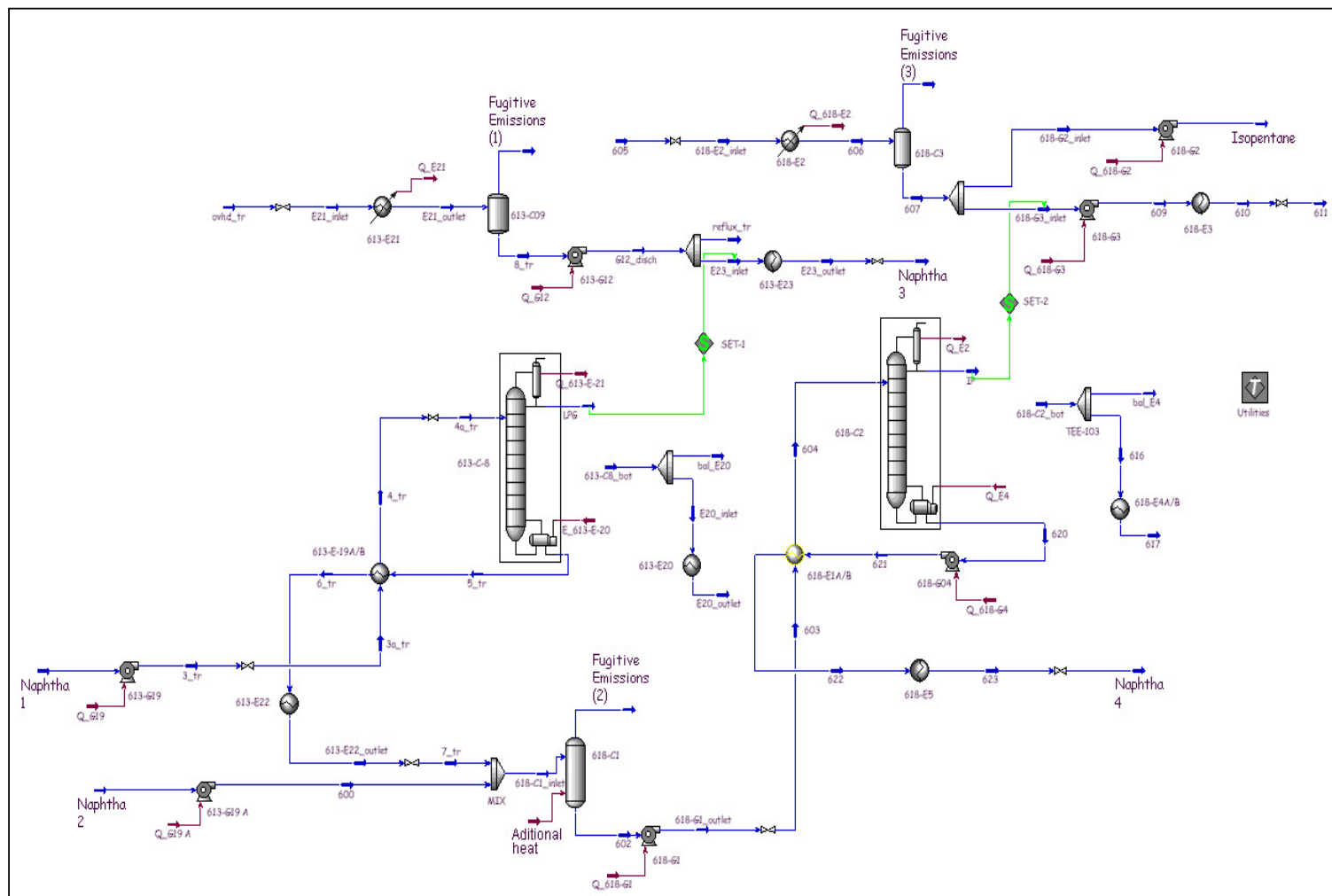


Figura 5.33. Diagrama de flujo del proceso de separación.

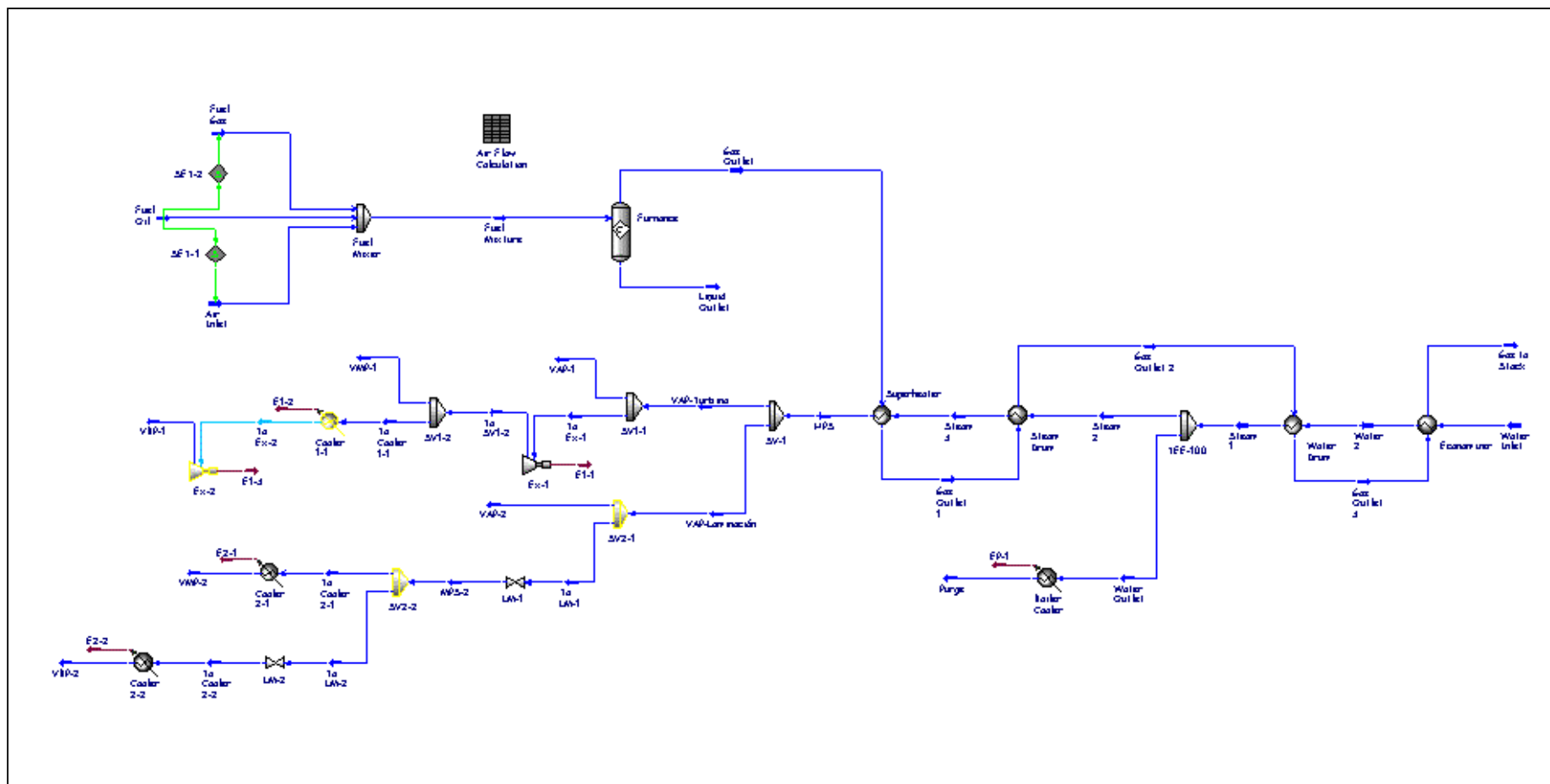


Figura 5.34 Diagrama de flujo del proceso de generación de energía

5.3.3.2 Memoria de cálculo del proceso

Un aspecto novedoso en la transferencia de información, es el desarrollo de una extensión en la herramienta de simulación, que permitió la visualización de las cargas ambientales en las diferentes corrientes del modelo simulado.

El resultado de la extensión fue la inclusión en la simulación del valor de las cargas ambientales de las diferentes corrientes. La extensión puede contener las características y elementos deseados, y su desarrollo se divide en dos partes: 1) creación de la ventana de visualización y 2) la programación de los datos de interés.

Se realizaron dos extensiones con diferentes características de programación, pero con la misma funcionalidad, la de facilitar la transferencia de información entre Excel y Hysys.Plant.

Como resultado de esta integración, se crearon al interior de las simulaciones desarrolladas en Hysys, dos ventanas con diferentes características: la primera (Figura 5.35), hace posible la elección de corrientes, proporciona información general de éstas y tiene definida diferentes cargas ambientales (CO_2 , NO_x , etcétera). La segunda (Figura 5.36), posee las mismas características que la anterior, pero se diferencia en el lugar donde deben situarse los valores de las cargas ambientales. En la primera, la tabla destinada a las emisiones tiene definidas todas las cargas deseadas como *User Variables*, y en cambio en la segunda ventana las cargas no están definidas, sino que se define una matriz, con el fin que la transferencia de información entre Excel y Hysys.Plant se realice allí.

Un aspecto importante a tener en cuenta, es que las dos extensiones han sido programadas en diferentes lenguajes: C++ para la primera extensión y Visual Basic para la segunda.

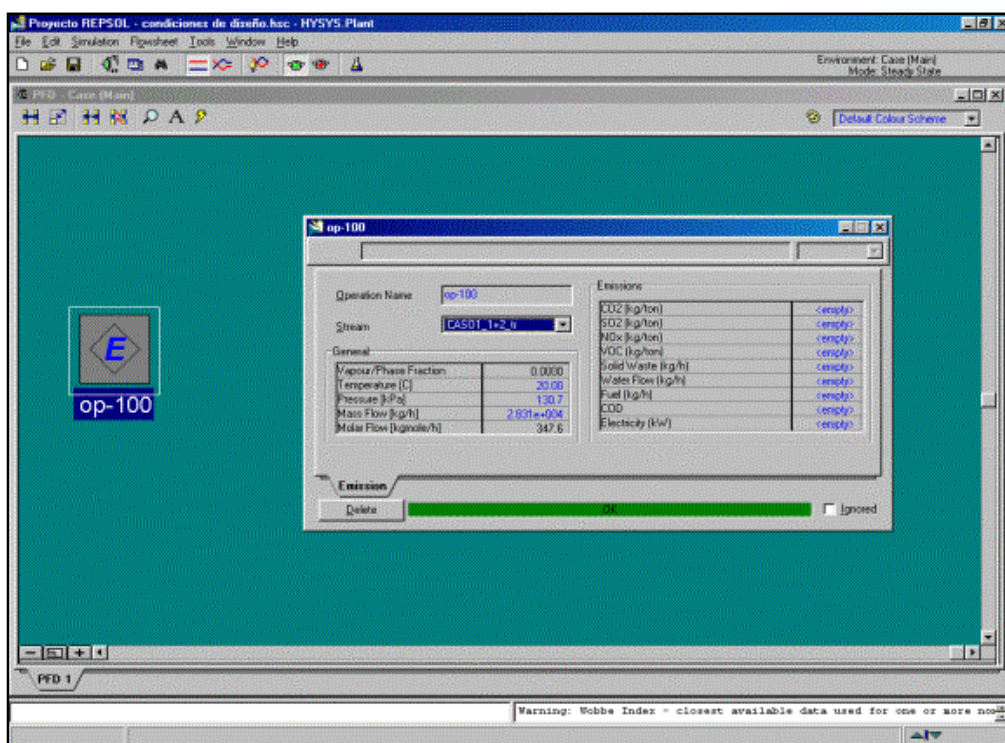


Figura 5.35. Extensión de la transferencia programada en lenguaje C++.

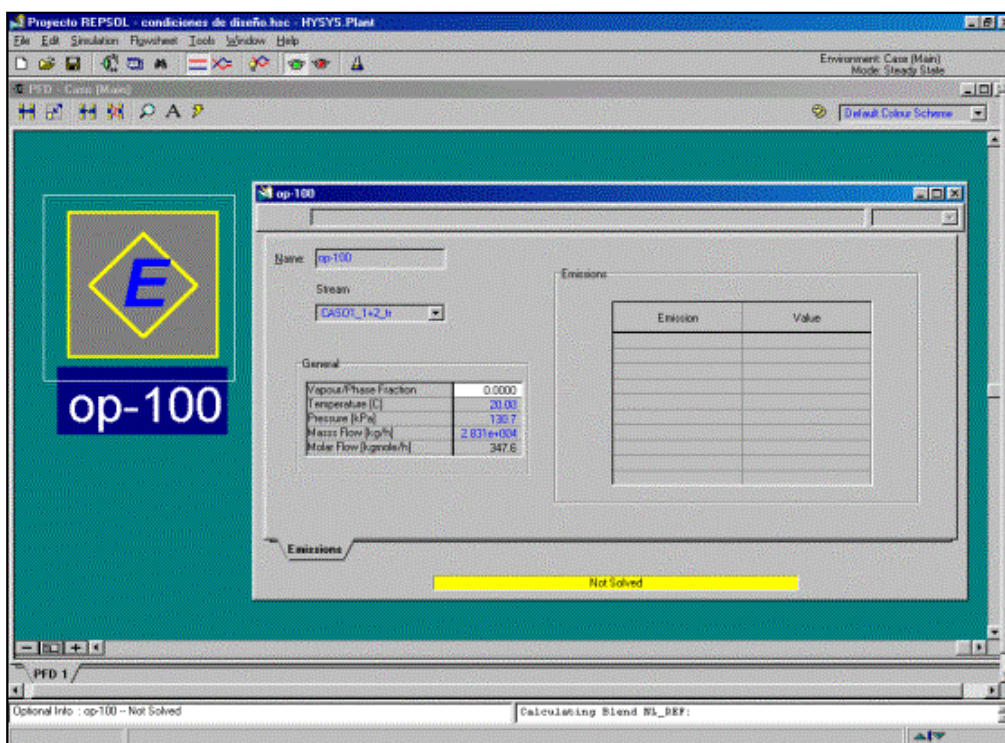


Figura 5.36. Extensión en Visual Basic.

Las ventanas creadas en el entorno de simulación del proceso -de manera que se pudieran incluir las cargas ambientales-, fue satisfactoria, si embargo, la aplicación de las extensiones a la

fase de transferencia de información en la evaluación del proceso, presentó algunos inconvenientes, debido al hecho de que cada corriente debía ser programada en un modulo diferente con el consecuente coste en tiempo de programación.

Transferencia de información.

La transferencia de información se realizó en concordancia con lo propuesto en el desarrollo metodológico presentado en el capítulo cuarto. En este caso específico, la información de salida generada por la simulación, se transfirió a una hoja de cálculo (Microsoft Excel®) a través de macros programados en Visual Basic

En la Figura 5.37, se muestra parte de la interfaz de transferencia, que posteriormente es utilizada para la creación de la memoria de cálculo del análisis, que es evidentemente, la base para la evaluación técnica y ambiental del proceso. Las Tablas 5.29 y 5.30 presentan la información importada del modelo (extraída a través de la interfaz), que conforma la memoria de cálculo y permite iniciar la evaluación.

