

**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, llegándose 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-IEMSSs. (<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)