



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIRÍA

**ECO-INDICADORES PARA EMPRESAS MEXICANAS**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

INGENIERÍA DE SISTEMAS – INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

P R E S E N T A:

**MAT. ERIC ALFREDO RINCÓN GARCÍA**

TUTOR:

**M.I. WELLENS PURNAL ANN**



2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. Soler Anguiano Francisca Irene

Secretario: M. I. Hernández García Silvina

Vocal: M.I. Wellens Purnal Ann

1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Acosta Flores José De Jesús

2<sup>do</sup>. Suplente: Dr. Gutiérrez Andrade Miguel Ángel

Lugar donde se realizó la tesis:  
México, D.F.

**TUTOR DE TESIS:**  
M.I. Wellens Purnal Ann

---

**FIRMA**

**Para Tatún y Sahad.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la maestra Ann por su apoyo en la dirección de esta tesis.

A mis sinodales por sus aportaciones en este trabajo.

A Sara por todo su amor.

A Tatún y Sahad por toda la alegría que me han dado.

A mis papás, a Luís y a Lorena por su apoyo.

A Efrén, Esperanza, Felipe, Muñeca e Itzel por su incomparable compañía.

A mis compañeros Isabel y Jaime.

Gracias a CONACYT por su apoyo económico.

## INDICE

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1. Justificación	1
1.2. Objetivo general	2
1.3. Objetivos específicos	2
1.4. Alcances y limitaciones	2
1.5. Estructura de la tesis	3
<b>2. MODELOS DE INDICADORES DE ECO-EFICIENCIA EXISTENTES</b>	
2.1. Eco-eficiencia, una breve historia y sus alcances	5
2.2. Indicadores, definición y evolución	6
2.3. Modelos disponibles	8
2.3.1. Países Europeos	8
2.3.1.1. Ecopoints	8
2.3.1.2. Environmental Priority Strategies in product design (sistema EPS)	9
2.3.1.3. El sistema Tellus	10
2.3.1.4. Impact Pathway Analysis (IPA)/Análisis de Valoración Económica (EVA)	11
2.3.1.5. Eco-indicador 95	13
2.3.1.6. Eco-indicador 99	14
2.3.2. Otros países	15
2.3.2.1. Colombia	15
2.3.2.2. Japón	18
2.3.2.3. Australia	19
2.3.2.4. Canadá	21
2.3.3. Organizaciones	24
2.3.3.1. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)	24
2.3.3.2. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD)	26
<b>3. DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES DE ECO-EFICIENCIA</b>	
3.1. Selección de un modelo de indicadores	29
3.2. Análisis de los indicadores sugeridos por UNCTAD	31
3.2.1. Identificación de los problemas ambientales mundiales	32
3.2.2. Indicadores propuestos por UNCTAD	36
3.3. Metodología para el uso de los indicadores seleccionados	37
3.3.1. Consumo de agua y flujo devuelto	38
3.3.2. Requerimientos de energía	39
3.3.3. Contribución al calentamiento global	40
3.3.4. Basura generada	41
3.3.5. Sustancias que deterioran la capa de ozono	42
3.3.6. Dependencia de sustancias que deterioran la capa de ozono	43
3.3.7. Total de emisiones de sustancias que deterioran la capa de ozono	44

<b>4. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ECO-INDICADORES A UNA PYME MEXICANA</b>	
4.1. Análisis de las PYMES Mexicanas	45
4.2. Descripción de las empresas seleccionadas	47
4.2.1. Descripción del proceso productivo	48
4.2.2. Cocción	50
4.3. Aplicación del método	51
4.3.1. Rivera de las flechas, Chiapa de Corzo, Chiapas	52
4.3.2. Hornos ladrilleros en Ciudad Juárez, Chihuahua	57
4.4. Comparación de resultados	63
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	65
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	66
<b>ANEXO: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA</b>	72
A.1. Introducción	72
A.2. Estructura	73
A.3. Métodos de valoración	75
A.3.1. Métodos de monetización	76
A.3.1.1. Métodos basados en la buena disposición para pagar	76
A.3.1.2. Métodos no basados en la buena disposición para pagar	78
A.3.2. Evitar la combinación de métodos de monetización	78

## **RESÚMEN**

Este trabajo tiene como objetivo seleccionar indicadores o valores numéricos, aplicables a las empresas mexicanas, que reflejen el daño ambiental provocado por los procesos productivos y por los productos y servicios que ofrece el sector industrial. Para lograrlo se analizan y comparan metodologías desarrolladas por diferentes países y organizaciones internacionales.

Los métodos analizados se dividen en dos grupos, los basados en el análisis de ciclo de vida y los basados en el concepto de eco-eficiencia. Aunque no se realiza ninguna comparación entre estos conceptos, se concluye que actualmente el método más adecuado a las condiciones de las empresas mexicanas es el desarrollado por United Nations Conference on Trade and Development, que se basa en el concepto de eco-eficiencia.

Finalmente, se aplica la metodología seleccionada en dos ladrilleras mexicanas y se comprueba lo adecuado que resulta para medir y comparar el impacto ambiental provocado por diferentes empresas mexicanas, así como para detectar las mejoras que deben realizarse a fin de disminuir estos daños.



## **ABSTRACT**

The aim of this study is to select indicators or numerical values that reflect the environmental damage caused by productive processes, products and services produced by Mexican companies. Different methodologies have been developed, some in (mostly industrialized) countries, others by international organizations. In order to obtain indicators applicable to Mexico, existing indicator systems have been analyzed and compared.

The analyzed methods are based on two different concepts, being life cycle analysis (LCA) and eco-efficiency. Although no comparison between these concepts was made, the eco-efficiency approach developed by United Nations Conference on Trade and Development was found to be the most suitable for the present conditions of Mexican companies.

Finally, the selected methodology was applied to small Mexican brick factories. It could be verified that the chosen indicators are suitable to measure and compare the environmental impact caused by Mexican companies, as well as to detect improvements that should be made in order to diminish these damages.

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. JUSTIFICACIÓN**

En el siglo XX, la tecnología avanzó rápidamente y las actividades económicas se ampliaron, lo cual permitió proveer a muchas personas con estilos de vida cómodos y lujosos. Pero la forma de vida lograda gracias a la producción en masa, el consumismo y la disposición total ha provocado una carga pesada en el ambiente, dando como resultado una variedad de circunstancias altamente peligrosas relacionadas con problemas ambientales globales como son la contaminación atmosférica, el deterioro de la calidad del agua, los problemas de basura, el calentamiento global y sustancias químicas peligrosas. Estos problemas se han intensificado rápidamente en la última mitad del siglo XX, y es difícil que el desarrollo sustentable de la economía y la sociedad se pueda garantizar en el siglo XXI, a menos que se revierta esta tendencia.

Para hacer frente a esta situación, se han realizado acuerdos junto con acciones de ámbito internacional, como son Agenda 21, Protocolo de Kyoto, Protocolo de Montreal y Convenio de Basilea, que buscan detener e invertir la constante degradación del medio ambiente, pero que al mismo tiempo reflejan la importancia que las comunidades empresarial y financiera le han dado al concepto del desarrollo sustentable y al mejoramiento del funcionamiento ambiental, así como a la divulgación sobre las mejoras en estos temas.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta el hecho de que los impactos al medio ambiente están presentes en casi todas las actividades humanas; actividades que son regidas por consideraciones políticas, sociales, económicas y, solo en algunos casos, ambientales. Parece inevitable, por lo tanto, que la mayoría de las decisiones que afectan el ambiente serán tomadas por personas con poca experiencia o conocimiento ambiental. Por lo anterior, se ha buscado generar métodos que de manera visual y sencilla puedan reflejar los daños o mejoras ambientales logradas por una empresa, proceso o producto. Una forma de lograrlo es a través de indicadores o valores numéricos.

En Europa se encontraron modelos de indicadores basados en el análisis del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés), que permiten relacionar diferentes tipos de impactos ambientales con las características o materiales con que se diseñan los productos. Por otro lado, organizaciones como United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) y en países como Australia, Canadá, Colombia y Japón, varias compañías e instituciones se encuentran explorando el uso de los indicadores de eco-eficiencia o eco-indicadores. Sin embargo, todavía no se ha podido llegar a la implantación de algún modelo único capaz de representar las necesidades de los distintos sectores productivos.

En términos generales, el desarrollo de estos indicadores incluye un proceso en el cual se jerarquizan los impactos ambientales negativos que más afectan al país o región en donde se desarrollan. Posteriormente se seleccionan los materiales y los procesos productivos más comunes y a cada uno se le asigna

un puntaje basado en el daño que ejerce el producto o proceso. El indicador es el resultado de la suma de los impactos y se expresa como un valor numérico. De esta forma, se convierte en un método sencillo de interpretar, ya que los valores numéricos indican lo que se está haciendo, bien o mal, con respecto al medio ambiente y los recursos naturales, así como las mejoras que deberían realizarse. Sin embargo, no hay reglas o estándares estipulados para su construcción, mucho menos para poder determinar lo adecuado o inapropiado que resultan los indicadores sugeridos.

Este trabajo plantea analizar los modelos ya mencionados y utilizarlos como fundamento teórico para seleccionar indicadores adecuados para empresas Mexicanas, que les permitan incorporarse a la protección ambiental al tiempo que aumentan su competitividad, por ejemplo mediante el aprovechamiento de diferentes fuentes de financiamiento o proyectos donde la componente ambiental sea importante, la detección de áreas que puedan ser mejoradas y sobre todo, al mejorar la toma de decisiones mediante el pronóstico de los impactos que los temas ambientales pueden tener en su funcionamiento financiero.

## **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Seleccionar indicadores de eco-eficiencia, que puedan usarse en las empresas de México, basándose en el análisis de algunos de los modelos existentes.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Explicar la manera en que se definen, seleccionan y usan los indicadores de eco-eficiencia.
- Enunciar los modelos encontrados a nivel mundial.
- Analizar y explicar la metodología de cada uno de los modelos elegidos.
- Comparar los modelos.
- Seleccionar y proponer los indicadores de eco-eficiencia más adecuados para determinar los impactos ambientales provocados por las empresas de México.

## **1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES**

Se buscaron, a nivel mundial, métodos que permitieran medir la eco-eficiencia o el impacto ambiental provocado por una empresa, proceso o producto. Los métodos encontrados fueron analizados y comparados entre sí con el objetivo de proponer eco-indicadores para las empresas mexicanas. Los criterios de selección aplicados a cada uno fueron tanto lo recomendable de su aplicación

en base a los análisis realizados como lo adecuado que resultaban a las necesidades y características de las compañías mexicanas. Se consideró que el método desarrollado por United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) es, hasta este momento, el que mejor satisface dichas condiciones. No se proponen eco-indicadores nuevos debido a las limitaciones de tiempo propios al desarrollo de una tesis y al gran número de especialistas que deben participar en una tarea de este tipo.

Para poder determinar lo viable que podría ser este método se realizó una aplicación en PyMES. Sin embargo, la mayoría de las empresas contactadas se mostraron renuentes a proporcionar la información necesaria. Finalmente se obtuvieron datos de una ladrillera ubicada en el estado de Chiapas y de un estudio realizado a ladrilleras en el estado de Chihuahua. Con base en estos dos ejemplos se concluyó que el método propuesto resulta adecuado para aplicarse en empresas mexicanas. Sin embargo, se recomienda que en futuros estudios de este tema se revisen los avances que hayan reportado todos estos modelos, ya que la mayoría de ellos se encuentran abiertos a modificaciones.