Volcado a Hysys

Volcado a Excel

Nafta 1	
Component	Massic Fraccion
i - C4	0,0030
n - C4	0,0234
i - C5	0,1969
n - C5	0,2179
Ciclopentano	0,0069
22 - Mbutano	0,0068
23 - Mbutano	0,0090
2 - Mpentano	0,0558
3 - Mpentano	0,0295
n - C6	0,0897
Mciclopentano	0,0130
Ciclohexano	0,0154
Benzeno	0,0186
NBP(0)85*	0,0499
NBP(0)93*	0,0339
NBP(0)101*	0,0312
NBP(0)109*	0,0306
NBP(0)118*	0,0314
NBP(0)126*	0,0347
NBP(0)134*	0,0331
NBP(0)85141*	0,0198
NBP(0)150*	0,0157
NBP(0)85158*	0,0134
NBP(0)166*	0,0108
NBP(0)175*	0,0096
NBP(1)83*	0,0000
NBP(1)90*	0,0000
NBP(1)97*	0,0000
NBP(1)103*	0,0000
Total	1,0000
Mass Flow (kg/h)	28300
T (°C)	20,0
P (KPa)	130,7

Nafta 2	
Component	Massic Fraccion
i - C4	0,0006
n - C4	0,0073
i - C5	0,1480
n - C5	0,1638
Ciclopentano	0,0168
22 - Mbutano	0,0029
23 - Mbutano	0,0185
2 - Mpentano	0,1024
3 - Mpentano	0,0556
n - C6	0,1480
Mciclopentano	0,0769
Ciclohexano	0,0344
Benzeno	0,0190
NBP(0)85*	0,0000
NBP(0)93*	0,0000
NBP(0)101*	0,0000
NBP(0)109*	0,0000
NBP(0)118*	0,0000
NBP(0)126*	0,0000
NBP(0)134*	0,0000
NBP(0)85141*	0,0000
NBP(0)150*	0,0000
NBP(0)85158*	0,0000
NBP(0)166*	0,0000
NBP(0)175*	0,0000
NBP(1)83*	0,1043
NBP(1)90*	0,0348
NBP(1)97*	0,0334
NBP(1)103*	0,0333
Total	1,0000
Mass Flow (kg/h)	71500
T (°C)	43,0
P (KPa)	336,7

Consumo de energía	
613-619	
power (KW)	15,51
613-612	
power (KW)	15,32
613-E21	
n° fans	14
power (KW)	87,92
618-G3	
power (KW)	19,92
618-G4	
power (KW)	71,16
618-E2	
n° fans	14
power (KW)	243,46
Total Electricity Consumption of U-613	
power (KW)	118,75
Total Electricity Consumption of U-618	
power (KW)	430,83
Electric Consumption of Auxiliar Systems	
power (KW)	11,86
Total Electricity Consumption of Plant	
power (KW)	561,45
Total Steam Consumption	
power (KW)	20047,63

Subproducto 1	
Component	Massic Fraccion
i - C4	0,1624
n - C4	0,8365
i - C5	0,0011
n - C5	0,0001
Ciclopentano	0,0000
22 - Mbutano	0,0000
23 - Mbutano	0,0000
2 - Mpentano	0,0000
3 - Mpentano	0,0000
n - C6	0,0000
Mciclopentano	0,0000
Ciclohexano	0,0000
Benzeno	0,0000
NBP(0)85*	0,0000
NBP(0)93*	0,0000
NBP(0)101*	0,0000
NBP(0)109*	0,0000
NBP(0)118*	0,0000
NBP(0)126*	0,0000
NBP(0)134*	0,0000
NBP(0)85141*	0,0000
NBP(0)150*	0,0000
NBP(0)85158*	0,0000
NBP(0)166*	0,0000
NBP(0)175*	0,0000
NBP(1)83*	0,0000
NBP(1)90*	0,0000
NBP(1)97*	0,0000
NBP(1)103*	0,0000
Total	1,0000
Mass Flow (kg/h)	510
T (°C)	47,7
P (KPa)	493,6

Isopentano	
Component	Massic Fraccion
i - C4	0,0028
n - C4	0,0458
i - C5	0,8900
n - C5	0,0614
Ciclopentano	0,0000
22 - Mbutano	0,0000
23 - Mbutano	0,0000
2 - Mpentano	0,0000
3 - Mpentano	0,0000
n - C6	0,0000
Mciclopentano	0,0000
Ciclohexano	0,0000
Benzeno	0,0000
NBP(0)85*	0,0000
NBP(0)93*	0,0000
NBP(0)101*	0,0000
NBP(0)109*	0,0000
NBP(0)118*	0,0000
NBP(0)126*	0,0000
NBP(0)134*	0,0000
NBP(0)85141*	0,0000
NBP(0)150*	0,0000
NBP(0)85158*	0,0000
NBP(0)166*	0,0000
NBP(0)175*	0,0000
NBP(1)83*	0,0000
NBP(1)90*	0,0000
NBP(1)97*	0,0000
NBP(1)103*	0,0000
Total	1,0000
Mass Flow (kg/h)	16075
T (°C)	47,7
P (KPa)	204,3

Figura 5.37 Interfaz proceso de separación

Tabla 5.29 Consumos de materias primas y recursos naturales

	Operación del Proceso	Consumo (kg/h)
Materias primas	Columna 1	2.83E+04
	Columna 2	7.15E+04
Total materias primas		9.98E+04
Agua	Equipo 613-E22	2.34E+03
	Equipo 613-E23	1.60E+02
	Equipo 618-E3	6.84E+04
	Equipo 618-E5	9.03E+03
	Torre de Refrigeración	2.51E+03
<i>Total consumo de agua</i>		8.25E+04
Agua de reposición		6.60E+04

Tabla 5.30 Consumos de recursos energéticos

Recurso energético	Operación del Proceso	Consumo (KW)	(KW/Kg alimento)
Vapor	Calentador de 613-C8	1.61E+03	5.80E+01
	Calentador de 618-C2	1.84E+04	6.65E+02
Total vapor		2.00E+04	7.23E+02
Electricidad	bomba 613-G19	1.55E+01	5.60E-01
	bomba 613-G12	1.53E+01	5.53E-01
	bomba 618-G19 A	1.33E+01	4.78E-01
	bomba 618-G1	3.14E+01	1.13E+00
	bomba 618-G2	5.16E+01	1.86E+00
	bomba 618-G3	1.99E+01	7.19E-01
	bomba 618-G4	7.12E+01	2.57E+00
	Bomba/torre de Refrigeración	1.19E+01	4.28E-01
	sistema refrigerante U-618	2.43E+02	8.78E+00
	sistema refrigerante U-613	8.79E+01	3.17E+00
Total electricidad	-	5.61E+02	2.03E+01
Energía total	-	2.06E+04	7.43E+02

La información contenida en las Tablas 5.29 y 5.30, sirve de base para determinar el inventario y definir los escenarios a evaluar.

5.3.4 Análisis técnico y económico del proceso de separación de Isopentano

5.3.4.1 Escenarios evaluados

A partir del proceso general, se definieron ocho escenarios o alternativas de producción, en las cuales se mantuvo invariable la separación de IP por destilación, pero donde varió la forma de generación energética. Los escenarios considerados para la generación de electricidad y vapor se presentan en la Tabla 5.31.

Tabla 5.31 Escenarios para la evaluación ambiental del proceso

Escenario	Generación Electricidad	Generación Vapor	Combustibles
1	Cogeneración	Laminación de vapor (LV)	Gas Natural
2	Cogeneración	Expansión de vapor (EV)	Gas Natural
3	Cogeneración	LV con recuperación de calor	Gas Natural
4	Cogeneración	EV con recuperación de calor	Gas Natural
5	Expansión de vapor caldera (EVC)	Combustión de fuel oil y fuel gas	90,9% Fuel Oil 9,1% Fuel Gas
6	Matriz España	Laminación de vapor de caldera (LVC)	86,7% Fuel Oil 8,7% Fuel Gas 0,4% Gas Natural 0,7% Crudo 3,6% Carbón
7	EVC y Matriz España	Caldera con recuperación de calor	75,5% Fuel Oil 7,5% Fuel Gas 1,5% Gas Natural 2,6% Crudo 13,9% Carbón
8	Matriz España	LVC y recuperación de calor	58,0% Fuel Oil 5,8% Fuel Gas 3,0% Gas Natural 5,3% Crudo 27,9% Carbón

En la tabla anterior, los escenarios representan las diferentes alternativas de producción de energía identificadas para el proceso de producción. Sin perder de vista que es un proceso existente y que forma parte de un proceso de mayor cobertura, la decisión de mantener la etapa de separación igual en todos los escenarios, se basa en la dificultad técnica de realizar cambios para todo el proceso.

Los escenarios del 1 al 4 como se puede ver en la tabla anterior, representan la producción de energía a través de co-generación por laminación y expansión, utilizando gas natural como combustible. En estos cuatro escenarios, también se evalúa el ahorro energético por medio de la transmisión de energía de procesos o etapas diferentes al proceso estudiado.

Por otra parte, los escenarios 5 al 8 representan una variación de las condiciones de operación y por consiguiente, se evaluaron alternativas tales como: 1) diferencias en combustibles, 2) diferencias en los equipos de generación de vapor y 3) utilización de la red nacional de electricidad.

5.3.4.2 Análisis técnico

La caracterización técnica consistió en la especificación y descripción de cada uno de los equipos que configuran los escenarios junto con las corrientes de proceso y las especies químicas presentes.

Para cada uno de los equipos se detallaron las variables más representativas, tales como temperatura y presión de operación, eficiencias, pérdidas de carga y flujos energéticos asociados, además de las corrientes de entrada y salida y su conexión con los equipos restantes. La Tabla 5.32 presenta un resumen de la caracterización técnica para los escenarios evaluados.

Tabla 5.32 Resumen general de la caracterización técnica.

<i>Elemento técnico</i>		<i>Escenarios</i>							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Corrientes		26	25	22	21	25	26	21	22
Equipos		15	14	12	11	13	14	10	11
Tipo de equipo	Mezclador	1	1	1	1	1	1	1	1
	Reactor	1	1	1	1	1	1	1	1
	Turbina de expansión	1	3	1	2	2	-	1	-
	Intercambiador	4	4	4	4	4	4	4	4
	Separador de flujo	3	3	2	2	3	3	2	2
	Enfriador	3	2	2	1	2	3	1	2
	Válvula	2	-	1	-	-	2	-	1

La Tabla 5.32, permite disponer de la información relacionadas con las condiciones de operación, las especificaciones de equipos y corrientes y la configuración final del proceso. El Anexo B (sección B1), muestra los datos obtenidos para cada uno de los escenarios evaluados.

5.3.4.3 Análisis económico

El análisis se centró en la evaluación económica de los principales equipos que componen cada escenario. Los resultados finales se muestran en la Tabla 5.33 y en el Anexo B (sección B.2). Para poder efectuar dicha comparación se ha evaluado el coste del equipo unitario y el coste asociado a la corriente de operación. El primer tipo de coste se evaluó a través de la herramienta CAPCOST©Software actualizando el valor del índice de costes CEPCI [Turton et al, 1998]. Así mismo, se desarrolló un balance económico, calculando el coste de operación asociado al flujo de calor y/o vapor, [Ulrich, 1984].

En el actual análisis económico, la amortización de los equipos -considerándola como un concepto económico en el que se incluyen la pérdida de valor que sufren los activos fijos y que, por lo tanto, supone un coste para la empresa -, se consideró como la parte del coste de adquisición que se incorpora en el coste final del producto [Jiménez, 2003]

Tabla 5.33 Resumen general de la caracterización económica de equipos.

Costes	Escenarios							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Coste de equipos (\$)	1,33E+06	4,59E+06	4,59E+06	1,27E+06	1,53E+06	2,83E+05	9,65E+05	2,83E+05
Costes de producción (\$/kW)	1,38E+02	3,60E+02	3,60E+02	1,32E+01	1,31E+01	1,36E+02	1,26E+01	1,18E+01

La información de la Tabla 5.33, se representa gráficamente en la Figura 5.38, donde puede verse claramente la variación de los costes por equipos y de producción de una forma mucho más clara.

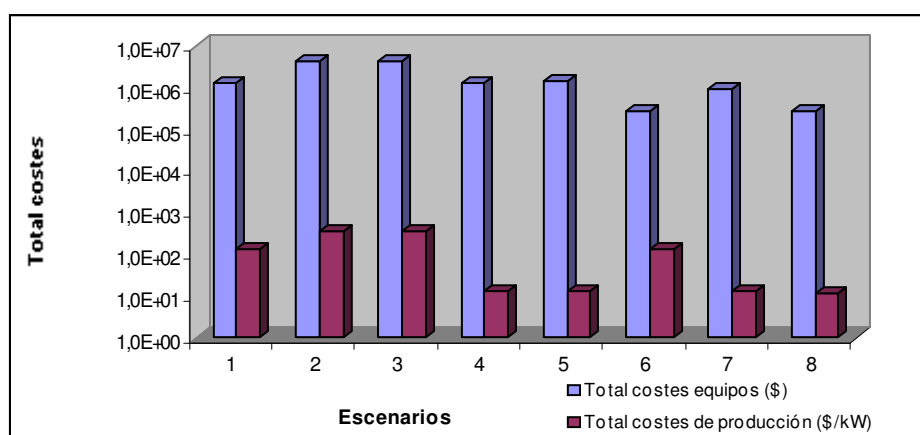


Figura 5.38. Comparación de costes en el análisis económico del proceso.

De acuerdo con la Tabla 5.33 y la Figura 5.38, las alternativas de menor coste total por equipo, son los escenarios 6 y 8, mientras que el menor coste por producción, lo presentan los escenarios 8, 7, 5 y 4 respectivamente.

5.3.5 Análisis del Inventario

En el presente apartado, se presentan los resultados del inventario del proceso en estudio. Dicho inventario se muestra en forma de eco-vector y comprende no solo el consumo de materiales por unidad funcional, sino también las descargas de sustancias a través de emisiones -fugitivas y de gases de combustión-, vertidos líquidos y residuos sólidos. La asignación de cargas estuvo basada principalmente en el rendimiento másico de productos y sub-productos.