## **ESTRUCTURA DE LA TESIS**

El capítulo 2 comienza con un resumen relacionado con la aparición o creación del concepto de eco-eficiencia. Posteriormente se explica la manera en que se definen, seleccionan y usan los indicadores; se mencionan modelos y métodos, aplicados en distintos países y por distintas organizaciones, haciendo comentarios breves relacionados con su funcionamiento, sus ventajas y desventajas.

En el capítulo 3 se utilizan los datos obtenidos de los análisis del capítulo anterior para comparar los modelos entre sí y determinar cuál de ellos resulta más adecuado a las empresas mexicanas. Una vez obtenido el modelo que será utilizado como base, se analizaron las consideraciones que se hicieron para guiar la elaboración del modelo elegido. Al final de este capítulo se explica la forma en que debe ser usado este modelo.

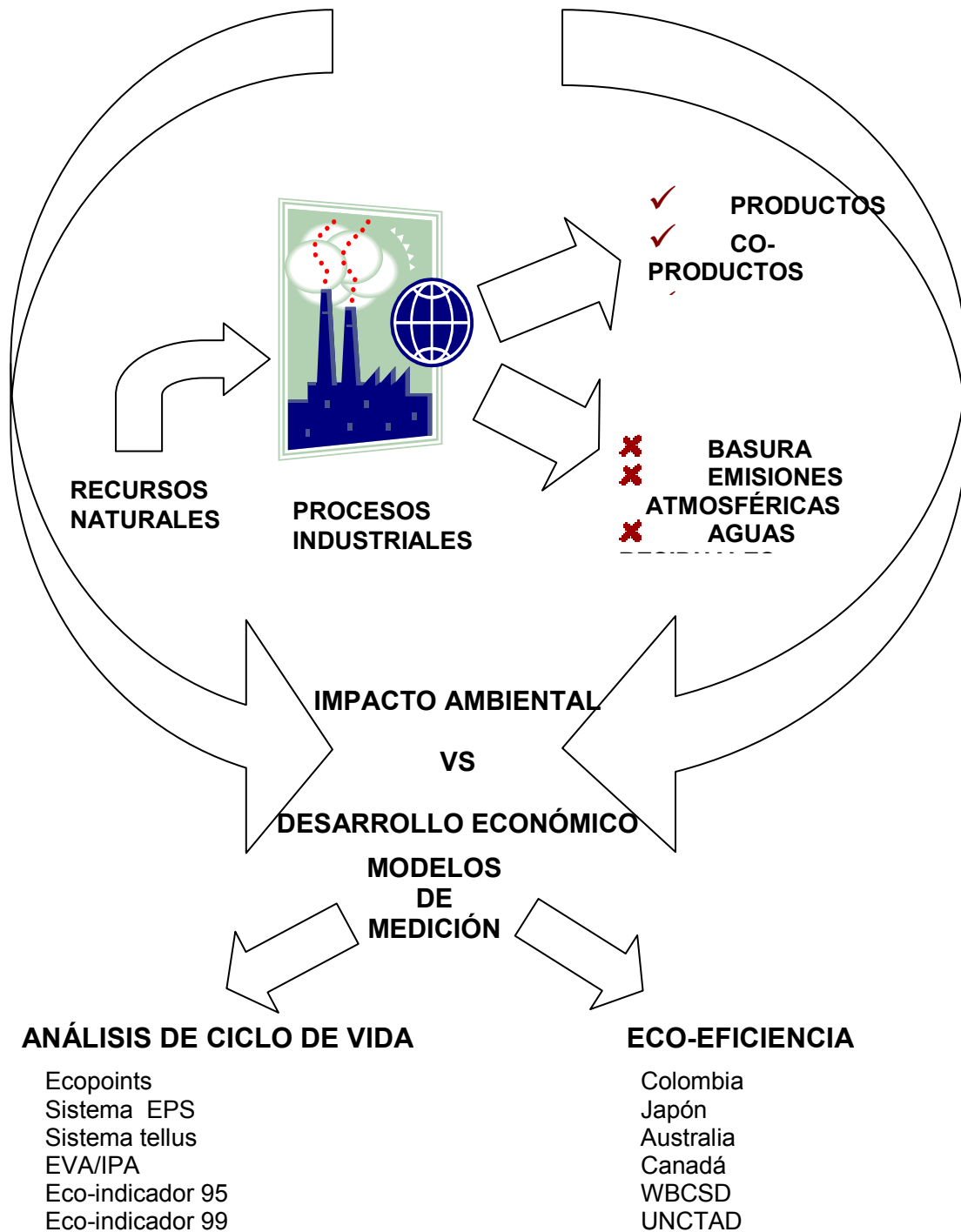
En el capítulo 4 se analizan de manera breve las condiciones actuales de las PyMES mexicanas, con la intención de tener presente las necesidades de este sector con respecto a los eco-indicadores que se proponen. Se eligen PyMES a las cuales aplicarles el método seleccionado y se analizan los resultados obtenidos.

En el capítulo cinco se analizan los resultados obtenidos desde la selección del método hasta su aplicación a las PYMES escogidas. Se mencionan las dificultades que se presentaron para su aplicación en las empresas mexicanas y se hacen recomendaciones tanto para futuras aplicaciones de la información contenida en este trabajo como para estudios posteriores que se realicen sobre este tema.

En el anexo se realiza una breve introducción al “análisis del ciclo de vida”. La revisión de éste concepto resulta conveniente debido a que varios de los modelos de eco-indicadores revisados se encuentran relacionados con él. Este

capítulo brinda una herramienta con la cual se podrá tener un panorama más claro de los motivos para aceptar o rechazar el uso de los modelos basados en este concepto.

En la siguiente figura se muestran los modelos analizados en esta tesis divididos en dos grandes grupos, los basados en el análisis de ciclo de vida y los basados en el concepto de eco-eficiencia. Ambos grupos buscan relacionar el impacto ambiental provocado por las empresas o sus productos con su desarrollo económico.



**Figura 1.1.** Modelos de medición.

## **2. MODELOS DE INDICADORES EXISTENTES**

### **2.1. ECO-EFICIENCIA, UNA BREVE HISTORIA Y SUS ALCANCES**

La eco-eficiencia tiene sus orígenes en el concepto de desarrollo sustentable presentado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente, en abril de 1987, en la Asamblea General de las Naciones Unidas. El resultado más importante de esta Comisión fue el “Reporte de Nuestro Futuro Común”, también llamado “Reporte Brundtland”, donde el desarrollo sustentable es presentado como “el desarrollo que satisface las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de que generaciones futuras puedan satisfacer sus propias necesidades” (Wikipedia, 2006)

Posteriormente, en 1991, el entonces llamado Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable (BCSD, por sus siglas en inglés), busca un concepto único, tal vez una sola palabra, en la cual se involucrara todo el objetivo empresarial para el Desarrollo Sustentable. Con esto en mente, antes de la reunión mundial de Río de Janeiro en 1992, se les pidió a las empresas que desarrollaran su contribución para el desarrollo sustentable, en palabras y en hechos. Las empresas respondieron con “Cambiando el Curso”, escrito por Stephan Schmidheiny en 1992 para el BCSD (Lehni, 2000). El objetivo del libro era cambiar la manera en que se desempeñan las industrias, para que dejaran de ser parte del problema de la degradación ambiental y se convirtieran en parte de la solución para la sustentabilidad y el desarrollo mundial. El libro buscó desarrollar un concepto que, uniendo las mejoras ambientales y económicas, les mostrara a las empresas cuál era el reto de la sustentabilidad. Ese concepto era la eco-eficiencia

En el primer taller con diversas partes interesadas en la eco-eficiencia, en 1993 los participantes estuvieron de acuerdo en la siguiente definición: “La eco-eficiencia se obtiene por medio del suministro de bienes y servicios a precios competitivos, que satisfagan las necesidades humanas y proporcionen calidad de vida, mientras progresivamente reducen los impactos ecológicos y el consumo de recursos a lo largo de su ciclo de vida, por lo menos hasta un nivel acorde con la capacidad de carga estimada de la Tierra”, definición que adopta World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (Lehni, 2000).

Otra definición es dada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que ha llamado eco-eficiencia a “la eficiencia con la cual se usan los recursos ecológicos para satisfacer las necesidades humanas” (Lehni, 2000).

La eco-eficiencia le pide a las organizaciones que obtengan más valor, con un menor consumo de materiales y energía y con una reducción en las emisiones. Para lograrlo es necesario satisfacer tres objetivos básicos:

1. Reducir el consumo de recursos: esto incluye minimizar el consumo de energía, materiales, agua y terreno, aumentar las posibilidades de reciclar y la durabilidad del producto, y cerrar el ciclo de los materiales.

2. Reducir el impacto en la naturaleza: incluye minimizar las emisiones, vertimientos, disposición de residuos y la dispersión de sustancias tóxicas, también incluye el apoyo al uso sustentable de los recursos naturales.
3. Suministrar más valor con el producto o servicio: Significa dar más beneficios a los usuarios, por medio de la funcionalidad, la flexibilidad y la versatilidad del producto, entregando servicios adicionales y enfocándose en vender la solución a las necesidades de los clientes. Esto abre la posibilidad de que el usuario pueda satisfacer sus necesidades, con un menor consumo de materiales y recursos.

Esto implica que la eco-eficiencia debe aplicarse a través de toda la organización, desde el mercadeo y desarrollo de productos, hasta manufactura o distribución. Definiendo a las compañías eco-eficientes como aquellas que crean productos y servicios más útiles, en otras palabras, que agregan más valor mientras reducen continuamente sus consumos de recursos y la contaminación (Lehni, 2000).

## **2.2. INDICADORES, DEFINICIÓN Y EVOLUCIÓN**

Los primeros indicadores analizados se basan en el análisis del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés); buscan unificar criterios y ser utilizados por cualquier sector empresarial, al menos dentro de la región donde fueron propuestos. Se caracterizan por proporcionar una lista de valores numéricos (indicadores), o métodos para calcularlos, que permiten determinar el daño ambiental provocado por un producto ya sea por el tipo de materiales requeridos para su diseño como por los que requerirá durante su vida productiva. Dentro de estos modelos se encuentran el sistema Environmental Priority Strategies (EPS), el sistema Tellus, el Análisis de Valoración Económica (EVA), Impact Pathway Analysis (IPA), el Eco-indicador 95 y 99, el modelo Ecopoints y el modelo del centro de ecología de la Universidad de Leiden, Holanda (CML). La mayoría de estos modelos presentaron problemas que hicieron y hacen poco recomendable su uso, debido a lo cual se continuó la búsqueda de opciones.

Posteriormente, con la creación del concepto de eco-eficiencia, aunado al principio empresarial “sólo se puede controlar lo que se mide”, se exploraron marcos de referencia que permitieran medirla. Con esto en mente, se crearon nuevos indicadores capaces de:

- Expresar el efecto ambiental producido por un producto o proceso
- Proporcionar información del desempeño ambiental de una empresa con respecto a su desempeño financiero
- Constituir un marco de referencia suficientemente flexible para ser usado ampliamente, e interpretado con facilidad a través de toda la gama de negocios.
- Finalmente garantizar el desarrollo sustentable de la sociedad

Se llega a la propuesta del siguiente cociente:

$$\text{Eco-eficiencia} = \frac{\text{Valor del producto o servicio}}{\text{Influencia ambiental}}$$

O bien

$$\text{Eco-eficiencia} = \frac{\text{Influencia ambiental}}{\text{Valor del producto o servicio}}$$

que es la forma en que se define un indicador de eco-eficiencia o eco-indicador. Es decir, se trata de un valor numérico asociado a un proceso o producto, que puede calcularse al incluir numeradores o denominadores tan diversos como sea necesarios dependiendo de cada caso particular (Sturm & Müller, 2004; Nakaniwa, 2004)

Algunos ejemplos específicos son:

$$\text{Eco-eficiencia} = \frac{\text{Materia prima consumida en el producto o proceso}}{\text{Valor neto agregado}}$$

$$\text{Eco-eficiencia} = \frac{\text{Materia prima consumida en el producto o proceso}}{\text{Unidades vendidas}}$$

$$\text{Eco-eficiencia} = \frac{\text{Tonelada de materia prima}}{\text{Kilómetro de transporte}}$$

Una vez definido el concepto principal y a través de sus primeros usos, se observó que los eco-indicadores que se habían propuesto se podían dividir en dos clases:

- Primero se identificaron un pequeño número de indicadores que son válidos para virtualmente todos los negocios, estos se llamaron indicadores de “aplicación general” o “genéricos”; son de importancia general y están considerados por la mayoría de los modelos; sin embargo, no necesariamente son de igual importancia para todas las compañías. Para cada uno de los indicadores debe haber un acuerdo internacional sobre: la relación del indicador con una preocupación ambiental global, o con un valor empresarial, la relevancia y significado en general para todos los negocios, la existencia de métodos establecidos de medición y de definiciones aceptadas globalmente.
- Después se consideró un segundo grupo de indicadores que se ajusten al contexto particular de compañías individuales y que no necesariamente son aplicables para las demás compañías; son llamados indicadores “específicos del negocio”. Cada compañía debe evaluar su propio negocio, para determinar cuáles son los indicadores específicos que le aplican y que son útiles para su administración.



En este punto resulta claro que los indicadores pueden definirse de distintas maneras, dependiendo de la empresa que deseé utilizarlos, el estudio que deba realizarse o la importancia que se le dé a las distintas partes que intervienen en el proceso o servicio. De hecho, el problema principal con este concepto es que no se han establecido reglas o estándares para el cálculo de la variable ecológica, ni siquiera entre empresas del mismo sector.

Con todo, cuando se logra determinar el método más adecuado para las necesidades de la empresa, se pueden calcular los indicadores de productos (procesos o servicios) similares y determinar cuál de ellos provoca una carga ambiental menor. Y por supuesto, su definición debe ser clara y su aplicación honesta para que su uso no sea ni deformado ni mal interpretado.

## **2.3. MODELOS DISPONIBLES**

Los modelos estudiados en este trabajo fueron realizados tomando como base dos conceptos diferentes y no comparables entre sí, siendo el análisis de ciclo de vida y la eco-eficiencia. Por lo tanto, al realizar comparaciones entre modelos desarrollados con conceptos diferentes únicamente se considerará si el modelo en cuestión es o no adecuado para las condiciones actuales de las empresas mexicanas.

Primero se analizarán los modelos que utilizaron el análisis de ciclo de vida ya que fueron los primeros en haber sido desarrollados, además de haber sido estudiados en muchas ocasiones lo cual brinda mayor información y detalle respecto a los errores u omisiones que ocurrieron en su desarrollo. Cabe mencionar que estos modelos fueron realizados en países europeos.

Posteriormente se analizarán los modelos que utilizaron el concepto de eco-eficiencia. Se revisarán sus fundamentos teóricos y la forma en que deben aplicarse. Debe tenerse en cuenta que debido a su reciente aparición y al poco tiempo con que se cuenta para realizar este trabajo, no se cuenta con mucha información referente a sus fallas.

### **2.3.1. PAISES EUROPEOS**

Los modelos encontrados en países europeos se caracterizan por haber sido desarrollados con base en el análisis de ciclo de vida. La mayoría de ellos fueron estudiados y considerados como poco recomendables por Göran Finnveden, en 1999, en el trabajo "A Critical Review of Operational Valuation/Weighting Methods for Life Cycle Assessment", lo cual quedará claro a continuación al analizar sus bases teóricas.

#### **2.3.1.1. EcoPoints**

Una de las primeras tentativas de desarrollar un modelo de multi-puntos de impacto fue el método de EcoPoints desarrollado por Swiss Environment Agency, BUWAL, en Suiza en 1990. Se basa en una gama de indicadores (14 en total) los cuales son pesados y agregados basándose en qué tan cercanos

se encuentran los niveles actuales de emisión con respecto a los niveles objetivo propuestos por el gobierno. Cuanto más lejos se encuentre el indicador del objetivo, mayor es el peso asociado. Este método se califica como bueno, aunque una gran desventaja es que está limitado a los niveles de emisión propuestos por el gobierno suizo.

### **2.3.1.2. Environmental Priority Strategies in product design (sistema EPS)**

El método Environmental Priority Strategies para diseño de productos (sistema EPS), fue desarrollado en Suecia a principios de los 90's, y utiliza valores económicos para comparar el impacto de diferentes categorías. Considera cinco temas: salud humana, diversidad biológica, producción (es decir, fertilidad), recursos y valores estéticos.

El sistema EPS se basa en una valoración de “los temas a salvaguardar”; éstos pueden interpretarse como “las áreas que deben protegerse”. El sistema EPS se puede considerar como un procedimiento de dos etapas. En la primera etapa se realizan una clasificación y una caracterización relacionadas con las “áreas para protección” que deben basarse en información de las ciencias naturales. La segunda etapa es una valoración de los resultados de la caracterización. La lista de clasificación de temas a salvaguardar en el sistema EPS debe incluir:

- a) Biodiversidad
- b) Producción
- c) Salud humana
  - a. Mortalidad
  - b. Enfermedades graves
  - c. Otras enfermedades
  - d. Estrés severo
  - e. Estrés moderado
- d) Recursos
  - a. Minerales
  - b. Combustibles fósiles
  - c. Agua dulce no renovable
  - d. Edificios e instalaciones
  - e. Arte
- e) Valores estéticos

En el sistema EPS, se cuantifica y posteriormente se valora el daño que una emisión provoca a estos temas. Por ejemplo, una emisión de CO<sub>2</sub> causará impactos en biodiversidad, producción, salud humana y recursos. Todos estos daños se deben cuantificar y valorar para calcular el factor de peso de la valoración para el CO<sub>2</sub>.

En el sistema EPS, se utilizan diversos tipos de medidas de monetización para distintos problemas. Puede haber contaminantes para los cuales se cuantifica solamente los valores comerciales, como por ejemplo precio de compra y venta asociados (solamente una parte del valor económico total), mientras que para

otros contaminantes se puede considerar el valor económico total, como por ejemplo incluyendo el costo asociado a la salud humana. Esto hace muy difícil la comparación entre conceptos y/o contaminantes.

En el sistema EPS, para muchos impactos la valoración es realizada para un periodo de tiempo establecido. Los impactos que ocurren después de este tiempo se desatienden. Por ejemplo, en el caso del calentamiento global, se considera que el efecto dura 100 años (ni más, ni menos), sin considerar lo que ocurra después. La motivación de los períodos de tiempo fijos es que el impacto de una emisión dura cerca de 100 años, lo cual constituye un serio error en la metodología, ya que no necesariamente es así para cualquier sustancia contaminante.

El sistema EPS indica que todas las generaciones deben tener los mismos derechos relacionados con las 5 categorías mencionadas anteriormente. Sin embargo, esto no se cumple operacionalmente, ya que al considerar períodos de impacto fijos de 100 años, y no tomar en cuenta las sustancias que siguen causando daño después de este tiempo fijo, se les están quitando estos derechos a las generaciones posteriores.

Asimismo, para los recursos (mineros, combustibles, agua, construcciones y arte), los costos de impactos futuros son estimados basándose en los precios de mercado actual pero no se da ninguna consideración del momento en que puedan ocurrir estos impactos, ni de la forma en que se pueden actualizar los precios para ese momento. La valoración de la diversidad biológica no está documentada.

Por las razones expuestas, el uso del sistema EPS no se puede recomendar actualmente (Göran, 1999).

### **2.3.1.3. El sistema Tellus**

El sistema Tellus, desarrollado por Tellus Institute de Suecia, calcula los factores de peso de la valoración utilizando datos basados en sociedades con buena disposición para pagar o remediar problemas ocasionados por la contaminación (ver anexo LCA para mayor detalle). Utilizan tanto datos de los impuestos de emisión (el impuesto sueco al CO<sub>2</sub>) como los costos marginales de reducir las emisiones por debajo de los límites establecidos.

Los factores de peso, o valores numéricos que reflejan el daño ambiental, calculados por este método son en su mayoría para datos de importancia toxicológica para el ser humano; los factores de peso correspondientes a los contaminantes atmosféricos solamente incluyen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO y Pb. No se proponen factores de peso para otros tipos de contaminación.

Debido a que el número de contaminantes incluidos es muy pequeño y que habrá muchas emisiones que no podrán ser estimados, se considera que como método general de peso LCA, el sistema Tellus tiene grandes huecos en la información. Asimismo, aunque se proponen valores para los factores de peso, el mismo método sugiere recalcularlos dependiendo de los avances

científicos y tecnológicos, por lo que el sistema es demasiado abierto. Estos dos factores hacen el método y los datos de Tellus poco adecuado para ser usado en forma general (Göran, 1999).

#### **2.3.1.4. Impact Pathway Analysis (IPA)/ Análisis de Valoración Económica (EVA)**

La valoración económica (EVA) es una técnica para asignar valores monetarios a los bienes, servicios o atributos que proporcionan los recursos naturales y ambientales independientemente de que estos tengan o no mercado.

En 1998, van Beukering analizó la valoración económica (EVA) en el análisis de ciclo de vida y los datos fueron utilizados por Dobson para desarrollar una metodología combinada basada en LCA y EVA. El resultado de esta combinación fue un método basado en el proyecto ExternE que utiliza el Impact Pathway Analysis (IPA) (Göran, 1999).

El Impact Pathway Analysis (IPA) es un método que busca determinar el daño provocado por emisiones a través del ciclo de vida correspondiente y la interacción con el medio ambiente. Sigue una serie de pasos para convertir el daño en una medida física del impacto al ambiente (el componente principal es la salud). Finalmente realiza una valoración monetaria (Tamborra, 2003). El método de monetización es elegido por el usuario; pueden ser por ejemplo métodos basados en las preferencias reales del individuo, en las preferencias expresadas del individuo o en sociedades con buena disposición para pagar (ver anexo).

El ejemplo más conocido de la puesta en práctica del Impact Pathway Analysis es el proyecto ExternE (External Costs of Energy), financiado por la comisión europea de investigación desde 1991 (Rabl, 2000). Busca evaluar los costos externos asociados a los ciclos de vida de varios combustibles en diversas regiones de Europa. Los impactos locales, regionales y globales se calculan con el software de Ecosense. Esta metodología también ha sido probada en el sector de transporte, en tecnologías industriales y en los sectores relacionados con el manejo de la basura

En esta sección se analizará la combinación IPA/EVA propuesta por Dobson.