5.3.5.1 Inventario de consumos y descargas del sistema

Como unidad funcional se tomó la producción anual de Isopentano (IP), que corresponde a 1.27E5 toneladas, aplicando criterios másicos. Este compuesto corresponde a la corriente “Isopentane” en el diagrama de la Figura 5.34. A continuación, la Tabla 5.34 muestra el inventario de flujos de entrada y salida para el escenario 1 (electricidad por cogeneración y vapor por laminación). Los resultados para los demás escenarios se muestran en el Anexo B

Tabla 5.34 flujos de materia y energía del escenario 1

1 ENTRADAS		
Corrientes	Caudales	Total
Gas Natural (kg/h)	2120.65	73007.75
Aire (kg/h)	35333.57	
Agua (kg/h)	35553.53	
2 SALIDAS		
2.1 PRODUCTOS DEL SISTEMA		
Electricidad Turbina a Gas (KW)	560.80	560.80
Vapor de Media Presión (kg/h)	3021.93	34837.69
Vapor de Baja Presión (Kg/h)	31815.76	
2.2 EMISIONES ATMOSFERICAS		
Caudal de Gases por la Chimenea (kg/h)		37453.84
Compuestos	Fracción másica	Caudal (kg/h)
N ₂	0.68747	25748.22
O ₂	0.03864	1447.10
CO ₂	0.15261	5715.65
H ₂ O	0.12121	4539.80
NOx	0.00008	3.06
Partículas	-	0.285
2.3 VERTIDOS LIQUIDOS		
COD (kg/l)	-	0.073

5.3.5.2 Evaluación de otras descargas puntuales

No se han observado descargas puntuales en el proceso debido a accidentes, ni ha sido posible medir las emisiones fugitivas en las instalaciones. Sin embargo, y considerando los reportes de este tipo de emisiones en la literatura, se ha supuesto una emisión fugitiva en el modelo simulado, correspondiente al uno por ciento (1%) de la Nafta alimentada.

5.3.5.3 Reporte de resultados del inventario

Una vez desarrollados todos los escenarios, y evaluadas las corrientes de entrada y salida, el siguiente paso es establecer las cargas que conforman el eco-vector. En este caso de estudio, las cargas tenidas en cuenta, se presentan en la Figura 5.39.

<u>Carga</u>	<u>Vapor</u>	<u>Electricidad</u>	<u>Separación</u>
Entradas			
Agua	--	--	--
Gas Natural	--	--	--
Fuel Oil	--	--	--
Fuel Gas	--	--	--
Carbón	--	--	--
Crudo	--	--	--
Salidas			
CO ₂	--	--	--
SO ₂	--	--	--
NO _x	--	--	--
COV's	--	--	--
COD	--	--	--

Figura 5.39. Cargas ambientales a evaluar en el inventario del proceso de separación

El informe resultado del inventario, es el primer nivel de detalle de la evaluación ambiental, con base en él, se desarrollarán los siguientes niveles en el análisis ambiental del proceso.

Con base en la unidad funcional, los balances de todos los escenarios evaluados, la Tabla 5.35 presenta el eco-vector para los escenarios evaluados. Inicialmente se describen las entradas en forma de consumo de recursos naturales, y finalmente las descargas o emisiones para cada uno de los escenarios evaluados.

Tabla 5.35. Eco-vector de cargas ambientales por escenario evaluado.

(Ton/Ton IP)	Escenarios de evaluación							
	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7	Esc 8
Consumos								
Agua	4,27E+00	5,89E+00	4,27E+00	4,27E+00	5,89E+00	5,94E+00	4,28E+00	4,31E+00
Gas Natural	1,32E-01	1,29E-01	1,40E-02	1,23E-02	--	5,83E-04	2,28E-04	1,13E-02
Fuel Oil	--	--	--	--	1,31E-01	1,31E-01	1,13E-02	1,13E-03
Fuel Gas	--	--	--	--	1,31E-02	1,31E-02	1,13E-03	5,45E-03
Carbón	--	--	--	--	--	5,44E-03	2,13E-03	1,03E-03
Crudo	--	--	--	--	--	1,03E-03	4,02E-04	4,31E+00
Emisiones								
CO ₂	3,57E-01	3,02E-01	3,78E-02	3,32E-02	3,97E-01	4,73E-01	4,61E-02	5,58E-02
SO ₂	--	--	--	--	5,07E-04	6,50E-04	3,69E-05	1,43E-04
Nox	--	--	--	--	--	3,31E-05	1,29E-05	3,31E-05
COV	5,22E-02	5,22E-02	5,22E-02	5,22E-02	5,22E-02	5,23E-02	5,22E-02	5,23E-02
Vap de agua	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01	1,57E-01
Mat Part	1,77E-05	1,54E-05	1,54E-06	1,54E-06	3,17E-04	4,38E-04	5,98E-05	1,04E-04
DQO	4,53E-06	3,92E-06	3,93E-07	3,93E-07	2,43E-06	2,87E-06	2,66E-07	3,02E-07
Resíd Sól	--	--	--	--	--	3,10E-03	--	3,10E-03

La información de los consumos de la Tabla 5.35, puede verse representada gráficamente en las Figuras 5.40, y 5.41, donde se puede hacer una comparación cuantitativa del consumo de agua y combustibles respectivamente.

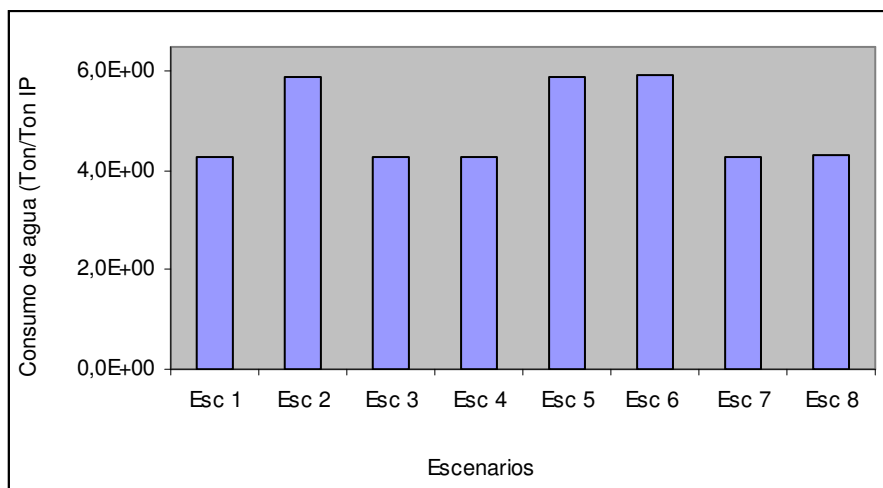


Figura 5.40 Consumo de agua por escenario.

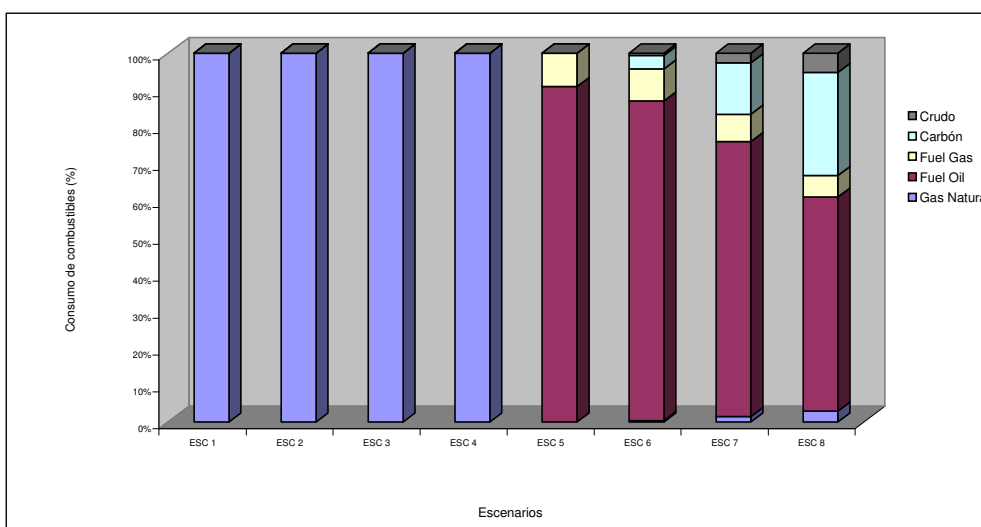


Figura 5.41 Consumo de combustibles en el proceso de separación de Isopentano.

En la figura anterior, puede verse claramente que los escenarios del 5 al 8 utilizan más de un tipo de combustible, lo que genera dificultades en la determinación de los efectos y su relación con una carga determinada.

En cuanto a las emisiones (ver Tabla 5.35), en términos generales, las sustancias que muestran una mayor descarga al aire son el dióxido de carbono y el vapor de agua. Todos los escenarios muestran una alta contribución de dichos compuestos en sus descargas, sin embargo, vale la pena considerar en forma separada las demás cargas, debido a su importancia en los efectos que

posteriormente se determinarán. La Figura 5.41 describe de manera gráfica las emisiones para la comparación de los diferentes escenarios.

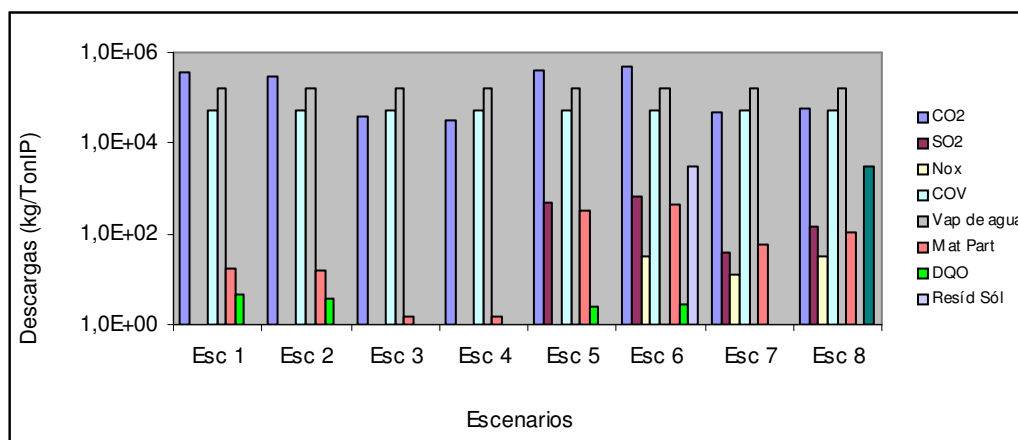


Figura 5.42 Emisiones del proceso por escenario

De acuerdo con la Figura 5.42, los escenarios que presentan una mayor contribución en la mayoría de las emisiones son el grupo conformado por los escenarios del 5 al 8. Este resultado es evidente, considerando que son los escenarios donde se utiliza una mayor variedad de combustibles y con una menor proporción de Gas Natural, situación diferente a la observada en los cuatro escenarios iniciales. Así mismo, es importante resaltar, que los escenarios 5 y 7, en los cuales el combustible principal es el Fuel Oil y donde además no se realiza recuperación de energía, son los que presentan un mayor aporte de emisión.

5.3.5.4 Análisis de los resultados del inventario

Los resultados obtenidos en la cuantificación del inventario, muestran una clara evidencia de los escenarios que presentan las mayores cargas ambientales. Dichas cargas se presentan no sólo en forma de consumo de recursos naturales, sino también como descargas. Como se describió en el apartado anterior, los escenarios que presentan un mayor aporte en cargas ambientales son los últimos cuatro (grupo del 5 al 8), sin embargo, es necesaria una evaluación en mayor detalle, de manera que puedan ser determinadas las cargas más importantes y que presenten diferencias considerables entre ellas y los escenarios.

La carga ambiental presente en mayor proporción en todos los escenarios de evaluación, es el dióxido de carbono. La Figura 5.43, muestra en forma gráfica, la variación de la descarga de dicha sustancia en ton/ton de producto, para los ocho escenarios evaluados.

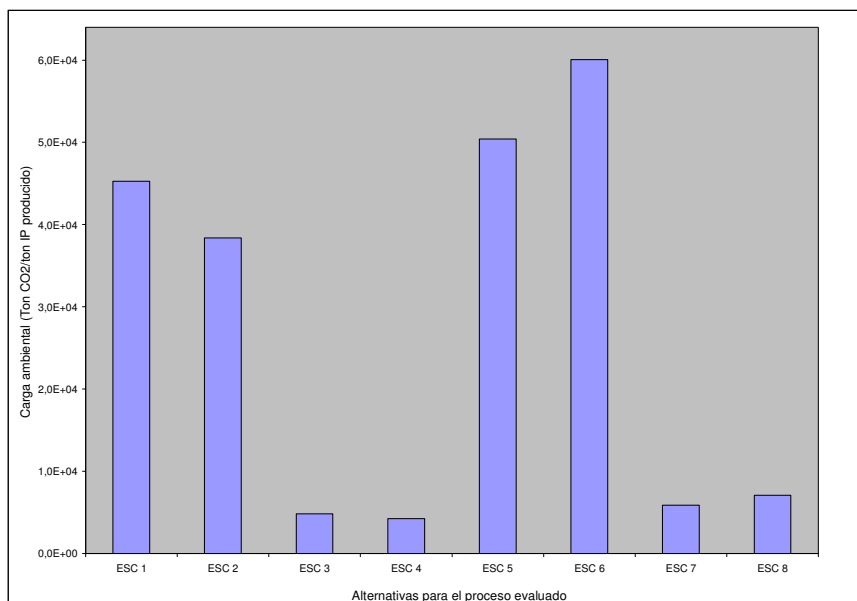


Figura 5.43. Emisión de dióxido de carbono por alternativa evaluada

Además del dióxido de carbono, están presentes otras cargas ambientales que deben ser tenidas en cuenta. Manteniendo un criterio másico de selección (Toneladas emitidas), las demás cargas ambientales que fueron tenidas en cuenta para el análisis del inventario son: los compuestos orgánicos volátiles (COV's), óxidos de nitrógeno (NO_x), y óxidos de azufre (SO_2). Los resultados de estas cargas se presentan en la Figura 5.44.

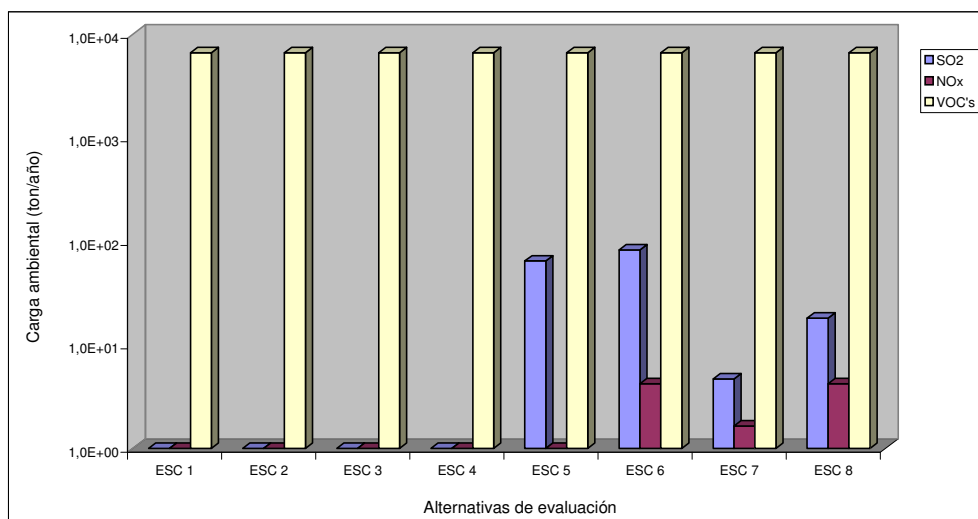


Figura 5.44. Cargas ambientales de interés para el análisis del proceso

En los escenarios 6, 7 y 8 se observan emisiones considerables de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, y compuestos orgánicos volátiles (COV's). Teniendo en cuenta que el objetivo de la evaluación es analizar las cargas ambientales reportadas como importantes en el análisis de

inventario, es sobre estas sustancias, que se desarrollarán las siguientes etapas de la evaluación ambiental.

La siguiente etapa del análisis ambiental, es la evaluación del destino de las sustancias descargadas en los compartimentos: aire, agua, suelo y sedimento. Sabiendo que los procedimientos de evaluación de destino tienen en cuenta, los mecanismos de transformación de las sustancias emitidas, el estudio se realizó teniendo en cuenta los compuestos que pueden ser formados por las todas las sustancias estudiadas.

En el caso de los COV's, se han contabilizado como tal, las emisiones fugitivas de las Naftas en el proceso. A su vez, los óxidos de azufre y nitrógeno cuantificados en el inventario, fueron evaluados no sólo de forma individual, sino también los contaminantes secundarios que pueden formarse a partir de estos por oxidación (NO_2 , HNO_3 , H_2SO_4), y pueden formar sales (nitratos, sulfatos). La Figura 5.45 presenta un esquema de transformación de dichos óxidos.

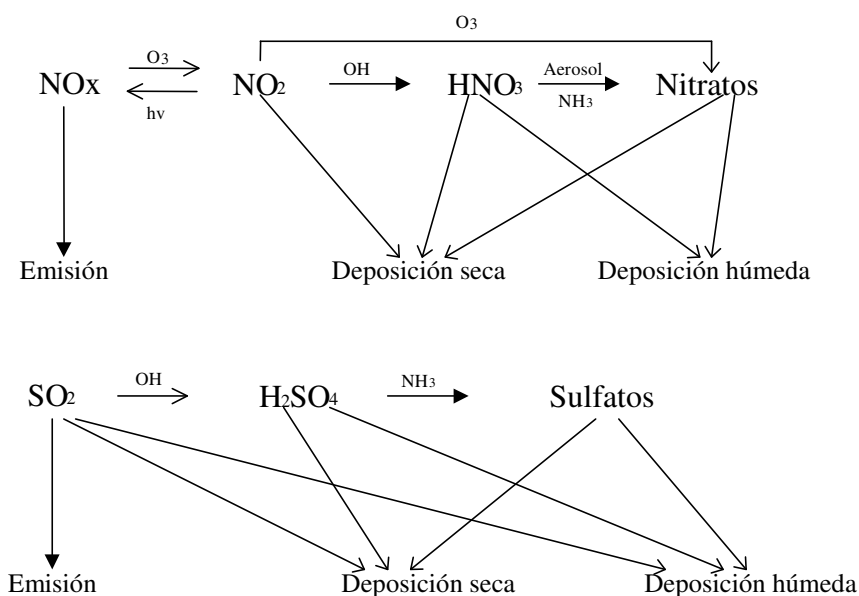


Figura 5.45. Transformación de contaminantes primarios y secundarios de óxidos de azufre y nitrógeno

La Figura 5.45, muestra los contaminantes primarios y secundarios que pueden llegar a ser formados por los óxidos de azufre y nitrógeno. La siguiente etapa del análisis ambiental, se centró en estos contaminantes, y los compuestos orgánicos volátiles.

5.3.6 Evaluación del destino y exposición

La evaluación del destino de sustancias corresponde al tercer paso de la metodología, y de acuerdo con los objetivos y alcances definidos para el actual estudio, incluye aire (con presencia de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre), agua y sedimentos (presencia de ácidos por

deposición húmeda y seca) y suelo (presencia de sulfatos y nitratos por deposición húmeda y seca).

La evaluación del destino, se basa en el desarrollo de dos pasos: 1) la caracterización de las sustancias que serán evaluadas y 2) la caracterización del entorno donde se depositarán.

3.5.6.1 Caracterización de sustancias provenientes del inventario

Las sustancias provenientes del inventario evaluadas en la etapa anterior deben ser caracterizadas a través de sus propiedades fisicoquímicas.

El primer paso para la caracterización, es la identificación de las sustancias factibles de ser evaluadas y para las cuales se pueden identificar las propiedades que permiten su caracterización. Por lo tanto, las sustancias emitidas pueden ser clasificadas en orgánicas, inorgánicas, además de partículas y metales pesados.

De acuerdo con los resultados de la etapa de inventario, las sustancias más importantes, en términos de cantidades son: el dióxido de carbono, los óxidos de azufre y nitrógeno, y las emisiones fugitivas de Naftas (las emisiones fugitivas, se tomaron como compuestos orgánicos volátiles para su análisis). En la etapa de destino, no ha sido evaluado el dióxido de carbono, debido del que no se ha reportado su presencia en compartimentos diferentes al aire, y así mismo, por que aún, se desconocen objetivamente sus efectos. En este sentido, las sustancias que se han evaluado y caracterizado se presentan en la Tabla 5.36.

Tabla 5.36. Propiedades fisicoquímicas de las sustancias a evaluar.

Sustancias	Propiedades					
	Peso mol (g/mol)	P. de ebullición (°C)	P. de fusión (°C)	Presión de vapor (Pa)	Solubilidad (mg/l)	Vida media en aire (días)
Óxidos de azufre (SO ₂)	6.40E+01	-7.60E+01	-1.00E+01	3.86E+05	1.12E+02	3.00E+00
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	3.00E+01	-1.64E+02	-1.52E+02	1.01E+05	--	1.00E+00
Naftas (COV's)	1.07E+02	8.45E+01	--	4.97E+02	4.60E+00	1.62E+03

Fuente: CEPIS, 2003; Calamari, 1993.

Con base en los resultados obtenidos en la aplicación de los modelos de evaluación del destino de sustancias, la Tabla 5.37 presenta los coeficientes de partición en los diferentes medios estudiados.

Tabla 5.37. Coeficientes de partición de las sustancias a evaluar su destino

<i>Coeficientes de partición</i>	<i>Sustancias</i>		
	<i>Contaminantes primarios y secundarios de nitrógeno</i>	<i>Contaminantes primarios y secundarios de azufre</i>	<i>COV's (Nafta)</i>
Octanol-Agua (Kow)	2.63E-01	1.02E+00	2.40E+03
Aire-Agua (Kaw)	1.90E-03	7.54E-02	2.14E-04
Suelo-Agua	5.18E-03	2.01E-02	4.72E+01
Sedimento-Agua	1.04E-02	4.03E-02	9.44E+01

Fuente: Crettaz, 2001; Hertwich E, 2001

La información contenida en las tablas anteriores, caracteriza las sustancias que han de ser evaluadas en términos de su destino. Por otra parte, las características del entorno, hacia donde las sustancias se transportarán y depositarán, es otro aspecto que debe ser evaluado.

5.3.6.2 Caracterización del entorno (Diferenciación espacial)

En la caracterización del entorno es necesario relacionar los aspectos espaciales que determinan en alguna medida el destino de las sustancias descargadas por los procesos industriales y cuantificadas en el inventario. Estas características se definieron con ayuda de los modelos de evaluación del destino.

La planta de separación de Isopentano, está localizada en la área industrial de Tarragona, aproximadamente a 15 Km. del centro de la ciudad. Las principales características del entorno que han sido tenidas en cuenta en la evaluación del destino de las cargas ambientales en el proceso de separación de Isopentano, se presentan a continuación en la Tabla 5.38

Tabla 5.38 Características del entorno de ubicación de la planta

Característica	Medio	Valor
Área (m ²)	Aire	6.30E+09
	Agua	6.30E+07
	Suelo	1.39E+11
	Sedimento	1.07E+07
Altura media capa de aire (km)		1.00E+00
Superficie cubierta de agua (% del total)		1.00E+01
Velocidad (km/h)	Viento	1.44E+01
	Agua	3.60E+00
Condiciones de temperatura (°C)	Media anual	1.50E+01
	Media invierno	1.00E+01
	Media verano	3.00E+01
Velocidades de transporte (m/h)	Aire y aire-agua	5.00E+00
	Agua y aire-agua	5.00E-02
	Velocidad lluvia	1.00E-04
	Difusión en aire-suelo	2.00E-02
	Difusión suelo-aire	1.00E-05

A partir de los datos de ubicación de la planta, se definieron las características de los entornos de evaluación del destino. La Tabla 5.39 muestra los principales valores de las variables involucradas en un entorno local.

Tabla 5.39 Características del compartimento local para un entorno genérico

Característica	Compartimento	Local
Área (m ²)	Aire	6.30E+09
	Agua	6.30E+07
	Suelo	1.39E+11
	Sedimento	1.07E+10
Profundidad	Aire	1.00E+03
	Agua	2.00E+01
	Suelo	1.00E-01
	Sedimento	1.00E-02
Altura media aire (km)		2.00E+00
Superficie cubierta de agua (% del total)		1.00E+01
Velocidad (km/h)	Viento	1.44E+01
	Agua	3.60E+00
Fracción volumétrica aire	Aerosol	2.00E-11
	Partículas	2.00E-11
Fracción volumétrica agua	Sedimento suspendido	5.00E-06
	Peces	1.00E-06
Fracción volumétrica suelo	Aire	2.00E-01
	Agua	3.00E-01
	Sólidos	5.00E-01
Fracción volumétrica sedimentos	Agua	8.00E-01
	Sólidos	2.00E-01
Densidad (kg/m ³) subcompartimento aire	Vapor	1.21E+03
	Aerosol	2.40E+03
Densidad (kg/m ³) subcompartimento agua	Agua	1.00E+03
	Sedimentos suspendidos	1.50E+03
	Peces	1.00E+03
Densidad (kg/m ³) subcompartimento suelo	Aire	1.21E+03
	Agua	1.00E+03
	Sólidos	2.40E+03
Densidad (kg/m ³) subcompartimento sedim.	Agua	1.00E+03
	Sólidos	2.40E+03
Carbón orgánico (g/g)	Suelo	2.00E-02
	Sedimento	4.00E-02
	Sedimento suspendido	2.00E-01
	Sedimentos sólidos	4.00E-02
	Partículas en agua	2.00E-01
Condiciones de temperatura (°C)	Media anual	1.50E+01
	Media invierno	1.00E+01
	Media verano	3.00E+01
Velocidades de transporte (m/h)	Aire y aire-agua	5.00E+00
	Agua y aire-agua	5.00E-02
	Velocidad lluvia	1.00E-04
	Difusión en aire-suelo	2.00E-02
	Difusión suelo-aire	1.00E-05
	Difusión sedimento-agua	1.00E-04

Los valores de la escala local, han sido fijados para la evaluación en los correspondientes modelos.

La Tabla 5.39 resume las principales características definidas en la caracterización del entorno, sin embargo, estas no son las únicas, y su definición depende así mismo, del objetivo y alcance propuesto para cada estudio particular.

En otras palabras, la Tabla 5.39 es un resultado de la aplicación, puesto que las características de cada entorno de evaluación, varían en cada caso. Sin embargo, las variables que lo definen pueden servir de base para la determinación de diferentes entornos, cuando el objetivo del análisis, sea la ubicación de la planta industrial en un sitio diferente.

Finalmente en este apartado, vale la pena destacar, que en este caso particular las sustancias evaluadas, no presentan una fuerte variación con las características que en el desarrollo metodológico se proponen, como son persistencia, bioacumulación y toxicidad.

5.3.6.3 Cuantificación del destino de sustancias

Con base en las características de las sustancias cuyo destino se pretende evaluar, y las propiedades del entorno genérico (global o local), a continuación, se presentan la cuantificación de destino, para los compartimientos aire, agua, suelo y sedimento. De acuerdo con la definición de la unidad funcional, (Ton de isopentano producido) se ha tomado como base para evaluar el destino de las sustancias, un año de descarga continua. Las Tablas 5.40 a la 5.43 presentan los resultados obtenidos por la aplicación de los diferentes modelos de evaluación del destino (Caltex, ChemCan, TaPL3 y LIII), en los cuatro escenarios donde se observa la mayor emisión de las sustancias de interés (VOC's, compuestos derivados de los óxidos de nitrógeno y azufre). Los resultados presentados en estas tablas, representan los valores promedios obtenidos con los cuatro (4) modelos utilizados⁶, y son característicos para el entorno local tal como se planteó en la definición del objetivo y alcance del caso de aplicación

Los resultados obtenidos para los escenarios donde ha sido evaluado el destino en un entorno global, se presentan en el Anexo B, correspondiente a los resultados de los casos de aplicación.

Tabla 5.40. Matriz de destino (ecomedia) para el escenario 5

Concentración de Sustancia (g/m ³)	Aire	Agua	Suelo	Sedimento
Compuestos de azufre	3,00E-09	3,77E-09	1,33E-08	2,93E-09
COV's (Nafta)	5,56E-07	1,84E-05	3,27E-02	3,48E-04

⁶ Los modelos utilizados fueron: Caltex, Chemcan, Level III y TaPL3

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 5.40, no existen compuestos derivados de los óxidos de nitrógeno en los cuatro compartimentos donde se evaluó el destino. La concentración de compuestos de azufre y de orgánicos volátiles, no presenta una diferencia tan marcada en los compartimentos evaluados, con excepción del suelo, donde se reporta una diferencia considerable entre los dos tipos de compuestos.

Tabla 5.41. Matriz de destino (ecomedia) para el escenario 6

Concentración de Sustancia (g/m ³)	Aire	Agua	Suelo	Sedimento
Compuestos de nitrógeno	1,98E-11	5,99E-09	1,19E-08	3,61E-09
Compuestos de azufre	2,18E-10	2,74E-10	9,70E-10	2,13E-10
COV's (Nafta)	1,10E-10	6,02E-02	1,58E+01	1,79E+00

Tabla 5.42. Matriz de destino (ecomedia) para el escenario 7

Concentración de Sustancia (g/m ³)	Aire	Agua	Suelo	Sedimento
Compuestos de nitrógeno	4,26E-09	1,64E-02	7,86E-03	1,31E-02
Compuestos de azufre	8,59E-09	1,56E-04	3,44E-04	1,26E-04
COV's (Nafta)	1,10E-10	6,02E-02	1,58E+01	1,79E+00

Tabla 5.43. Matriz de destino (ecomedia) para el escenario 8

Sustancia (kg/m ³)	Aire	Agua	Suelo	Sedimento
Compuestos de nitrógeno	3,26E-10	5,52E-09	7,85E-08	1,66E-09
Compuestos de azufre	8,44E-10	1,06E-09	3,76E-09	8,27E-10
COV's (Nafta)	5,56E-07	1,84E-05	3,27E-02	3,48E-04

La evaluación del destino, en los escenarios 6 a 8, muestra una tendencia similar entre ellos. La sustancia y el compartimento con una mayor concentración, son los compuestos orgánicos volátiles y el suelo, respectivamente.

Adicionalmente, la información de las tablas anteriores, permite hacer una primera valoración acerca de la sustancia y el compartimento de mayor interés. En este caso, las emisiones fugitivas de la Nafta, y su capacidad de depositarse en una mayor cantidad en el suelo, es el aspecto a destacar. Sin embargo, es un resultado de alguna manera esperado, de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas.