El Impact Pathway Analysis o IPA no siempre puede ser utilizado en un análisis de ciclo de vida. En el IPA, el punto de partida es una emisión conocida en un sitio conocido. El transporte y las transformaciones químicas del producto se modelan usando datos específicos del sitio para calcular la concentración y la deposición en receptores específicos (seres humanos, flora, materiales y ecosistemas). Entonces se cuantifican los daños a estos receptores. En el paso final, los daños son valorados y monetizados.

Sin embargo, no necesariamente cumple con los requisitos para un análisis de ciclo de vida, debido a que la información específica puede no estar disponible. Los datos usados por el IPA son derivados de sitios específicos. La aplicación de estos resultados a otros sitios es por supuesto algo que puede ser

cuestionado. La idea detrás del IPA es que hay diferencias significativas entre las emisiones en diversos sitios. Desde esta perspectiva no resulta claro que los resultados de un sitio se puedan utilizar para un ciclo de vida entero. Los costos de los daños para algunos contaminantes del aire emitidos en diversos lugares en Europa pueden variar por un factor de 10 (Göran, 1999). Además, no se sabe en qué medida los resultados del sitio específico son representativos para una situación media.

El IPA requiere que los daños puedan ser modelados. Hasta ahora, el método de IPA se ha aplicado a algunas emisiones al aire (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, VOC, As, Cd, Cr y Ni). También hay huecos en la información con respecto a los tipos de impactos considerados. Por ejemplo, para emisiones de cadmio, solamente se consideran los efectos carcinógenos. Otros tipos de efectos, por ejemplo lesiones del riñón (Göran, 1999), no se consideran. Además, los efectos ecotoxicológicos no son considerados.

Para aumentar el número de contaminantes considerados, el método propuesto por Dobson P. utiliza el mismo método de caracterización de agentes carcinógenos usado en el instituto Tellus. Pero como se recordará uno de los problemas del método Tellus era la necesidad de actualizar los factores de pesado, por lo tanto el problema sigue vigente.

Al llegar a la etapa de monetización, se realiza el análisis de valoración económica (EVA) el cual es hecho, de acuerdo con van Beukering, mediante un estudio de valoración contingente, que es una técnica que busca estimar el valor de bienes (productos o servicios) cuyo valor en primera instancia no es cuantificable, mediante preguntas en las cuales las personas determinan la máxima cantidad de dinero que pagarían por el bien si tuvieran que compararlo. De ahí se deduce el valor que para el consumidor medio tiene el bien en cuestión, por ejemplo el valor del patrimonio natural, de bienes colectivos o de iniciativas propuestas por el gobierno del país (Riera, 1994). Sin embargo, estos datos no siempre están disponibles. En estos casos se utilizan otras medidas, por ejemplo los costos en que se incurren cuando son tratados los impactos. Como en el caso del sistema EPS, la mezcla de diversos métodos de valoración es una desventaja desde un punto de vista teórico.

El método de IPA no contempla el análisis de efectos para el calentamiento global (Ščasný & Melichar, 2005), pero considera la opción de usar datos tomados de la literatura disponible. Los datos están en el rango de 5 a 25 euros/tonelada de carbón para los impactos que ocurran hasta el año 2100, notando que este método, al igual que el sistema EPS, utiliza períodos fijos para futuros impactos. Hay otras estimaciones en la literatura que podrían ser utilizadas y que son perceptiblemente diferentes. La elección de los datos de la literatura tendrá, por lo tanto, una influencia importante en los resultados y dicha elección debe, quizás, ser discutida y justificada más a fondo.

Por los huecos en la información, la manera en que se seleccionan algunos costos (por ejemplo para el calentamiento global), y la necesidad de actualizar de los factores de pesado, no se recomienda el uso del método de EVA/IPA (Göran, 1999).

### **2.3.1.5. Eco-Indicador 95**

Este proyecto fue comisionado por el Ministerio Holandés de Planeamiento Urbano, Tecnología y Ambiente como parte de la política de administración de productos ambientalmente orientados. Fue desarrollado por PRé Consultants para el gobierno holandés, conjuntamente con una amplia gama de compañías de manufactura y agencias de investigación.

En este proyecto, PRé Consultants desarrolló un método de impacto de ciclo de vida, que fue hecho en colaboración con el sector industrial, las universidades de Ámsterdam, Leiden y Delft así como las consultorías TNO y CE. En particular, se puede mencionar que el Centro de Ecología (Centrum voor Milieukunde, CML) de la Universidad de Leiden, Holanda, produjo una metodología detallada del impacto de ciclo de vida en 1992. Las caracterizaciones de los indicadores que propone constituyeron la base para muchos otros trabajos entre ellos el Eco-indicador 95.

El Eco-indicador 95 es un modelo que comienza identificando tres tipos de daños ambientales: salud humana, calidad del ecosistema y recursos. Estas tres áreas son comparadas basándose en el principio distancia al objetivo, en el cual se establece un objetivo para cada categoría de impacto y este objetivo podrá ser utilizado para derivar un factor o valor numérico que mida el daño ambiental provocado por cada categoría. Si la diferencia es grande, el factor será grande.

El Eco-indicador 95 fue desarrollado como una manera de obtener una medida adecuada para calcular los impactos producidos por los productos en el medio ambiente. De esta forma resultaría más fácil desarrollar productos ambientalmente sanos. Éste proyecto comienza como una petición realizada por Philips, NedCar, OCé y Schuurink, al gobierno holandés.

Como los modelos anteriores presentaban fallas que los hacía poco recomendables, se decidió no analizar la forma en que funcionaban o debían aplicarse. En el caso del Eco-indicador 95, que también presenta fallas, se revisó la manera en que debe aplicarse porque sirve de base para el modelo Eco-indicador 99 que es considerado como una opción viable.

El uso del Eco-indicador 95 es sencillo. El usuario debe enumerar las cantidades de materiales, de energía y de procesos que ocurren durante el ciclo de vida de un producto. Posteriormente, se multiplican estas cantidades con los factores de conversión asignados por el método para estos materiales y procesos. Esto permite determinar qué procesos contribuyen mayormente a los efectos totales esperados. El paso siguiente es buscar soluciones alternativas de diseño y analizar si en realidad son adecuadas desde un punto de vista ambiental.

Se propone una lista de eco-indicadores ya calculados para:

- a) Materiales
- b) Procesos productivos

- c) Procesos de transporte
- d) Procesos de generación de energía

El Eco-indicador 95 es sobre todo una herramienta para diseñadores. El diseñador puede utilizar el Eco-indicador de dos maneras:

1. Para realizar las preguntas correctas (cuáles son las causas primarias de la carga ambiental de un producto)
2. Para realizar las respuestas correctas (qué diseño alternativo tiene la carga ambiental más baja)

El Eco-indicador 95 se encuentra incorporado a productos de software, o bien puede revisarse en la guía para diseñadores en la cual se han publicado y calculado los indicadores para 100 materiales comunes. Este modelo resulta muy fácil de comprender y de aplicar; sin embargo, como muchos modelos de impacto, descuida los impactos de utilización de suelo y de biodiversidad (SPECD, 1995).

#### **2.3.1.6. Eco-indicador 99**

El Eco-indicador 99 (EI99) es una reconstrucción del método Eco-indicador 95 con mejoras substanciales en la modelación del daño provocado por emisiones. Esto se logra teniendo en cuenta el probable destino de la emisión y las zonas en donde el contaminante pueda tener un impacto. También se toma en cuenta la sensibilidad de los destinos dependiendo del tipo de sustancia emitida. Es un modelo de arriba hacia abajo que comienza identificando tres tipos ambientales de daños: salud humana, calidad del ecosistema y recursos (de la misma forma que el Eco-indicador 95). De hecho, hereda todas las ventajas de su predecesor y se le aumentan algunas correcciones, basándose en las críticas que recibió el Eco-95.

Algunas de las mejoras realizadas son las siguientes:

- a) Mejorar la preparación académica del panel que realizó la valuación
- b) Mejorar la definición de las categorías de daños
- c) Inclusión del uso de tierra como un impacto o como una categoría de impacto
- d) Inclusión del agotamiento de recursos
- e) Una mejor descripción de los modelos de daños
- f) Inclusión de la teoría cultural, como una herramienta para manejar la subjetividad
- g) Mejores y más comprensivas definiciones de los efectos, e inclusión del análisis del destino
- h) Más de 200 valores calculados para materiales comunes

Un punto que no debe perderse de vista, es que estos indicadores fueron diseñados para considerar las cantidades de materiales, de energía y de procesos que ocurren durante el ciclo de vida de un producto, debido a lo cual no resulta posible comparar el Eco-indicador de un producto A con el eco-indicador del producto B cuando han sido producidos por empresas diferentes, porque al calcularlos nunca se toma en cuenta los procesos que se siguieron para producirlos en cada una de las empresas. De esta forma, se observa que

una de las limitantes del modelo es su falta de comparación entre compañías del mismo sector

También debe resaltarse el hecho de que estos indicadores fueron calculados tomando en consideración procesos industriales europeos, los cuales pueden diferenciarse mucho de los utilizados en otras partes del mundo, y características específicas del medio ambiente en Europa, por lo cual no se recomienda una aplicación directa del modelo excepto en aquellos indicadores que el modelo mismo considera de aplicación global como los relacionados con el calentamiento global (Goedkoop & Spriensma, 2000 y SPECD, 2000).

### 2.3.2. OTROS PAISES

En esta sección se inicia el análisis de los modelos basados en el concepto de eco-eficiencia, mediante la revisión de las propuestas realizadas por distintos países, ninguno de ellos europeo. La mayor parte de las propuestas se basa en el cálculo de los indicadores de eco-eficiencia mediante en cociente:

$$\frac{\text{Valor del producto o servicio}}{\text{Influencia ambiental}}$$

#### 2.3.2.1. COLOMBIA

En el caso de Colombia, el Ministerio de Medio Ambiente en convenio con PROPEL desarrollaron un modelo de indicadores específico para empresas del sector PYME que busca evaluar la sustentabilidad, relacionando su desempeño ambiental con la competitividad integral. De esa manera, el modelo intenta concientizar a las PYMEs sobre la importancia de su desempeño ambiental y por otro lado mostrar su nivel de gestión ambiental (López & Torres, 2001).

Cabe resaltar que el modelo de Colombia no realiza el tipo de cocientes que caracterizan a los indicadores de eco-eficiencia, pero si son una medida de la influencia ambiental provocada por las empresas y fueron desarrollados tomando en cuenta el principio de sustentabilidad.

En este modelo se determinaron seis indicadores básicos (competitividad, rentabilidad, sistema de gestión ambiental, eco-eficiencia, componente social y humano y cumplimiento legal), ya que reúnen las áreas críticas identificadas en la fase del diagnóstico y preparación del modelo.

Los indicadores básicos (en negrilla) constan de los siguientes indicadores parciales:

**Competitividad:** Ventas, calidad, innovaciones del producto, sistema organizado de planeación y ejecución empresarial y gestión de la información.

**Eco-eficiencia:** Implementación de tecnología ambiental, desarrollo del pasivo ambiental, desarrollo de la valoración de residuos, desarrollo de la participación en mercados verdes, eficiencia en el uso de los recursos, eficiencia de los



programas ambientales, sistema de costos de ineficiencia en los recursos productivos, beneficios por eficiencia en los recursos productivos, relación costo –beneficio en los recurso productivos y participación en programas ambientales.