A continuación, las Figuras 5.46 a 5.49, muestran gráficamente la tendencia mostrada por las alternativas evaluadas en los escenarios 5 al 8.

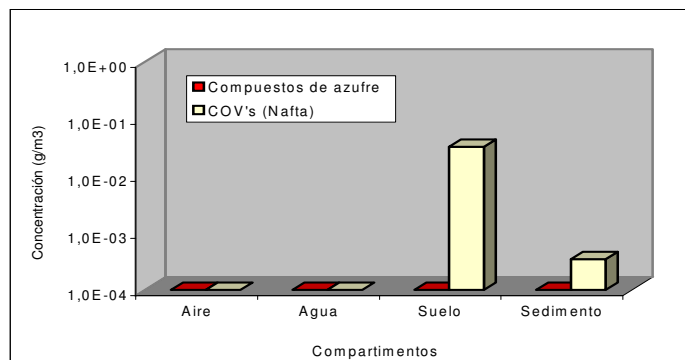


Figura 5.46. Destino de sustancias en el escenario 5

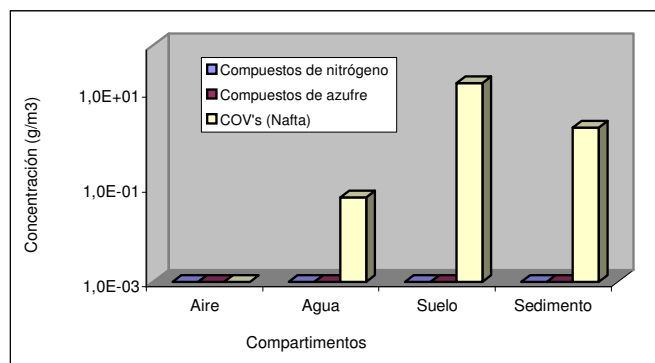


Figura 5.47. Destino de sustancias en el escenario 6

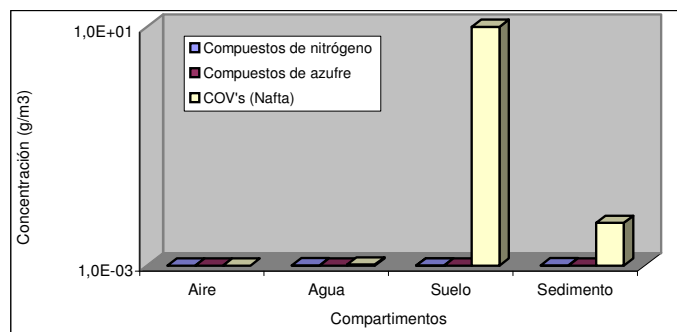


Figura 5.48. Destino de sustancias en el escenario 7

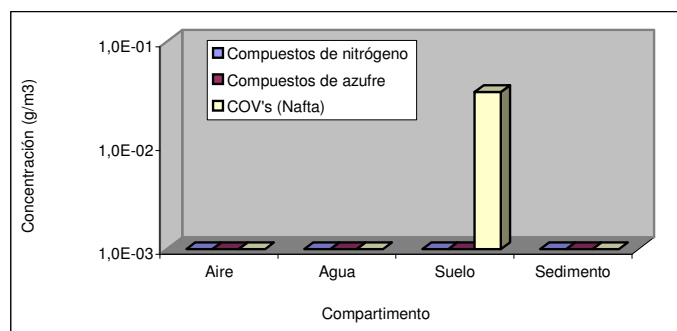


Figura 5.49. Destino de sustancias en el escenario 8

Finalmente y de acuerdo con las figuras, se puede resaltar que los escenarios 6 y 7, de los cuatro estudiados, son los que a su vez muestran las mayores concentraciones de dicha sustancia en el compartimento descrito.

5.3.6.4 Análisis de dominancia para los efectos a evaluar

Hasta ahora, se han determinado las cargas a evaluar y los compartimientos donde determinar el destino de dichas cargas, sin mencionar de una forma ordenada los criterios que se han tenido en cuenta. En este apartado se mostrará como un análisis de dominancia permitió determinar cuales son los efectos que debían ser evaluados, a partir de los datos de destino y de la exposición de las sustancias descargadas por el proceso.

Relación de cargas ambientales y posibles efectos

El primer criterio examinado en el análisis de dominancia, fue la relación de las cargas ambientales con los posibles efectos (riesgos o impactos reales). La Figura 5.50, muestra gráficamente la relación de las cargas –discriminadas como consumos o descargas- con el posible efecto. Las fases intermedias de la relación, determinan las diferentes categorías de impacto, los puntos intermedios (impactos o riesgos), y los puntos finales de la evaluación ambiental.

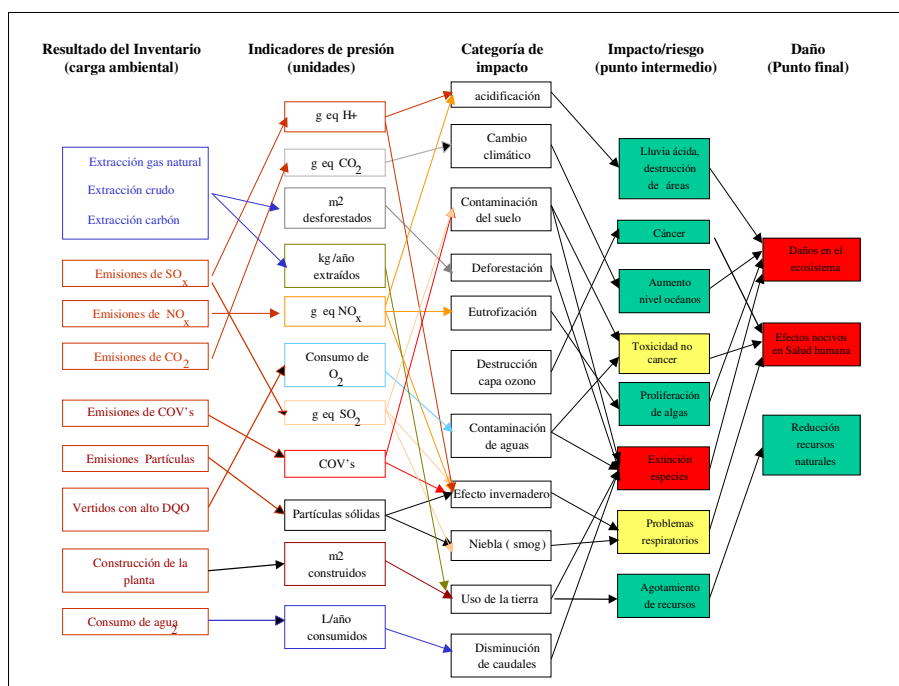


Figura 5.50. Relación entre las cargas y efectos.

De acuerdo con la Figura 5.50 y en términos cualitativos, las descargas a los diferentes compartimientos presentan una mayor relación con los posibles daños, que el consumo de recursos naturales. De la misma forma, los daños a los ecosistemas y a la salud humana, están

relacionados con una mayor cantidad de cargas ambientales y de puntos intermedios, que la reducción de recursos naturales, por lo que se hace necesario evaluar los efectos ambientales, provenientes de las cargas ambientales debidas a las descargas del proceso.

5.3.6.5 Estimación de la exposición

La exposición de la población a las sustancias emitidas por el proceso que han sido cuantificadas en los diferentes compartimentos del estudio (escenarios de exposición), se estimó a través de diferentes vías. Con la ayuda de modelos de evaluación del riesgo a la salud humana (Caltex y Euses), fue posible cuantificar la dosis media a través de las diferentes vías de exposición. El valor de las dosis medias calculadas y las vías utilizadas, se muestran gráficamente en la Figura 5.51.

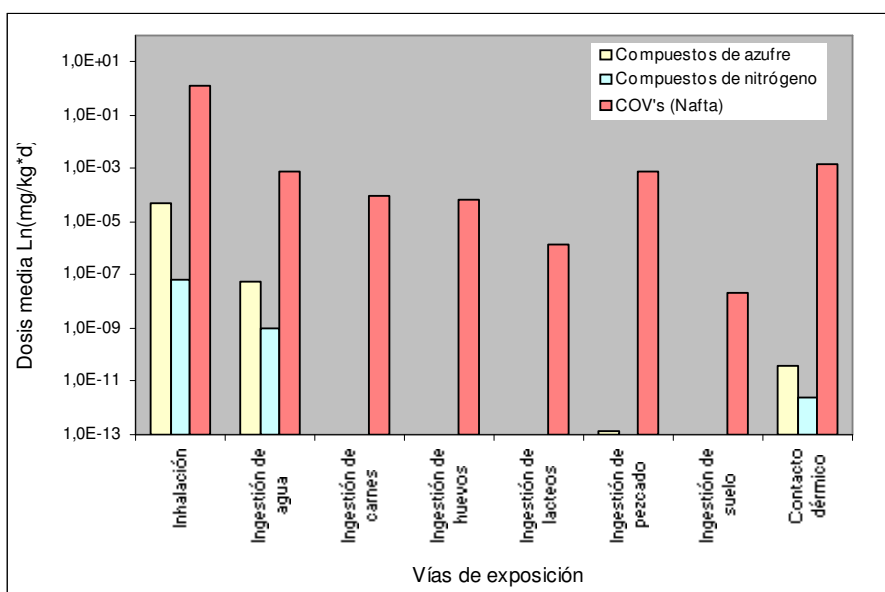


Figura 5.51 Dosis de las sustancias con una mayor presencia en los compartimientos

De acuerdo con la evaluación del destino y la exposición, la sustancia más importante en el análisis, es la Nafta proveniente de las emisiones fugitivas. Los sulfatos y nitratos, se encuentran también presentes, aunque en una menor cantidad, y con una menor frecuencia por vía de exposición.

Más adelante, en el apartado de discusión de resultados, se comentará en detalle, las implicaciones de estos resultados y las conclusiones que se pueden generar a partir de ellos.

5.3.7 Determinación del perfil de efectos

En este apartado se evalúan los efectos en términos de riesgos e impactos, así como las categorías, indicadores y las unidades en los que se miden dichos efectos.

5.3.7.1 Selección de categorías de efectos, indicadores de categorías y unidades

Las categorías, los indicadores (puntos intermedios y/o finales), y las unidades relacionadas con los efectos, dependen en gran medida del efecto a medir y de la población o área de protección sobre la que se mide.

Una vez definidas las categorías de impacto utilizadas, conviene determinar las unidades en las cuales se midieron los diferentes impactos. Esta determinación se llevó a cabo tras estudiar diferentes métodos de evaluación de impactos, y teniendo en cuenta aquellas que presentan una mayor aceptación en la comunidad internacional. La Tabla 5.44 presenta las categorías de impacto, sus unidades y las áreas de protección, propuestas en el desarrollo metodológico, con base en diversas clasificaciones [Setac-Unep, 2002; EPA, 2001; EEA, 2002].

Tabla 5.44. Clasificación de efectos, categorías de impacto y sus unidades

Tipo de efecto	Categoría de impacto	Unidad	Área afectada
Riesgo a la salud			
	Cáncer	Probabilidad de ocurrencia	Salud humana
	Toxicidad diferente a cáncer	Relación de peligro	Salud humana
Impactos potenciales			
	Toxicidad humana	g-eq. 1-4-dichlorobenzene	Salud humana
	Efecto invernadero	g eq. CO ₂	Salud humana
	Disminución de recursos naturales	kg/yr	Recursos Naturales
	Acidificación del aire	g eq. H ⁺	Ecosistemas
	Eutroficación del agua	g eq. PO ₄	Ecosistemas
Impactos específicos			
	Hospitalización	Casos	Salud humana
	Pérdida de vida	Años de vida pérdida (YOLL)	Salud humana
	Pérdida de cosechas	Kg de cal añadida	Recursos Naturales
	Acidificación de suelo	Km ² de suelo	Ecosistemas

En el caso de riesgos, se evaluó el riesgo a la salud humana de sufrir cáncer debido a la exposición a las sustancias cuyo destino ha sido estimado. Así mismo, para el caso de los impactos, se evaluaron los impactos potenciales y aquellos impactos que son posibles de cuantificar en un área determinada. En otras palabras, se evaluaron no sólo los impactos potenciales debidos a sustancias específicas -y sus equivalentes-, que tienen un gran potencial de causarlos, sino también, los impactos cuantificables después de seguir la trayectoria desde la emisión.

Con base en el desarrollo metodológico, las categorías de impacto utilizadas deben involucrar las tres áreas de protección definidas en los objetivos, es decir, salud humana, recursos naturales y ecosistemas. Las categorías de impacto elegidas para la evaluación de impactos potenciales y específicos son: toxicidad humana, acidificación del aire, eutroficación de aguas y reducción de recursos naturales.

En el caso de salud humana, se evaluó el riesgo carcinogénico y no carcinogénico debido a las sustancias evaluadas. Como impacto potencial se estimó la toxicidad humana y efecto invernadero. Finalmente, en cuanto a efectos específicos, se midieron los casos de hospitalización por enfermedad y pérdida de vida.

En el caso de ecosistemas no se evaluó el riesgo, debido a la carencia de datos básicos para definir las respuestas frente a los riesgos ambientales. Para el caso de impactos potenciales se midió la eutroficación y acidificación, y para los impactos específicos se evaluó la acidificación en suelos, a través de áreas con exceso de dióxido de azufre.

Por último, sobre los recursos naturales la evaluación de impactos potenciales se centró en la estimación de su disminución, mientras que para los efectos específicos se evaluó la pérdida de cosechas.

5.3.7.2 Cuantificación de efectos

En los siguientes apartados se presentan los principales riesgos e impactos evaluados en el caso de aplicación.

Riesgos

En este caso de aplicación, se evaluaron los riesgos a la salud humana debidos al aumento de la concentración no sólo de los óxidos de azufre y nitrógeno y sus derivados, sino también de los compuestos orgánicos volátiles. Después de analizar las características de las sustancias, se encontró que no existen riesgos cancerígenos

Por otra parte, los riesgos a la salud, no cancerígenos, se estimaron a través de relación de peligro (RP) para cada uno de las sustancias para las cuales se evaluó el destino. Una Relación de peligro mayor que uno ($RP > 1$), significa que existe probabilidad de que se produzca un efecto adverso hacia la salud. Por el contrario, Relaciones de Peligro menores que uno ($RP < 1$), que no existe riesgo. La Tabla 5.45, presenta la relación entre la concentración de las sustancias en estudio y relación de peligro estimado para cada una de ellas.

Tabla 5.45. Relación entre la concentración en el medio y el riesgo de una sustancia *

Sustancias	Concentración total	Valores de riesgo
Compuestos de nitrógeno	3,74E-02	3,20E-04
Compuestos de azufre	6,26E-04	2,70E-05
COV's (Nafta)	1,77E+01	3,80E+03

*Los resultados presentados en esta tabla, han sido obtenidos con la herramienta Caltox.

Los riesgos a la salud, estimados a partir de la relación de peligro generados por el aumento de la concentración de Naftas y óxidos de azufre y nitrógeno en el medio, se presenta en la Figura 5.52.