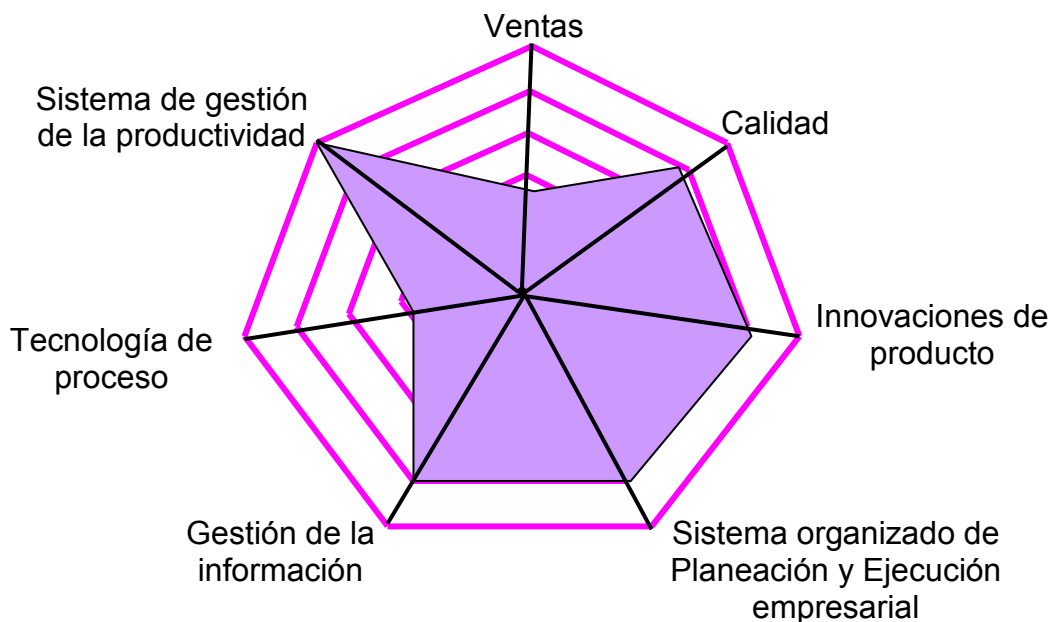
**Sistema de gestión ambiental:** Planear, hacer, verificar y analizar.

**Rentabilidad:** Estructura de costos, racionalización en el uso de los recursos productivos, retorno sobre la inversión, retornos sobre las ventas, liquidez, seguridad de capital, razones financieras de liquidez, razones financieras de rentabilidad, razones financieras de actividad y razones financieras de mercado.

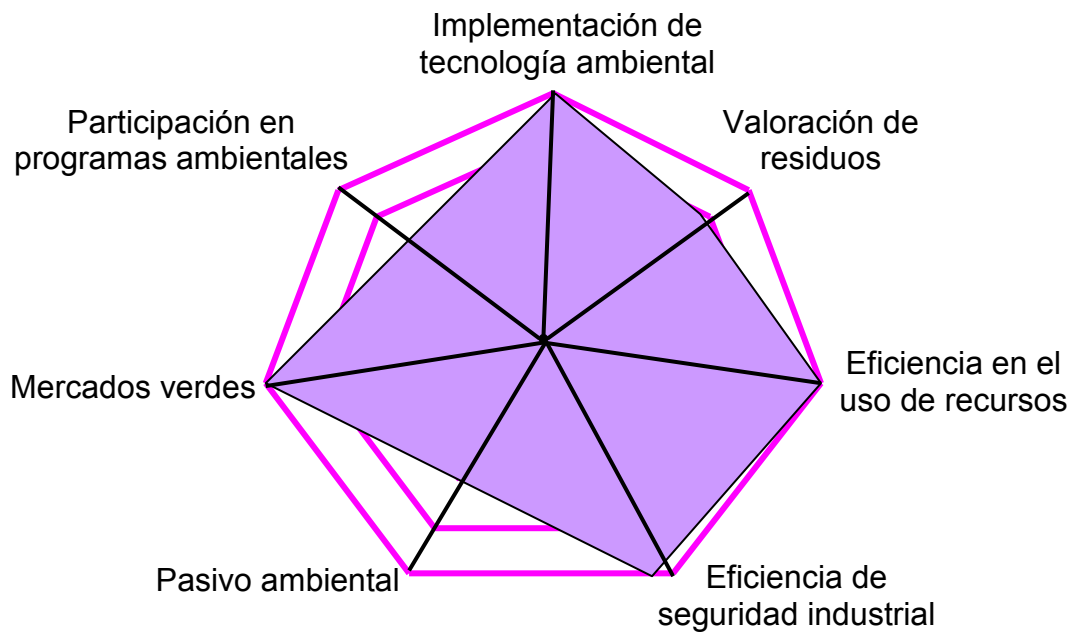
**Social y humano:** Educación, ambiente laboral, generación de empleo, sistemas de información, salud y ocupacional.

**Cumplimiento legal:** Cumplimiento de la normatividad y pago de impuestos.

Cada una de los indicadores básicos recibe un puntaje de 1 a 5 dependiendo del cumplimiento de cada uno de los indicadores parciales correspondientes, que también son evaluados de 1 a 5 en un polígono, cuya forma depende del número de indicadores parciales que evaluar. Los resultados son representados de manera gráfica. Por ejemplo, en las figuras siguientes se muestran los resultados obtenidos por empresas metalúrgicas Colombianas en las áreas de competitividad y eco-eficiencia respectivamente.



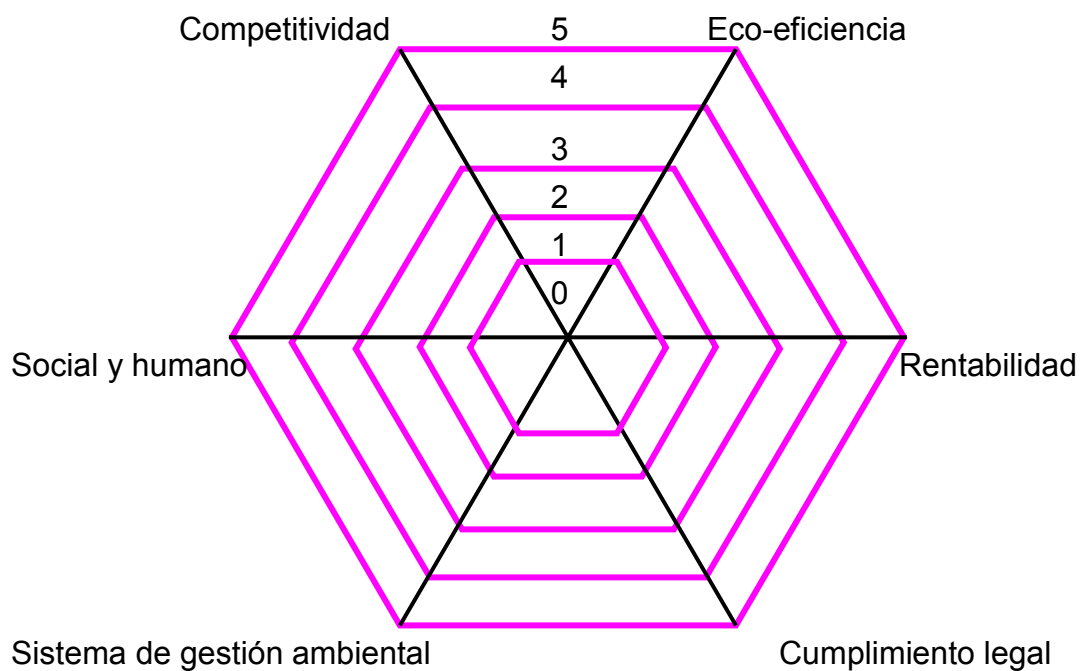
**Figura 2.1.** Competitividad y sus indicadores parciales



**Figura 2.2.** Eco-eficiencia y sus indicadores parciales

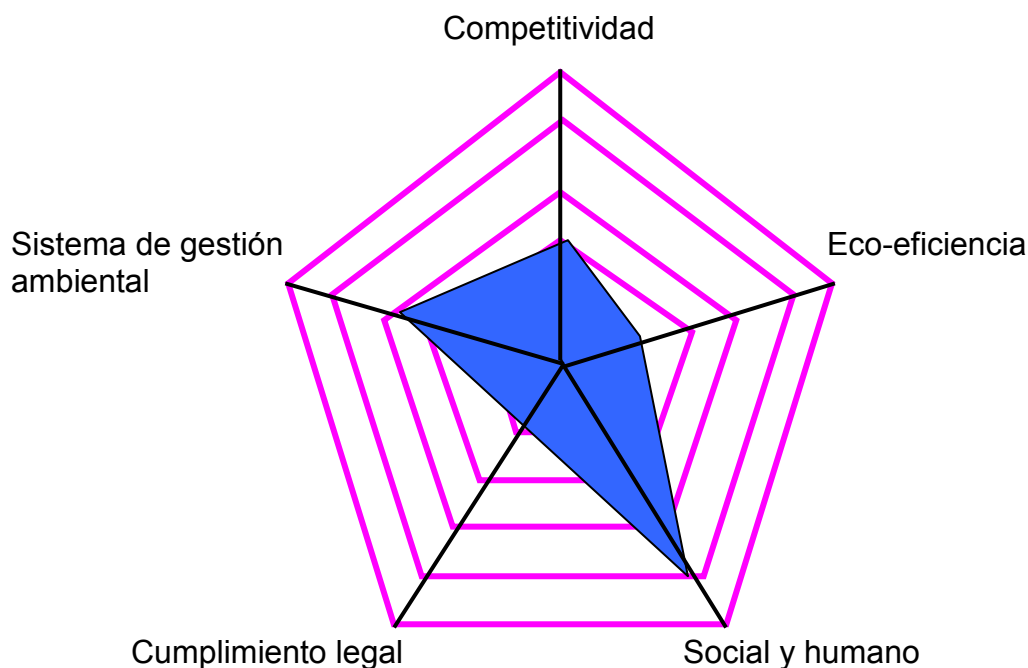
Debe resaltarse que dependiendo del sector o la empresa que se este analizando se pueden agregar o quitar indicadores parciales. Asimismo, puede ocurrir que las empresas no cuenten o prefieran no dar a conocer los datos necesarios para evaluar los indicadores parciales o los básicos.

Los resultados finales de cada indicador básico se representan a través de un hexágono, figura que en cada uno de sus vértices recoge una fuerza que determina las áreas críticas de la PYME (Competitividad, eco-eficiencia, sistema de gestión ambiental, rentabilidad, social y humano y cumplimiento legal).



**Figura 2.3.** Modelo de indicadores colombiano

Se analiza cada variable enlazada con el contexto general del sector y de la empresa. Por último se da un diagnóstico que englobe todos los resultados presentados y la calificación general es representada mediante una figura.



**Figura 2.4.** Representación gráfica de resultados

Como se puede notar, en la figura 2.4 falta el indicador de rentabilidad, debido a que la empresa analizada no contaba con los datos necesarios para evaluar este indicador o bien prefirió no mostrarlos, motivados por medidas de seguridad.

De esta manera, el modelo desarrolla una herramienta visual la cual permite desarrollar de manera inmediata una evaluación rápida de la situación de la empresa o el sector que se está comparando.

En conclusión, la interpretación del modelo se basa en las variables analizadas en cada uno de los indicadores básicos mencionados, lo que conlleva a observar el verdadero impacto global de la empresa en relación con su entorno. Este modelo permite realizar en forma subjetiva un diagnóstico de la situación actual de la empresa y pretende medir la relación y la responsabilidad de cada una de las partes interesadas (López & Torres, 2001).