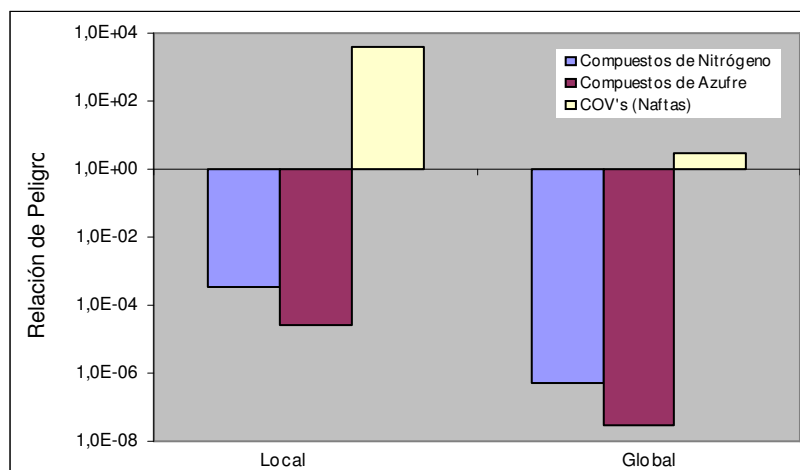


Figura 5.52. Estimación de la Relación de Peligro a la salud humana en entornos local y global

En la gráfica, se muestra la enorme diferencia de los valores para los compuestos de Azufre y Nitrógeno, respecto a las emisiones de Naftas. Mientras los primeros están hasta 1000 veces por debajo de una proporción de riesgo significativa, las emisiones de Naftas, pueden llegar a ser 1000 veces más probables de causar un efecto sobre la salud humana.

Por último, la elevada proporción de peligro, de las Naftas sobre la salud humana, hace indispensable, evaluar los impactos reales de estas sustancias sobre dicha área de protección.

Impactos potenciales

Como ya se comentó en el capítulo anterior, los impactos se pueden evaluar en dos direcciones: 1) potenciales, o capacidad de la sustancia de causar un efecto negativo, 2) específicos, que cuantifican el impacto que una sustancia causa en un área de protección establecida. En este caso de aplicación, se estimaron impactos en las dos vías descritas. Los impactos potenciales, se describen la Tabla 5.46 y las Figuras 5.53 y 5.54, donde se presentan los valores más significativos la evaluación de efectos para el proceso de separación de Isopentano.

De la misma forma que en la evaluación de los riesgos, los impactos potenciales se estimaron a partir de los valores de emisión de las cargas evaluadas en el inventario. En este sentido, y después de que los análisis de dominancia indicaron que las cargas ambientales más importantes son las Naftas (VOC's) y los compuesto de azufre y nitrógeno, los impactos se estimaron con base en estas sustancias.

Tabla 5.46. Impactos potenciales de los escenarios estudiados

Impacto	Sustancias	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7	Esc 8
Acidificación (g-eq H ⁺)	Comp S y N	--	--	--	--	2.93E+02	4.84E+01	3.37E+02	8.29E+01
Disminución de Recursos Naturales (kg/año)	Nafta,	3.21E+01	3.15E+01	3.41E+00	2.99E+00	--	1.06E-01	2.73E-01	2.73E-01
Eutroficación (g-eq PO ₄)	Comp de N	1.61E+00	1.61E+00	1.39E-01	1.39E-01	9.90E-01	2.70E+01	7.00E+01	6.91E+01
Tox Humana (g-eq DCB)	Nafta	--	--	--	--	1.50E+03	2.78E+02	1.80E+03	5.04E+02
E. invernadero directo (g-eq CO ₂)	CO ₂ y Comp N, Nafta	5,72E+03	5,60E+03	6,06E+02	5,32E+02	7,35E+03	7,58E+03	7,38E+02	8,94E+02

La información de la Tabla 5.46, se presenta gráficamente en las Figuras 5.53 y 5.54. Es necesario realizar una separación de los escenarios en dos grupos, debido a la diferencia cuantitativa, lo que dificulta su presentación gráfica.

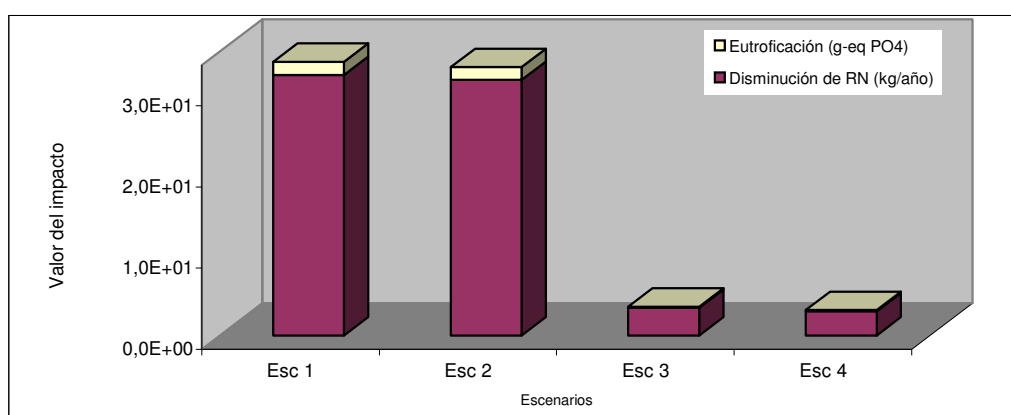


Figura 5.53. Evaluación de los impactos potenciales de los escenarios 1 a 4.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Figura 5.52, los escenarios 1 a 4, presentan sólo dos de las cuatro categorías de impacto seleccionadas en el estudio. De igual forma, se puede apreciar claramente, una gran diferencia en dichas categorías en términos cuantitativos.

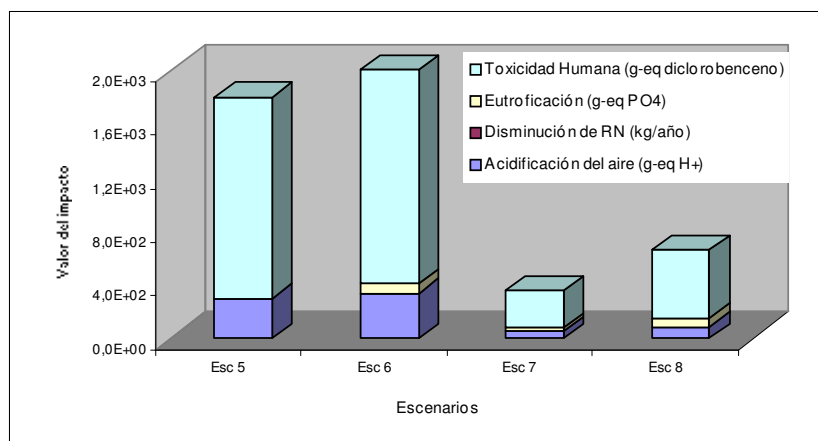


Figura 5.54. Evaluación de los impactos potenciales de los escenarios 5 a 8.

La Figura 5.54, muestra claramente la mayor incidencia en cuanto a una mayor participación de los escenarios 5 a 8 en las categorías de impacto definidas. Sin embargo, la disminución de recursos naturales, se muestra poco significativa.

Impactos específicos

La evaluación de impactos específicos se desarrolló a través del uso de una herramienta informática. El Modelo Ecosense®, fue la herramienta utilizada para estimar a partir de los datos de emisión, los impactos específicos para cada uno de los escenarios en estudio. Este modelo y sus características más importantes, están descritos en el anexo correspondiente a las herramientas utilizadas en el estudio (Anexo B).

Con base en los resultados obtenidos en la evaluación de los impactos específicos para diferentes categorías de impacto y funciones emisión-respuesta, los valores de los impactos estimados para las categorías de impacto relacionadas con las tres áreas de protección definidas en los objetivos y alcance, se describen en la Tabla 5.47 y gráficamente en la Figura 5.55.

Tabla 5.47 Impactos específicos por unidad de energía generada

Impacto (/TWh)	Sustancias	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7	Esc 8
Hospitalización (Casos)	Partículas	--	--	--	--	6.02E+00	7.70E-01	8.50E-01	9.20E-01
Pérdida de vida (Años)	Partículas	3.50E-01	3.50E-01	3.07E-02	3.07E-02	7.20E+00	1.00E+00	1.40E+00	1.40E+00
Neutralización de áreas (kg cal/)	Ácidos provenientes de SO ₂ y NO _x	--	--	--	--	6.21E+06	8.99E+05	1.26E+06	1.25E+06
Áreas dañadas (km2)	Ácidos provenientes de SO ₂ y NO _x	--	--	--	--	1.60E+01	3.20E+00	4.80E+00	3.00E+00

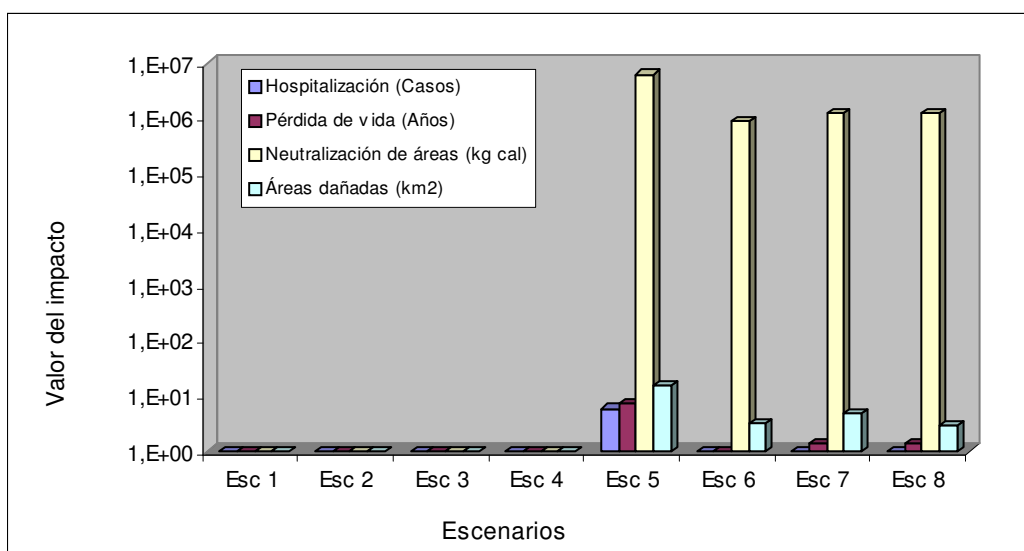


Figura 5.55. Impactos específicos de los escenarios de producción

Después de analizar la Figura 5.55, se puede asegurar, que al igual que en el caso de los riesgos e impactos potenciales, los escenarios que presentan un mayor impacto específico, son los del segundo grupo (5 a 8), de ellos vale la pena resaltar, que el escenario con una mayor contribución a los impactos específicos, es el escenario 5.

La neutralización de áreas, consecuencia de una elevada acidificación del suelo, es el impacto de mayor proporción en todos los escenarios evaluados. En segundo lugar, las áreas dañadas, que no pueden ser utilizadas mientras no se realicen tareas de remediación, muestran un valor relativamente constante en los cuatro escenarios donde se presenta este impacto.

Finalmente, los casos de hospitalización y la pérdida de vidas, son los impactos que muestran una menor presencia por escenario, al estar presentes sólo en los escenarios 5, 7 y 8.

5.3.8 Estimación de daños

La estimación de daños ambientales de acuerdo con la metodología desarrollada, se obtuvo a través de la evaluación de tres tipos específicos de daños: 1) monetarizables, 2) indicadores de daño global, y 3) factores de daño ecológico. Cada uno de estos tipo de daño, presentan características particulares, por lo que se hace necesario evaluarlos en forma independiente. Los siguientes apartados, describen los resultados en cada uno de los tipos de daños evaluados.

5.3.8.1 Daños monetarizables

A continuación se presentan los daños que corresponde a los impactos evaluados para las tres áreas de protección de interés en el estudio, y que pueden ser evaluados desde una perspectiva de cuantificación monetaria (costes tipo V). La Tabla 5.46 presenta los valores estimados para dos de las tres categorías de impacto (Salud humana y recursos naturales), ya que no fue posible estimar el coste ambiental de los impactos sobre los ecosistemas.

Los costes ambientales, se describen en términos de ECU (Environmental Cost Unit). Dicha unidad representa, el valor en Euros que es necesario pagar para resarcir o mejorar el área afectada. Generalmente, los daños se miden en miliECU's [Sonneman, 2002; Aróstegui et al, 1997].

Tabla 5.48. Daños ambientales en costes monetarios por unidad de energía producida.

Daños (mECU)	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7	Esc 8
Hospitalización	--	--	--	--	5.60E-02	7.10E-03	7.80E-03	8.50E-03
Pérdida de vida	1.30E-01	1.30E-01	1.10E-02	1.10E-02	2.60E+00	3.70E-01	5.20E-01	5.20E-01
Neutralización de áreas	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-01	1.80E-02	2.50E-02	2.50E-02
Total daños	1.30E-01	1.30E-01	1.10E-02	1.10E-02	2.78E+00	3.95E-01	5.53E-01	5.54E-01

Gráficamente, la información contenida en la tabla se puede observar en la Figura 5.56, donde se comparan, los costes individuales y totales de las categorías de impacto evaluadas en cada uno de los escenarios analizados.

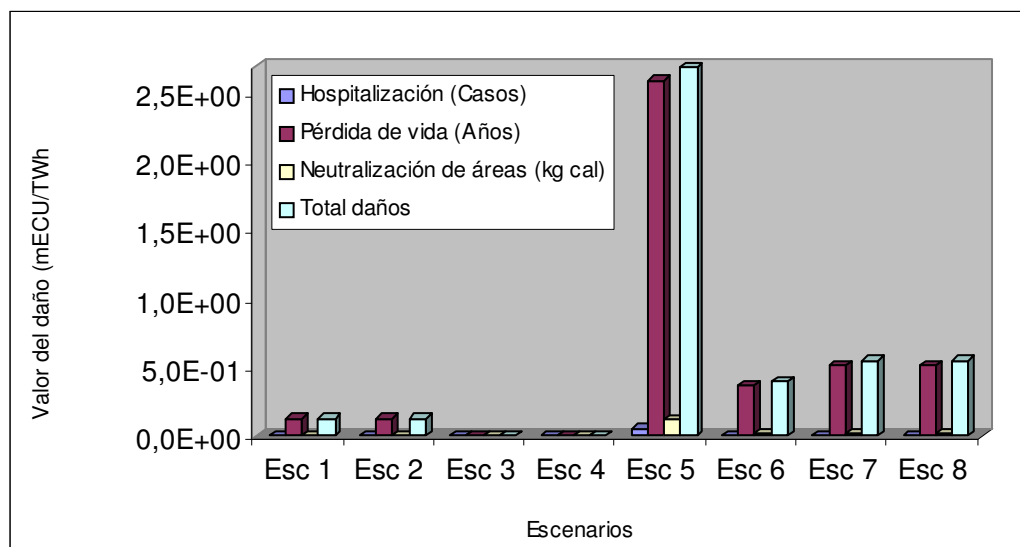


Figura 5.56 Estimación de los daños ambientales (costes monetarios)

Los costes ambientales estimados son mayores para los escenarios 5 al 8. Esto es razonable debido a la mayor contribución de emisiones -en las áreas de protección evaluadas-, por el uso de combustibles con una mayor carga ambiental.