### 2.3.2.2. JAPÓN

En Japón, el concepto de eco-indicadores es reciente, aunque algunas compañías como Fijitsu, Mitsubishi, Nokia, Masushita Electrical Industrial y Hitachi ya se encuentran utilizándolo. Estas compañías definen los eco-indicadores como un cociente en el cual el numerador en principio es dado por las funciones y el funcionamiento del producto evaluado; sin embargo, existe la posibilidad de usar un distinto numerador, si así lo decide el aplicador. Asimismo, se considera que lo mejor es utilizar la información que se ha

divulgado al público a través de los folletos o de los catálogos del producto para garantizar la transparencia y la confiabilidad. Por otro lado, el denominador se basa en la carga ambiental provocada por el uso del producto. Esta carga incluye calentamiento global, el uso de recursos (de energía eléctrica, consumo de agua, consumo de hierro, etc.), y los efectos del uso de las sustancias dañinas (plomo, tolueno, mercurio, etc.). Nota que para determinar la carga ambiental es importante tomar en cuenta el impacto que el producto produce durante su ciclo de vida completo.

Actualmente se busca difundir el uso adecuado de los eco-indicadores, remarcando su importancia y la necesidad de aplicarlos de manera transparente y honesta para obtener resultados confiables. El siguiente paso que se intenta dar es lograr la unificación de los métodos usados, lo cual representa un gran problema debido a la diversidad de productos y características que cada empresa considera más adecuadas. Otro punto interesante de remarcar es que el uso de los eco-indicadores tiene además propósitos de mercadotecnia, algo que puede obscurecer o desacreditarlos y finalmente evitar su desarrollo en las compañías japonesas, si antes no se logra la estandarización de los métodos usados para su cálculo (Nakaniwa, 2004).

### 2.3.2.3. AUSTRALIA

En el caso de Australia se encontraron dos propuestas.

La primera de ellas fue realizada en el año 2003, por el Centre for Design at RMIT University, y planteaba adaptar el modelo eco-99 desarrollado en Europa a las condiciones australianas. Esta propuesta no es incluida dentro de los modelos que utilizan el análisis de ciclo de vida puesto que las bases teóricas que pretende utilizar ya fueron analizadas en la sección anterior. Su aportación real son los pasos que planea seguir para adecuar este método. Considera que adaptar este modelo tendría 4 niveles de dificultad:

**Primer nivel.** Varios de los impactos considerados en el modelo eco-99 son válidos para Australia, incluyendo calentamiento global y el impacto del deterioro de ozono. Para estos impactos, se puede aplicar los factores de conversión del ECO-99 como tal.

**Segundo nivel.** Otros impactos requerirán solamente una alteración menor para adaptarlas a Australia. Estos pueden incluir formaciones de oxidantes fotoquímicos y el análisis de daños para toxinas humanas.

**Tercer nivel.** Algunos indicadores, tales como el análisis de exposición (cómo se concentran las emisiones en el ambiente) y análisis de daños (qué efecto tienen estas concentraciones en el ecosistema) necesitarán ser desarrollados específicamente para las condiciones australianas, aunque los mecanismos serán similares a los planteados en Europa.

**Cuarto nivel.** Hay nuevas categorías que pueden necesitar ser incluidas, tales como el impacto en el uso del agua, el daño de la erosión a los recursos agrícolas, salinidad y otras formas de degradación de la tierra.

La segunda propuesta fue planteada en el año 2000 por el Departamento del medio ambiente y patrimonio del gobierno australiano, dentro de un proyecto más amplio que buscaba medir la eco-eficiencia de ciertas compañías. Dicho proyecto recolectó información de empresas para identificar oportunidades para mejorar su eco-eficiencia y proporcionar información y transparencia en sus progresos. Asimismo, buscaba utilizar la información física y financiera para desarrollar eco-indicadores, los cuales eran calculados mediante el cociente del valor del producto o servicio entre la influencia al medio ambiente, considerando al valor del producto o servicio como cantidad de unidades producidas o vendidas y los ingresos obtenidos, mientras que la influencia al medio ambiente se obtiene del consumo de agua, energía, etc. Este proyecto remarca el hecho de que sus resultados se limitan a los sectores industriales que participaron en él (indicadores específicos), y no pretendía obtener un conjunto de eco-indicadores genéricos, válidos a nivel nacional.

En el año 2005 se publicaron resultados obtenidos pero se consideró que el proyecto debía continuar por lo menos tres años para mejorarlo (DEHCD). Ejemplos de los indicadores propuestos se dan en la siguiente tabla.

<b>Categoría</b>	<b>Indicador</b>
Producto/Servicio Creado	Por unidad producida o vendida, cantidad de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia prima utilizada</li> <li>• Agua</li> <li>• Energía no renovable</li> <li>• Energía renovable</li> </ul> Por ingresos, cantidad de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia prima utilizada</li> <li>• Agua</li> <li>• Energía no renovable</li> <li>• Energía renovable</li> </ul>
Emisiones	Por unidad producida o vendida, cantidad de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basura</li> <li>• Emisiones contaminantes</li> <li>• Emisiones de gases de efecto invernadero</li> </ul>
Recursos reciclados	Cantidad de materiales reciclados por unidad producida o vendida. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reciclado interno</li> <li>• Reciclado externo</li> </ul>
Administración Ambiental	% de negocios con: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas ambientales</li> <li>• Certificación ISO 14001</li> <li>• Reportes ambientales</li> </ul>
Gastos ambientales	Gastos en disposición de basura

	Gastos en mejoras eco-eficientes (aumento de la eficiencia en el uso de recursos u disminución del impacto ambiental)
Beneficios financieros	Ahorros provenientes de mejoras en la eco-eficiencia <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingresos por la venta de la basura generada</li> </ul>

**Tabla 2.1.** Indicadores propuestos por el Departamento del medio ambiente y patrimonio del gobierno australiano

Se propone el intercambio de información entre empresas participantes para lograr mejoras ambientales más sustanciales, sin incluir a aquellas que no se comprometan a integrarse al proyecto. Aún no se han determinado indicadores específicos pero si se consideran un grupo de indicadores básicos o elementales que debían reunir el mínimo de información necesaria requerida por el proyecto; estos indicadores se resumen en la siguiente tabla.

Categoría	Indicador
Producto/Servicio Creado	Por unidad producida o vendida, cantidad de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia prima utilizada</li> <li>• Agua</li> <li>• Energía</li> </ul>
Administración Ambiental	% de negocios con: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas ambientales</li> <li>• Certificación ISO 14001</li> <li>• Reportes ambientales</li> </ul>

**Tabla 2.2.** Indicadores básicos requeridos por el Departamento del medio ambiente y patrimonio del gobierno australiano

Cabe mencionar que hasta el momento en que se cerró el proceso de investigación no se encontró información actualizada sobre los resultados obtenidos por estos proyectos. (DEHCD, 2003; Centre for Design at RMIT University, 2003).

#### 2.3.2.4. CANADÁ

The National Round Table on the Environment and the Economy (NRTEE) es un organismo independiente que provee a inversionistas, empresarios y al público canadiense consejos y recomendaciones para promover el desarrollo sustentable. Representa una amplia gama de sectores, incluyendo negocios, laboral, academia y organizaciones ambientales.

El trabajo desarrollado por esta organización (Calculating Eco-efficiency Indicators: A Workbook for Industry, 2001) busca la estandarización de definiciones y de reglas para el cálculo y divulgación de indicadores de eco-eficiencia, considerando que esto puede ayudar a las compañías a fijar objetivos medibles de eco-eficiencia y a facilitar comparaciones entre compañías y negocios de los mismos sectores. Además, considera que se daría lugar a indicadores extensamente aceptados, cuantificables,

comprobables y transparentes que podrían ser ampliamente utilizados. En última instancia, propone que la divulgación de la eco-eficiencia podría convertirse en una situación común y rutinaria como lo es la divulgación de indicadores de funcionamiento financiero. Cabe mencionar que para la realización de este trabajo, se basaron en el desarrollo de principios y el marco de referencia creado por el WBCSD para los indicadores de eco-eficiencia.

Este proyecto fue realizado con la cooperación activa entre NRTEE y compañías voluntarias, dando como resultado el desarrollo y prueba de indicadores genéricos para el uso de energía, agua y generación de basura. Durante el proceso también se seleccionaron indicadores específicos para estos mismos elementos; sin embargo no serán analizados ya que se requeriría demasiado tiempo y espacio.

Los tres indicadores genéricos desarrollados por NRTEE fueron diseñados para ayudar a las compañías a evaluar su funcionamiento en un cierto plazo con respecto a:

- a) La reducción de los requisitos de materiales a través de la mejora en el manejo de la basura y del agua
- b) La reducción el uso de energía.

Recomendaciones importantes que deben tomarse en cuenta antes de recopilar la información y calcular el valor de los indicadores, son:

1. Se debe considerar el uso que se desea dar a los indicadores, lo que ayudará a determinar los límites del proyecto, el período de divulgación y el denominador apropiado para el cálculo de los indicadores.
2. El paso siguiente es determinar los posibles límites físicos del proyecto, como pueden ser:
  - La compañía en su totalidad;
  - Una unidad del negocio dentro de la corporación, que podría incluir varias instalaciones y/o productos;
  - Una línea de productos particular dentro de la corporación, que se podría producir en una sola fábrica o en varias instalaciones;
  - Una o más instalaciones (sitios) operados por la compañía; o
  - Una o más operaciones dentro de una o todas las instalaciones de la compañía.
3. Una vez elegido un límite del proyecto, se debe seleccionar un período de divulgación apropiado y significativo. Los puntos a considerar incluyen:
  - El año fiscal de la compañía
  - La frecuencia con que deben calcularse los indicadores
  - Las frecuencias y las fechas de la facturación para los recursos de la compañía (recibos de electricidad, otros recibos de servicios contratados, facturas de los proveedores)

4. Otro aspecto es el delimitar los elementos que serán calculados o incluidos en el proyecto. Idealmente, toda la energía, materiales (basura) y cantidades de agua se deben incluir en los cálculos de los indicadores. A veces, sin embargo, el esfuerzo de obtener toda la información necesaria puede no justificar los beneficios para la compañía. Un artículo (o un agregado de artículos) se debe considerar necesario o bien puede ser omitido dependiendo de su importancia para llevar a una declaración errónea que pueda influenciar o cambiar una decisión.
5. De acuerdo con el trabajo, también debe determinarse el denominador más adecuado para la empresa que calcula los indicadores y el proyecto que se ha desarrollado en base a los puntos anteriores. Dentro de los denominadores que se proponen se encuentran:
  - Toneladas del producto
  - Unidades del producto producidas o enviadas
  - Dólares de ventas
  - Horas megaWatts
  - Metros cuadrados de espacio
6. Finalmente se toma en consideración la divulgación de los resultados. Al presentar los indicadores al público objetivo, es importante proporcionar el contexto para estos indicadores (el período de tiempo seleccionado, el denominador usado y las razones para estas opciones). Es también útil demostrar tendencias en los indicadores en un cierto plazo.

Después de estas consideraciones se definen los tres indicadores de la siguiente manera:

#### **Indicador de energía**

El indicador de energía mide todos los combustibles directos e indirectos usados para producir el producto (s) o para entregar el servicio (s) por unidad de producción o de servicio.