Como era de esperarse, la alternativa de proceso donde se presenta una mayor proporción de daños es el escenario 5, y en él, la pérdida de vida, es el daño que presenta una mayor proporción. Los otros tres escenarios de este grupo (6, 7 y 8), a pesar de que presentan un aumento significativo con respecto a los escenarios 1 y 2, son bajos comparados con el escenario 5.

En términos de costes, el escenario que representaría un mayor coste es sin lugar a dudas el escenario 5. Los escenarios 3 y 4, representan la mejor opción en términos de costes ambientales, ya que de acuerdo con los resultados obtenidos, no se evidencian costes ni por hospitalización, pérdida de vida o remediación de áreas acidificadas.

Finalmente, vale la pena destacar, que aunque en la evaluación de impactos específicos se evaluaron las áreas dañadas (km^2), no fue posible determinar los costes necesarios para restablecer o regenerar dichas áreas, por la dificultad de valorar ecosistemas.

Posteriormente, en el apartado de discusión de los resultados, se volverá sobre estos resultados y su implicación en la toma de decisiones.

5.3.8.2 Indicadores de daño global

En el caso de los daños globales –que son generados al cuantificar los impactos globales–, no es posible realizar una cuantificación real de ellos, por lo que es necesario utilizar indicadores. En el caso estudiado, los daños considerados en esta categoría, son los relacionados con el efecto invernadero, producido por las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) y la Nafta. Los indicadores más representativos de este efecto, son los mencionados a continuación:

- ✓ Aumento de la frecuencia de catástrofes climáticas con graves daños a las personas y los bienes materiales
- ✓ Derretimiento de los polos, afectando especialmente a poblaciones costeras y países insulares
- ✓ Erosión de tierras cultivables

Considerando la cuantificación de cargas ambientales desarrollada en la fase de inventario, es factible cuantificar el valor del impacto potencial debido a las emisiones de Dióxido de carbono. Esta cuantificación se presenta en la Tabla 5.49.

Tabla 5.49 Potencial de efecto invernadero en geq de CO₂ anual

Efecto	Escenarios							
Invernadero directo (g eq CO ₂)	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7	Esc 8
	5.72E+03	5.60E+03	6.06E+02	5.32E+02	7.35E+03	7.58E+03	7.38E+02	8.94E+02

Los valores presentados en la Tabla 5.49, corresponden a la contribución de dióxido de carbono emitido por el proceso, en sus diferentes escenarios. No se ha incluido, el aporte de otras sustancias tales como el N₂O y las trazas de hidrocarburos diferentes a la Nafta por que no han sido reportadas ni evaluadas en la fases de inventario y destino. La comparación del aporte al efecto invernadero por cada uno de los escenarios, puede observarse gráficamente en la Figura 5.57.

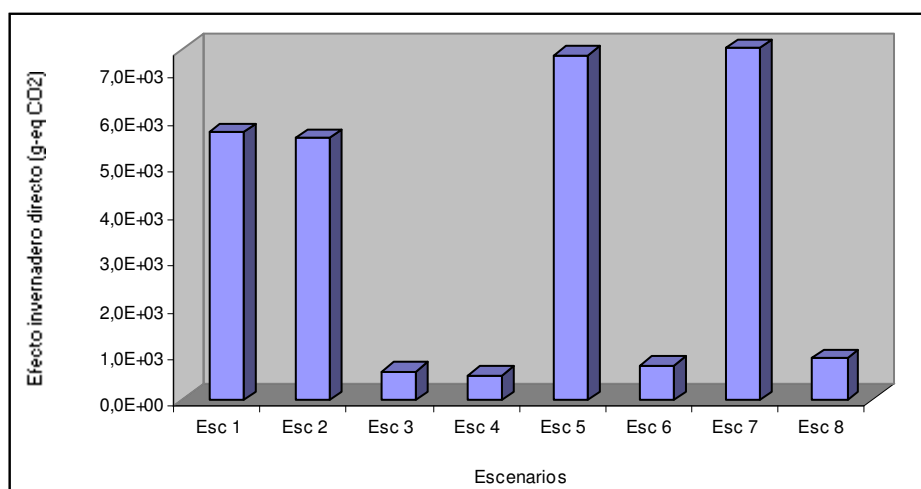


Figura 5.57. Comparación gráfica del Efecto invernadero como indicador potencial

Los resultados anteriores, muestran una importante diferencia entre los escenarios con ahorro de energía y aquellos que no presentan este ahorro. En este sentido, es fácilmente observable, que los escenarios 5 y 7, son los mayores contribuidores a este efecto seguidos por el escenario 1 y 2 respectivamente. Contrario a esto los escenarios 3, 4, 6 y 8, muestran una importante disminución, siendo los escenarios que menos aportan, el 4 y el 3 respectivamente.

5.3.8.3 Factores de daño ecológico

No se han determinado factores de daño ecológico para ninguna de las cargas ambientales identificadas por el inventario del proceso. Este hecho, probablemente se debe a la dificultad de valorar correctamente los daños relacionados con ecosistemas.

5.3.9 Toma de decisiones respecto a las alternativas evaluadas

Esta etapa requiere un análisis exhaustivo que permita determinar cual es la mejor alternativa en términos económicos, técnicos y ambientales. La toma de decisiones en esta etapa, se basa en la información tanto de la simulación del proceso, como en la determinación de las cargas ambientales.

5.3.9.1 Objetivos y alcances de la toma de decisiones en el caso de aplicación.

El objetivo principal para la toma de decisiones fue determinar cual o cuales de las alternativas evaluadas (en la generación de la energía requerida para la separación de Isopentano) eran las más adecuadas. El alcance se centró en la comparación de los aspectos técnicos, económicos y ambientales de los ocho (8) escenarios evaluados.

5.3.9.2 Análisis y comparación de los escenarios estudiados.

El análisis y la comparación de los escenarios estudiados, han sido establecidos bajo tres conceptos: 1) características técnicas, 2) aspecto económico –orientado este a costes ambientales-, y 3) incidencia ambiental en los cuatro niveles de evaluación desarrollados.

Análisis técnico.

Bajo este concepto los escenarios presentan características muy similares entre si, sólo en el caso de la generación de vapor por expansión o laminación, se evidencian algunas diferencia entre sus características técnicas. Sin embargo, y dado la orientación hacia la evaluación ambiental del caso de aplicación, no se contó con suficiente información para realizar una diferenciación entre los escenarios evaluados.

Análisis económico

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados en el apartado de análisis técnico, el análisis económico de los escenarios estudiados basó en los costes ambientales generados por cada uno de ellos. En este sentido, la comparación se desarrolló sobre los costes relacionados con la incidencia ambiental, en sentido y con base en la metodología de evaluación del coste total, se evaluaron los costes tipo III, IV y V. Para estos últimos los daños ambientales han sido cuantificados en Unidades de Coste Ambiental (Environmental Cost Units).

Los costes tipo III están relacionados con contingencias asociadas al proceso, en este sentido y para los escenarios evaluados, dichas contingencias han sido evaluadas en términos de combustibles y recursos naturales utilizados.

A su vez, los costes tipo IV corresponden a aquellos no cuantificables ni transferibles a un aspecto específico. La Tabla 5.50 presenta de una forma cualitativa y a modo de resumen los costes tipos III y IV para los aspectos involucrados.

Tabla 5.50. Ejemplos de los costes tipo III y IV para los escenarios evaluados

Aspecto	Ubicación del problema	Causa	Concepto
Accidente industrial	Tanques de almacenamiento	Problemas de presión	Seguros
Accidente industrial	Líneas de operación	Acumulación de impurezas	Seguros
Contaminación del entorno	Descargas insuficientemente o no tratadas	Aumento en la concentración de sustancias en el entorno	Multas
Campañas de concienciación interna y externas	Buenas prácticas y buen uso de los recursos		Publicidad Charlas
Mejoras	Tratamiento de residuos		Estudios

La información relacionada con los costes tipo III y IV presentados en la Tabla 5.50, muestran la dificultad de dichos costes, para ser tomados como referente a la hora de la toma de decisiones. Dicha dificultad se basa en el hecho de que generalmente estos costes no son tomados como parte del proceso productivo en la planta, sino que se evalúan como costes de administración.

Con esto en mente, y a pesar de que la información presentada en esta tabla, es de carácter cualitativo, la información contenida en ella permite hacerse una idea de las diferentes clases de costes en los dos tipos estudiados.

Finalmente, un primer análisis de los costes presentados en la Tabla 5.50, no permite identificar cual (es) es(son) la(s) mejor(es) alternativa(s). Por lo que es necesario sustentar la elección de la alternativa en otros costes tales como los costes tipo V (Costes de ambientales).

Los costes tipo V o costes ambientales (daños ambientales) ya han sido evaluados en la etapa de estimación de daños en términos de hospitalización, pérdida de años de vida, neutralización de áreas –en el caso de acidificación-, y áreas dañadas (ver Tabla 5.48, y Figura 5.55).

5.3.9.3 Selección de la (s) alternativa (s)

Teniendo en cuenta que el ambiental es el aspecto de mayor cobertura, en el caso estudiado, la selección de la(s) alternativa(s) se basó en dicho aspecto. A continuación, se presentan las tablas comparativas en términos de inventario e impactos, para los ocho escenarios evaluados.

La comparación de alternativas con base en el inventario, se realizó tomando el mayor consumo por escenario con el cien por ciento de carga.

Tabla 5.51. Comparativa de inventario por escenario

Consumo	Esc 1	Esc 2	Esc 3	Esc 4	Esc 5	Esc 6	Esc 7	Esc 8	Puesto	Escenario
Gas Natural	100	98	11	9	0	0	0	0	1	Esc 4
Aire	100	98	11	9	94	94	8	8	2	Esc 3
Agua	97	97	8	8	97	100	12	11	3	Esc 7
Carbón	0	0	0	0	0	100	39	100	4	Esc 8
Fuel Oil	0	0	0	0	100	100	9	9	5	Esc 2
Fuel gas	0	0	0	0	100	100	9	9	6	Esc 1
Crudo	0	0	0	0	0	100	39	100	7	Esc 5
Total	297	293	30	27	391	594	115	237	8	Esc 6
Descargas										
CO ₂	75	74	8	7	97	100	10	12	1	Esc 4
H ₂ O	100	98	11	9	58	58	5	5	2	Esc 3
SO ₂	0	0	0	0	90	100	13	22	3	Esc 7
NO _x	0	0	0	0	0	100	39	100	4	Esc 2
COV	0	0	0	0	0	100	39	100	5	Esc 1
Mat Part	4	4	0	0	84	100	14	24	6	Esc 8
DQO	100	100	9	9	62	63	6	7	7	Esc 6
Sólidos	0	0	0	0	0	100	39	100	8	Esc 5
Total	279	276	28	25	390	721	165	369		

La comparación de escenarios por consumos y descargas, presenta varios aspectos que deben ser tenidos en cuenta, para una posterior discusión. Por una lado, no existe una correspondencia directa entre el consumo de recursos naturales y las descargas presentes en las alternativas evaluadas, es decir, un mayor consumo de recursos naturales y de materias primas, no conduce directamente a la identificación de la descarga con una mayor incidencia ambiental. Por otro lado, las características técnicas de los escenarios en comparación, influyen en forma directa con la relación entre consumos y descargas.

De acuerdo con la Tabla 5.51, los escenarios 4 y 3 son los que menos incidencia ambiental presentan, puesto que sus emisiones y descargas son las menores. Así mismo, el escenario 7 en los dos aspectos considerados ocupa el tercer lugar detrás de los escenarios 3 y 4.

Los demás escenarios varían su clasificación, dependiendo de si se evalúa su consumo o descarga. Por ejemplo, el escenario 8 que en términos de consumo, ocupa la cuarta posición, pasa a la sexta posición (por detrás de los escenarios 1 y 2), cuando se evalúa descarga. Igualmente, los escenarios 1 y 2 están por detrás del escenario 8 en términos de consumo. Finalmente, los escenarios 5 y 6 intercambian posiciones en su clasificación para los dos aspectos evaluados. Lo anterior evidencia, que no existe la misma tendencia consumo-descarga en las alternativas representadas por los ocho escenarios.

Los impactos ambientales de los escenarios evaluados, fueron comparados teniendo en cuenta cinco categorías, que involucran las tres áreas de protección definidas en los objetivos y alcances de este caso de aplicación. La tabla 5.52, presenta la comparación de los escenarios en estas categorías.

La comparación se realizó teniendo en cuenta cuatro niveles de incidencia en las categorías de impacto evaluadas. Las categorías intentan incluir las tres áreas de protección involucradas en el estudio (salud humana, recursos naturales y ecosistemas), los niveles de incidencia, son nulo, bajo medio y alto

Tabla 5.52. Comparativa de los escenarios por categoría de impacto

Consumo de R.N.	Acidificación.	Eutrofización.	Toxicidad Humana	Efecto invernadero
5	1	3	3	4
6	2	4	4	3
3	3	5	1	6
4	4	1	2	8
7	6	2	6	2
8	8	6	8	1
2	5	8	5	5
1	7	7	7	7

A partir de la comparación de la realizada en con la información de la Tabla 5.52, se presenta la clasificación de los escenarios, a partir de los datos de impacto (ver Tabla 5.53)

Tabla 5.53. Clasificación de escenarios por incidencia ambiental

Escenario	Consumo de R.N.	Acidif.	Eutrofización.	Tox Humana	Efecto invernadero
1	Alta	Nula	Baja	Nula	Alta
2	Alta	Nula	Baja	Nula	Alta
3	Baja	Nula	Baja	Nula	Baja
4	Baja	Nula	Baja	Nula	Baja
5	Baja	Alta	Baja	Alta	Alta
6	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta
7	Baja	Bajo	Media	Baja	Baja
8	Baja	Bajo	Alta	Baja	Baja

De acuerdo con las Tablas 5.52 y 5.53, son los escenarios 3 y 4 los que representan las mejores alternativas del proceso de separación de Isopentano. Es factible decir, que este hecho se debe no sólo a la utilización de una sola clase de combustible, sino también a las sustancias que son emitidas por la etapa de generación de la energía requerida.

Por otra parte, los escenarios 7 y 8, representan las alternativas en segundo orden de preferencia, esto se debe al hecho de la utilización de una menor cantidad de combustibles, por causa del ahorro energético, y por la consiguiente disminución en las descargas.

De acuerdo con el criterio empleado (incidencia ambiental), la clasificación, presenta a los escenarios 5 y 6, como las alternativas menos aconsejables, puesto que su incidencia es significativa en la mayoría de las categorías evaluadas. Por ejemplo, en el caso del escenario 5, la acidificación, la toxicidad humana y el efecto invernadero, pueden verse significativamente afectados, contrario a lo que sucede con el consumo de recursos y la eutrofización, que presentan una incidencia baja.