#### **Indicador de basura**

El indicador basura mide el total de material que entra en los límites del producto menos el material que termina en el producto y en co-productos por la unidad de la entrega de la producción o de servicio.

#### **Indicador del agua**

El indicador del agua se puede utilizar para medir, para seguir y para divulgar el uso del agua en las compañías para quienes el agua representa un material importante. El indicador del agua representa la cantidad de agua tomada en el límite físico del proyecto por la unidad del producto o de servicio.

Para el cálculo del numerador de cada uno de los indicadores se deben determinar las fuentes de las cuales procede la energía o el agua utilizada y los materiales que forman la basura generada así como las cantidades asociadas a cada uno de ellos por separado. Estas cantidades son multiplicadas por factores (valores numéricos ya calculados) que dependen del origen o



características de cada uno de estos elementos. La suma de estos productos proporciona los numeradores para los indicadores de energía, basura y agua respectivamente.

Finalmente, el denominador es seleccionado dependiendo de las necesidades del proyecto, como se menciona en párrafos anteriores (NRTEE, 2001).

### 2.3.3. ORGANIZACIONES

Finalmente, se concluye el análisis de los modelos encontrados con la revisión de las propuestas realizadas por dos organizaciones internacionales, World Business Council For Sustainable Development y United Nations Conference On Trade And Development. Ambas metodologías proponen el uso de indicadores de eco-eficiencia mediante el cálculo de un cociente que incluya el valor del producto o servicio y la influencia ambiental.

#### 2.3.3.1. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD)

WBCSD es una coalición de aproximadamente 150 empresas internacionales, unidas por un compromiso compartido de protección ambiental, equidad social y crecimiento económico, en otras palabras, de desarrollo sustentable. Los miembros provienen de más de 30 países y 20 sectores industriales. En muchos de estos países se han establecido representantes del WBCSD lo cual les brinda un mayor acercamiento con las empresas (WBCSD, 2004; CESPEDES, 2005) Un resultado esencial de esta comisión es que la mayoría de las empresas se esfuerzan por mejorar su sustentabilidad mediante el aumento de eco-eficiencia. El progreso alcanzado, en muchos casos, es comunicado por informes ambientales anuales. Algunas veces estos informes son llamados "informes de eco-eficiencia ". También existe la posibilidad de presentar los avances logrados mediante gráficas que muestran los avances conseguidos durante un periodo de tiempo determinado, por ejemplo un año (WBCSD, 2005).

El cálculo de la eco-eficiencia se hace mediante un sistema de indicadores propuesto. Según WBSCD, los indicadores de eco-eficiencia ayudan a identificar las áreas de la empresa en las cuales se están provocando mayores desperdicios o pérdidas de recursos así como posibles oportunidades de inversión, por ejemplo la venta de los residuos generados, por lo que son considerados como una herramienta en la toma de decisiones y en la evaluación del funcionamiento de la empresa (CEBDS, 2003). Pero también pueden ser utilizados como una herramienta de comunicación importante para los inversionistas internos y externos (Lehni, 2006; Tremblay & Young, 2003). Para calcular la eco-eficiencia, el WBCSD utiliza la siguiente ecuación:

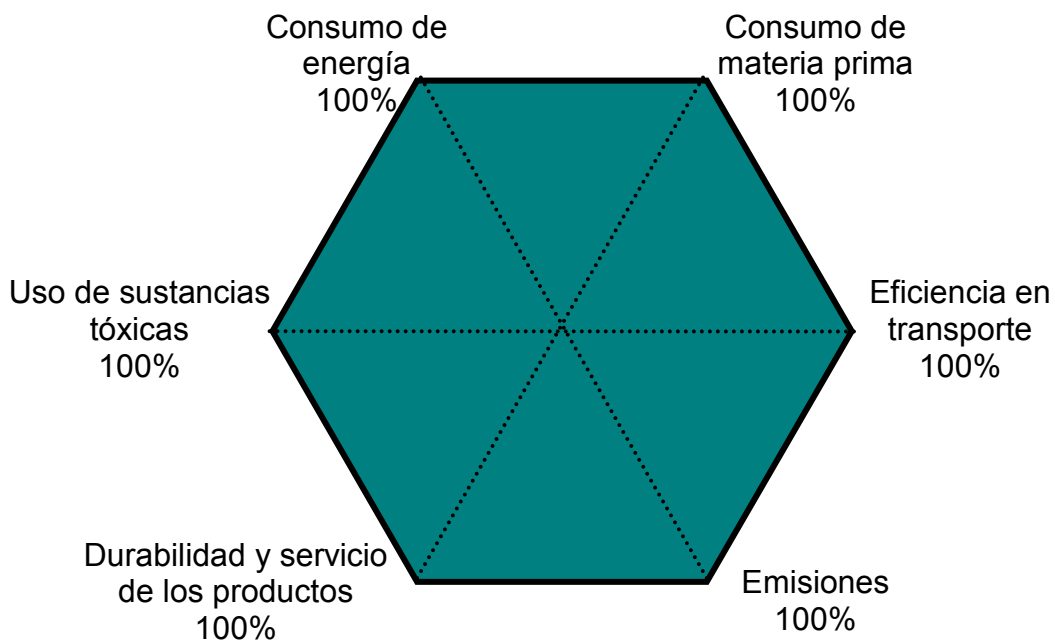
$$\text{Eco-eficiencia} = \frac{\text{Valor del producto o servicio}}{\text{Influencia ambiental}}$$

Hasta ahora, WBSCD ha identificado los siguientes indicadores que se encuentran a prueba mediante su uso experimental:

- a) Producto/ Valor del servicio
- b) Cantidad de productos/Servicios producidos o proporcionados a los clientes
- c) Ventas netas
- d) Producto/ Influencia ambiental de la creación del servicio
- e) Consumo de energía total
- f) Consumo de materiales
- g) Consumo de agua
- h) Emisión de gases de efecto invernadero
- i) Emisión de sustancias que deterioran la capa de ozono

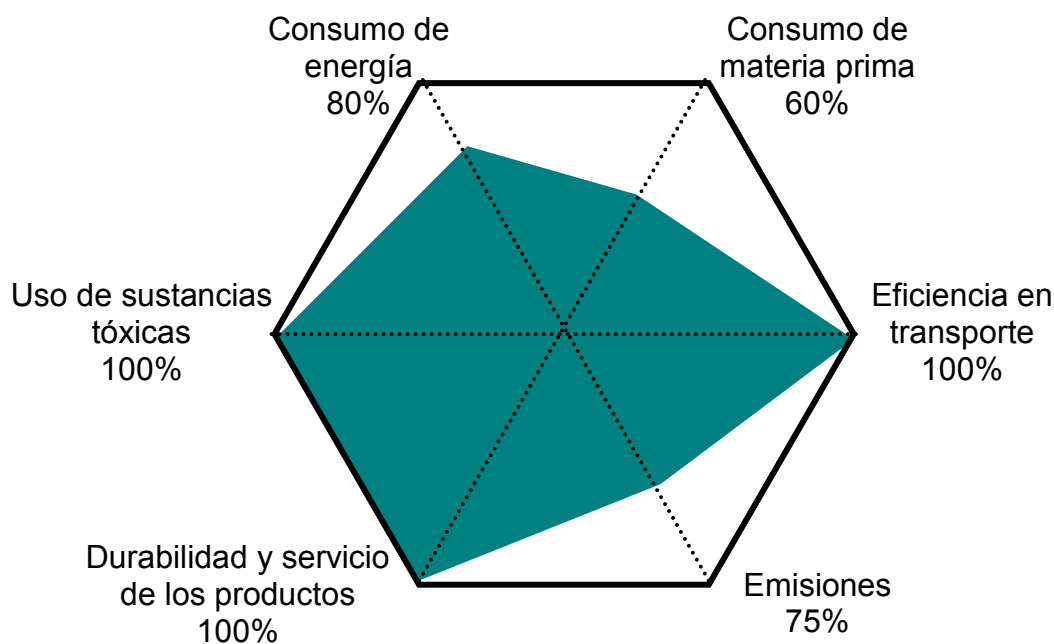
Aunque estos indicadores son válidos para virtualmente todos los negocios, no son necesariamente comparables entre diversos negocios (WBCSD, 1999, 2000 y 2004). Para realizar la selección de los indicadores específicos de cada empresa, WBCSD recomienda utilizar la evaluación de funcionamiento ambiental del ISO 14031 (Verfaillie & Bidwell, 2000).

Las siguientes figuras muestran la forma en que se pueden representar gráficamente las mejoras logradas por una compañía. Se marca en verde el área que representa el impacto ambiental provocado por la empresa. Se toma como referencia la situación actual (100% de impacto), antes de realizar modificaciones a los procesos productivos.



**Figura 2.5.** Daño ambiental antes de implementar mejoras.

Después de implementar los cambios se medirá el porcentaje de mejoras logrado. En este caso se observa una disminución del daño ambiental total provocado pero también hacen evidentes los sectores de la empresa que deben ser perfeccionadas.



**Figura 2.6.** Daño ambiental después de implementar mejoras

Esta representación gráfica resulta semejante a la propuesta por Colombia, pero en este caso solo se trata de una forma de reportar los avances conseguidos, reflejo de las mejoras en el proceso. Estas gráficas no son los eco-indicadores como lo propone el modelo colombiano.

Debe mencionarse que no se encontraron los informes de eco-eficiencia de ninguna de las compañías que integran la WBCSD, ni en la página de internet de esta organización ni en las páginas de las compañías que se revisaron. Sin embargo, los trabajos “*Eco-efficiency learning module*” (WBCSD, 2005) y “*Guia da produção mais limpa faça você mesmo*” (CEBDS, 2003) muestran con ejemplos ficticios la forma en que deben aplicarse varios de estos indicadores y la información que puede obtenerse de este tipo de análisis. Cabe mencionar que es importante analizar estos trabajos para futuras aplicaciones, ya que contiene una explicación muy detallada de la forma en que se puede implementar gradualmente este método en una compañía.

Se concluye que los datos proporcionados por WBCSD para el desarrollo de los indicadores resultan útiles para determinar el impacto ambiental provocado por las empresas y relacionarlo con el aspecto financiero de las mismas, ya que permiten detectar los sectores que deben o pueden ser mejorados. Sin embargo, se considera que son incompletos ya que no proporcionan factores de conversión que permitan determinar, por ejemplo, la contribución al calentamiento global provocado por el uso de energía.

### **2.3.3.2. UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD)**

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD por sus siglas en inglés) sirve como el punto central dentro de la secretaría de

Naciones Unidas para todas las materias relacionadas con la inversión extranjera directa y las corporaciones transnacionales. En 1998 el Grupo de Trabajo Intergubernamental de Expertos en Normas Internacionales pidió a UNCTAD que desarrollara una metodología para la contabilidad e informes ambientales de las empresas.

UNCTAD presentó un manual o guía para los usuarios y los preparadores de indicadores de eco-eficiencia. El objetivo principal es describir el método que las empresas pueden utilizar para proporcionar la información de su desempeño ambiental en relación con el funcionamiento financiero durante períodos de tiempo de manera sistemática y constante. Este manual complementa dos informes anteriores de la NU y deben ser vistos como una serie.