Los escenarios 1 y 2, presentan una situación particular, ya que a pesar de que presentan una incidencia ambiental significativa, para dos de las categorías evaluadas (Consumo de recursos naturales y efecto invernadero), en las otras categorías, su incidencia es baja o insignificante.

5.3.10 Discusión de resultados

5.3.10.1 Discusión de los resultados del inventario.

Una vez realizado el inventario de entradas y salidas para cada uno de los escenarios elegidos, vale la pena analizar la información obtenida, de manera que describa claramente cual es la diferencia entre las cargas ambientales de cada uno de ellos de manera que se pueda elegir el que presente un mejor desempeño ambiental.

En términos del consumo de recursos naturales y materias primas, los ocho escenarios presentan valores parecidos en el consumo de agua y de aire, esto se debe probablemente a que se han tomado valores parecidos en las eficiencias de reacción y equipos en la generación de los modelos para cada escenario.

Las diferencias significativas en el consumo de recursos naturales, se centran en el combustible, puesto que para los escenarios del 1 al 4, se evalúa el uso de Gas Natural como combustible único, y para los escenarios del 5 al 8, se utilizan diversos tipos de combustibles.

Finalmente, en términos de la comparación llevada a cabo en la Tabla 5.51, es necesario resaltar la posibilidad de utilizar criterios diferentes a la masa, tales como la energía fósil equivalente, para cada uno de los combustibles utilizados en los escenarios de evaluación.

5.3.10.2 Discusión evaluación del destino

Por medio del uso de modelos de transporte y transformación, es posible estimar el destino y la concentración de sustancias en diferentes compartimientos, sin embargo, estos resultados deben completarse con un estudio riguroso (pruebas de laboratorio, bioensayos, etcétera) para continuar con los próximos pasos de una evaluación de riesgo.

Los modelos usados aplican información diferente y variable (coeficientes de distribución, fugacidad, entre otras), no obstante, su caracterización ayuda a entender cuales son las variables más importantes en la definición de los mecanismos de transporte y transformación.

Por otra parte, las sustancias estudiadas muestran tendencias diferentes en la predicción de su destino, este aspecto confirma el hecho que cada mecanismo de transporte, está relacionado de manera diferente con una sustancia y entorno.

5.3.10.3 Discusión general de la metodología

La conexión de los resultados de una evaluación del ciclo de vida de un proceso industrial con los daños estimados, permite que los efectos generado puedan ser evaluados en diferentes niveles de detalle. Involucrando no sólo efectos globales, como son los generados por las emisiones de dióxido del carbono - CO₂ - en la combustión de combustible fósiles, sino que también es posible observar la variabilidad tal como se presentó en las Tablas 5.43 y 5.45.

Por otro lado, la introducción de indicadores de salud humana hace posible desarrollar la evaluación ambiental en un entorno local. Según los resultados presentados en la Tabla 5.43, es posible ver que el proceso de co-generación produce impactos en pérdida de años de vida (Year Of Life Lost) en mayor proporción, en los escenarios que utilizan carbón como combustible.

La introducción de indicadores de daño en el alcance de la evaluación ambiental abre una perspectiva en su aplicación en el análisis de procesos. Aún cuando el nivel de subjetividad en los resultados obtenidos podría aumentar por la adición de una nueva y compleja etapa como es la estimación de los daños, el desarrollo metodológico obtenido, es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones para las industrias, independientemente de su capacidad productiva. Para lograr definitivamente esta condición, es necesario introducir en la metodología, una estructura que facilite la valoración económica que permita cuantificar los daños en términos de costes.

Finalmente y con base en los resultados obtenidos, las alternativas susceptibles de ser elegidas para desarrollar el proceso, son los escenarios 3 , 4, 7 y 8.

REFERENCIAS

- Aróstegui M., Leal J., Lechón Y., Linares P., Sáez R., Varela M. ExternE National implementation. Spain. Final report. European Commission (1997)
- Belevi H. Factors Determining the Element Behavior in Municipal Solid Waste Incinerators. 1. Field Studies. Environ. Sci. Technol.. 34,2501-2506. (2000)
- Fernández M. Behavior of Heavy Metals in the combustion Gases of Urban Waste Incinerators. Environ. Sci. Technol. 26 (5), 1040 – 1047. (1992)
- Herrera I., Kulay L., Castells F. Environmental Damage Assessment Applied to Process Analysis. A Decision Support Alternative. Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. Vol I pp 13-18. (2002).
- Herrera I., Schuhmacher M., Castells F. Integration of process modelling and environmental assessment to process design. Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. Vol I pp 13-18. (2002)
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (SGERM-IDAE). Manuales de Energías Renovables/ Incineración de Residuos Sólidos Urbanos. España. (1992)
- Jiménez M. "El coste del Equipo productivo: Amortización y Gastos Generales de Fabricación", [en línea] 5campus.com, Contabilidad de Costes <<http://www.5campus.com/leccion/costprod>> (2003)
- Kremer M. Waste Treatment in Product Specific Life Cycle Inventories. An Approach of Material-Related Modelling. Part I: Incineration. LCA Methodology. LCA 3 (1) 47 – 55 (1998)
- Turton R., Bailie R., Whiting W., Shaeiwitz J. Analysis Synthesis, and Design of Chemical Processes. Prentice Hall. (1998)
- Ulrich G. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. John Wiley & Sons, Inc. New York, (1984)
- Verhulst, D. Thermodynamic Behavior of Metal Chlorides and Sulfates under the conditions of Incineration Furnaces. Environ. Sci. Technol. 30 (1), 50 – 56. (1996)

6 CONCLUSIONES, LECCIONES APRENDIDAS Y TRABAJO FUTURO

En el apartado actual se cubren tres aspectos fundamentales; inicialmente se presentan las principales conclusiones del trabajo de investigación, la segunda parte intenta mostrar las lecciones aprendidas durante el desarrollo de la metodología y su aplicación, y finalmente, se hace una breve descripción de las principales líneas de investigación que podrían ser desarrolladas como trabajo futuro.

6.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones del trabajo desarrollado se orientan en tres direcciones, 1) la importancia de la transferencia de información, y los mecanismos utilizados para las diferentes herramientas involucradas, 2) la utilidad de los diferentes niveles de evaluación ambiental, y 3) la mejora en el análisis de procesos a través de la aplicación de la metodología desarrollada.

6.1.1 Transferencia de información y herramientas utilizadas.

Se ha desarrollado un protocolo de transferencia de información desde el simulador de procesos hasta las herramientas de diagnóstico ambiental. La integración de herramientas permitió utilizar los resultados de cada una de ellas de una manera cíclica. Es decir, una vez fijadas las condiciones de diseño y operación, del proceso, obtenemos con el simulador la información necesaria para realizar el análisis ambiental. Así mismo, los resultados obtenidos en dicho análisis, se utilizan (después de su evaluación) como información de entrada en una nueva

simulación, y así proponer posibles mejoras durante el diseño tales como nuevos equipos, cambios en la composición, y/o nuevas condiciones de operación.

6.1.2 Análisis de procesos desde una perspectiva ambiental

La integración del análisis de procesos y de la evaluación ambiental desarrollada, representa un aporte significativo en las tareas de toma de decisiones en el diseño de procesos.

A través de la aplicación de la metodología propuesta a los sistemas estudiados, se comprobó que puede llegar a ser una herramienta de apoyo eficaz a quienes toman las decisiones en el diseño y evaluación de procesos, puesto que permite evaluar la incidencia ambiental inherente a los procesos industriales, y prevenir sus efectos.

Los casos donde fue aplicada la metodología, corresponden a sistemas de producción que van desde simples etapas hasta procesos productivos completos. Esto permitió demostrar la factibilidad de aplicación en sistemas más complejos, basados en la relativa facilidad de modificar los códigos de programación de la transferencia.

6.1.3 Casos de aplicación

Es necesario desarrollar un modelo de la planta de incineración que se ajuste a las condiciones reales, de manera que las cargas ambientales correspondientes a metales pesados, sean aquellas originadas por el proceso, y evitar así, el uso de coeficientes de transferencia en las corrientes.

En los procesos de separación estudiados en el segundo caso de aplicación, -donde el objetivo general, además de la mejora en la transferencia, fue desarrollar aspectos involucrados con la evaluación técnica-, se realizó una comparación de alternativas desde el punto de vista técnico y ambiental.

El proceso de separación analizado en el tercer caso de aplicación, es la validación final del desarrollo metodológico obtenido. Con los resultados obtenidos en él, se puede comprobar la utilidad de la comparación de los diferentes niveles de evaluación ambiental, cuando los aspectos técnicos y económicos no permiten tomar elaborar listas comparativas por la similitud de las etapas evaluadas.

6. 2 LECCIONES APRENDIDAS

La investigación en integración de análisis ambiental y de procesos, involucrando la evaluación de efectos es un campo en auge. Diferentes esfuerzos en el ámbito Europeo e internacional se han mostrado, de manera que conceptos tales como el Desarrollo Sostenible o la Ecoeficiencia, dejen de ser sólo buenas intenciones y pasen a la aplicación en los sectores industriales.

En el caso de la Unión de Europa, se ha consolidado recientemente el proyecto OMNIITOX , que es un enfoque de integración entre la Evaluación de Riesgo y de Impactos en el Ciclo de Vida de las actividades industriales, donde existe una gran posibilidad de acción.

En el caso internacional, iniciativas tales como la de SETAC y UNEP, que proponen una armonización de las prácticas de evaluación no sólo del análisis de los ciclos de vida de los productos o procesos industriales, sino también la inclusión de los costes de tales ciclos, como base para la comparación de alternativas.

En este marco, el trabajo de investigación desarrollado, propone una metodología útil como punto de partida para alcanzar la valoración de la incidencia ambiental de los procesos industriales, de una manera práctica y con rigurosidad científica, a través del perfil ambiental de un proceso.

Por otra parte, es necesario continuar con esta línea de investigación, para explorar, hasta donde puede ser satisfactoriamente aplicada la metodología con un razonable esfuerzo en las áreas de protección relacionadas con la salud humana y con los ecosistemas.

6.3 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

6.3.1 Automatización de la metodología.

Es necesario, avanzar en técnicas de automatización que disminuyan el esfuerzo necesario para integrar toda la información generada tanto en el análisis de procesos, como en la evaluación ambiental. En este sentido, una línea de investigación natural, es la automatización de la fase de transferencia, de manera que el valor de las cargas ambientales se incluyan en el simulador.

De acuerdo con lo anterior, en el grupo de investigación “Análisis y Gestión Ambiental” del departamento de ingeniería química de la Universitat Rovira i Virgili, existe una área de investigación cuyo objetivo es desarrollar una herramienta informática basada en la metodología desarrollada y que involucra aspectos de optimización de los procesos industriales, aprovechando las extensiones de las herramientas de simulación, las cuales permiten una gran flexibilidad en la inclusión de variables.

6.3.2 Integración con herramientas de retrofit de procesos

Una segunda línea de investigación propuesta es la integración de la metodología con el retrofit de procesos, que es una metodología de análisis y evaluación de posibles cambios a un proceso existente, para mejorarlo con respecto a algún aspecto (Costes, Medio ambiente, seguridad, etc). El retrofit de procesos es una tarea larga y compleja, por consiguiente una herramienta para apoyar el retrofit integrado con el análisis medioambiental que usa un Perfil Medioambiental (EP) podría ser de gran ayuda en el desarrollo de alternativas mejores de procesos basado en decisiones técnicas y medioambientales.

Cómo línea de trabajo futura, se propone una estructura para el retrofit y el análisis ambiental de procesos basada en la metodología desarrollada y una Herramienta de Abstracción de Jerarquías AHA, de sus siglas en Inglés (Automatic Hierarchical Abstraction tool). El objetivo, es generar alternativas del proceso que permiten el uso óptimo de recursos y minimicen las descargas ambientales.

6.3.3 Aplicación de la metodología en otros estudios.

Es necesario desarrollar casos de estudio en otros sectores industriales, en los que se haya desarrollado análisis de ciclo de vida. La metodología desarrollada se ha aplicado durante el desarrollo de una tesis doctoral que comparó dos sistemas de producción de Fertilizantes.

El estudio desarrolló la comparación medioambiental de dos vías de producción de fertilizantes: la vía húmeda y la vía térmica. Se llama vía húmeda, a la ruta por la cual los fertilizantes de fosfatos son producidos a través de la digestión de rocas de fosfatos por ácidos inorgánicos. Para representarla, se ha seleccionado “*Single Triple Phosphate*” (TSP), un fertilizante que en su procesamiento genera gran cantidad de *phosphogypsum*, subproducto cuya baja aceptabilidad en el mercado lo convierte en un residuo industrial. Por la vía térmica se produce “*Fused Magnesium Calcium Phosphate*” (FMP). El proceso consiste en la fusión de una mezcla de roca fosfórica y *serpentite*, un mineral con un elevado contenido de magnesio, calcio y óxido de silicio. Aunque el FMP sea reconocidamente eficiente en términos del suministro de fósforo a suelos que presenten tal carencia, el consumo de energía eléctrica para realizar dicha fusión es elevado. La comparación de las dos rutas de producción se hizo a través un modelo conceptual basado en la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y que comprende las siguientes etapas: Simulación de los procesos de producción de TSP y de FMP; elaboración de los Inventarios de Ciclo de Vida por el método de ecovectores; creación de Eco-Matrices de impactos y Evaluación de los daños ambientales generados a lo largo de cada sistema. Dada la diversidad de tecnologías utilizada en el sector de fertilizantes de fosfatos, fue necesario establecer algunas suposiciones que permitiesen reflejar condiciones reales de proceso tanto para el caso del TSP, como para el FMP.

6.3.4 Evaluación del riesgo en entornos genéricos y específicos.

Para la estimación del riesgo que una sustancia representa para el entorno, es necesario la evaluación del destino y exposición en los diferentes compartimentos hacia donde se puede transportar dicha sustancia.

En el caso de los ríos, debido a la fluctuación de los caudales no sólo del mismo río, sino también de las descargas de las plantas de tratamiento de aguas residuales, las concentraciones de las sustancias pueden variar significativamente.

En este marco, una línea de investigación es la continuación de la comparación de metodologías de evaluación del destino y riesgo, a través de herramientas que permitan valorar las concentraciones de sustancias contaminantes en entornos genéricos (tipo EUSES) y específicos (GREAT-ER).

Los resultados obtenidos hasta ahora (Petzet et al, 2003) muestran valores cercanos en predicción de la concentración en ríos de las sustancias descargadas por plantas de tratamientos en zonas cercanas a su nacimiento.

Esto, probablemente pueda ser explicado por el hecho de que en estas condiciones, la concentración de las sustancias es aún baja. Sin embargo, fuera de las zonas cercanas al nacimiento, los valores de la concentración son completamente diferentes, por lo que es necesario, desarrollar una nueva metodología que permita aplicar a modelos de entornos genéricos, aspectos de variabilidad espacial, de manera que puedan ser considerados tales aspectos.