El propósito del manual es triple:

- a) Dar una guía de cómo definir, reconocer, medir y divulgar la información ambiental y financiera;
- b) Mejorar y armonizar los métodos usados de modo que las empresas puedan divulgar los indicadores de eco-eficiencia en un formato estandarizado, de tal manera que sean importantes en la toma de decisiones y puedan ser comparados entre diferentes empresas;
- c) Complementar y apoyar las guías ya existentes (es decir, the N.U Sustainability Reporting Guidelines desarrollado por Global Reporting Initiative, GRI);

Los eco-indicadores deben proporcionar la siguiente información:

- a) El funcionamiento ambiental de una empresa con respecto a su funcionamiento financiero (funcionamiento financiero/funcionamiento ambiental)
- b) Complementar los estados financieros para realzar la calidad de la toma de decisiones
- c) Pronosticar la capacidad de una empresa de adaptarse a los cambios del sector al cual pertenece

Este manual permite a las empresas divulgar su eco-eficiencia con respecto a los siguientes elementos ambientales:

- a) Uso del agua
- b) Uso de la energía
- c) Contribución al calentamiento global
- d) Sustancias que provocan el deterioro del ozono
- e) Basura

Se utiliza una metodología que permite calcular, reconocer, medir y divulgar los cinco eco-indicadores siguientes:

- a) Consumo de agua por unidad de valor agregado neto

<u>Consumo de agua</u> Valor neto agregado
---

- b) Contribución al calentamiento global por unidad de valor agregado neto

Contribución al calentamiento global  
Valor neto agregado

c) Requerimientos energéticos por unidad de valor agregado neto

Requerimientos energéticos  
Valor neto agregado

d) Dependencia de sustancias que deterioran el ozono por unidad de valor agregado neto

Dependencia de sustancias que deterioran el ozono  
Valor neto agregado

e) Basura generada por unidad de valor agregado neto

Basura generada  
Valor neto agregado

Estos indicadores representan un sistema básico sobre el cual una empresa puede o debe realizar sus divulgaciones. Además pueden ser utilizados por todas las empresas a través de todos los sectores, por lo que son indicadores genéricos más que específicos.

Los usuarios deben poder comparar las declaraciones de eco-eficiencia de una empresa en un cierto periodo de tiempo, de modo que puedan identificar tendencias en su posición con respecto a su eco-eficiencia y funcionamiento. Los usuarios también deben poder comparar las declaraciones de eco-eficiencia de diversas empresas (Sturm & Müller, 2004).

### **3. SISTEMA DE INDICADORES DE ECO-EFICIENCIA**

#### **3.1. SELECCIÓN DE UN MODELO DE INDICADORES**

Los distintos análisis presentados en el capítulo anterior brindan las bases necesarias para descartar varios modelos de indicadores y seleccionar el más adecuado a las condiciones actuales de las empresas mexicanas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la mayoría de estos modelos se encuentran en evolución y abiertos a modificaciones que permitan mejorarlos. Incluso, hay organizaciones que, teniendo en cuenta las limitaciones propias de cada método, los utilizan para aplicaciones específicas. Por lo anterior, lo propuesto en este capítulo es el resultado de la búsqueda de información al momento de realizar este estudio, y pudiera dejar de ser válido en estudios futuros.

Los primeros indicadores analizados fueron los desarrollados en modelos que se basaron en el análisis del ciclo de vida. Todos estos modelos, a excepción del Eco-indicator 99, presentaron problemas – principalmente de huecos en la información y poca generalidad en la aplicación – que los descartaban como métodos adecuados. Por lo tanto, ya no serán considerados como opciones viables durante este trabajo.

Los trabajos desarrollados en Japón, Australia y WBCSD muestran una nueva tendencia al intentar medir la eco-eficiencia mediante el cálculo y uso de los indicadores es la eco-eficiencia. Sin embargo, ninguno de estos modelos ofrece la información necesaria para poder usarlos de guía, por lo que en este monto no podrán ser aplicados en las PyMEs mexicanas. No obstante, deberán tenerse como opciones a evaluar en futuras investigaciones.

El modelo desarrollado en Colombia resulta muy diferente de las opciones anteriores. Colombia es el único país latinoamericano que presenta una propuesta – propia y diferente – para expresar el desempeño ambiental; sin embargo, lo presenta en forma gráfica y no resulta posible expresarlo en forma de un indicador numérico. Por lo tanto, la metodología presentada no resulta adecuada para el objetivo de este trabajo.

El modelo desarrollado en Canadá por NRTEE presenta la información necesaria y sigue la línea trazada por WBCSD para la definición y cálculo de los indicadores. Asimismo, las recomendaciones que propone como preliminares al cálculo de los indicadores son muy importantes y deberán tenerse en cuenta, ya que ayudan a determinar el objetivo de los indicadores y aclaran los resultados obtenidos, tanto para las personas que los calculan como para los que reciben los informes finales.

No obstante, presenta ciertas carencias como son el hecho de que no se incluyan indicadores para la emisión de sustancias que deterioran la capa de ozono y para sustancias que provocan el calentamiento global. Además, la lista de factores de conversión calculados para cada uno de los indicadores

que propone es muy corta en comparación con los factores calculados en el modelo propuesto por UNCTAD.

Por último, el hecho de que cada empresa pueda definir el tipo de denominador que desea, hace difícil una comparación incluso entre compañías del mismo sector, ya que diferentes denominadores pueden modificar el valor del indicador y conducir a conclusiones erróneas si no son analizados cuidadosamente. Con base a esto se decide que este modelo no será usado como guía en este trabajo, pero se conservarán las recomendaciones que marca como preliminares al cálculo de los indicadores, ya que pueden facilitar el cálculo, la comprensión y utilización de los indicadores.

Después de este análisis, las únicas opciones son el Eco-indicador 99 y el modelo desarrollado por UNCTAD. Ambos presentan la información necesaria para poder aplicarlos a empresas mexicanas y aún no se han encontrado problemas que los lleven a ser considerados como modelos inadecuados. Sin embargo, cada uno de ellos presenta características especiales que deben tenerse en cuenta.

Para empezar, el Eco-indicador 99 fue realizado, explícitamente, para su uso en productos – no en empresas – diseñados en Europa, ya que consideraba las particularidades tanto de los ecosistemas como de los medios de extracción y transporte de la materia prima, con excepción de los conceptos relacionados con daños ambientales a nivel mundial como es la emisión de gases de efecto invernadero. Otro punto que no debe perderse de vista y que ya fue mencionado en la sección anterior, es que este modelo no permite comparar el Eco-indicador de un producto A con el eco-indicador del producto B cuando han sido producidos por empresas diferentes, porque al calcularlos nunca se toma en cuenta los procesos que se siguieron para producirlos en cada una de las empresas. Por lo cual, una de las limitantes del modelo es su falta de comparación entre los productos de compañías del mismo sector.

En el caso del modelo desarrollado por UNCTAD, que sí fue diseñado para empresas, una de sus principales desventajas es que no toma en cuenta el ciclo de vida de los productos, lo cual puede dar una visión incompleta del daño ambiental provocado por los mismos. Otra observación es que se restringe a problemas ambientales a nivel mundial, con lo cual genera indicadores de eco-eficiencia genéricos y no hace ninguna mención de los específicos. Sin embargo, su gran aportación es el incluir el aspecto financiero de la compañía, lo cual lo hace muy atractivo para cualquier sector empresarial. Asimismo, la forma en que están diseñadas sus tablas para el cálculo de los indicadores las convierten en una base de datos valiosa, ya que permiten llevar un control no solo de la cantidad de materia prima utilizada y del tipo de emisiones producidas, sino también de las fuentes y características particulares de cada uno de estos elementos durante distintos periodos en la vida de la empresa, convirtiéndose en una fuente de datos que permitirá comparar y mejorar el desempeño ambiental de la empresa. A diferencia del modelo propuesto por NRTEE, los factores calculados para cada uno de los indicadores incluyen una gran cantidad de sustancias y materiales, lo cual no es garantía de cobertura total, pero minimiza las posibilidades de error en los cálculos.

De esta forma, ambas opciones pueden ser adaptadas para su uso en las empresas mexicanas. Sin embargo, al tomar en cuenta que una de las principales preocupaciones de las empresas mexicanas es su permanencia en el mercado, se concluye que la mejor opción es tomar como guía al modelo desarrollado por UNCTAD, ya que establece indicadores que ligan el funcionamiento ambiental y financiero de la empresa. Esto podría utilizarse para pronosticar el impacto de temas ambientales en el futuro funcionamiento financiero de las empresas, o bien como bases para la toma de mejores decisiones que incluyan el aspecto ambiental.

### **3.2. ANÁLISIS DE LOS INDICADORES SUGERIDOS POR UNCTAD**

Una vez establecido que el modelo a utilizar será el desarrollado por UNCTAD, resulta adecuado revisar el trabajo “Standardized Eco-Efficiency Indicators” realizado por Sturm Andreas y Müller Kaspar, ya que aclara muchos de los motivos y consideraciones que se tuvieron en cuenta durante su elaboración. Asimismo brinda la oportunidad de revisar brevemente la Agenda 21, el protocolo de Kyoto, el protocolo de Montreal y el convenio de Basilea, que son tomados como base para determinar los indicadores más importantes a nivel mundial.

Una de las ideas básicas es el interés que varias empresas tienen en poder ligar el funcionamiento ambiental con el funcionamiento financiero. Sin embargo, dadas las muchas variables que afectan el funcionamiento financiero, tal relación resulta difícil de calcular con precisión. Es en este punto donde la eco-eficiencia es considerada como una forma de establecer dicho acoplamiento.

Se considera que los eco-indicadores más útiles y significativos deberán

- a) ser divulgados periódicamente
- b) reflejar apropiadamente el cambio constante que una compañía experimenta
- c) ser comparables dentro de la empresa, a través de diversas empresas dentro del mismo sector o aún a través de empresas de diversos sectores

Aunado a lo anterior, existe la necesidad de alcanzar una definición exacta de los eco-indicadores, mediante la selección y definición del elemento ambiental y financiero que formarán al indicador.

Lo primero que se hizo fue seleccionar los componentes ambientales genéricos. Los indicadores ambientales genéricos deben estar relacionados con los problemas mundiales, con los procesos de producción de la empresa, los productos o los servicios y sus consecuencias para el medio ambiente, y tener un impacto positivo o negativo en los flujos de liquidez de la empresa.

Los indicadores ambientales genéricos son mejores si se desarrollan en procesos que incluyan a preparadores y a usuarios, y que sean guiados por un consenso político y técnico. El acercamiento elegido fue de dos etapas:



Paso 1: Identificar los problemas ambientales mundiales (nivel macro) que se pueden ligar a las actividades de una compañía (nivel micro). El resultado es una lista de problemas ambientales.

Paso 2: Entonces se propuso una metodología de cómo medir la contribución de una compañía a los problemas ambientales seleccionados. El resultado es

- una lista de los indicadores ambientales
- una lista de elementos ambientales necesarios para el cálculo
- tablas con factores para cada elemento ambiental que ayudan a convertirlo a la unidad de los indicadores ambientales (convertir una emisión de gas que provoque calentamiento global (kilogramo de la sustancia A) a una contribución al calentamiento global (contribución al calentamiento global en kilogramos) mediante el uso de un factor de conversión (Equivalente al Calentamiento Global Potencial del CO<sub>2</sub> / kg de sustancia A)

### **3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES MUNDIALES**

Para identificar los problemas ambientales mundiales, paso 1, y al mismo tiempo generar indicadores ambientales genéricos con aceptación política y técnica, lo mejor es basar los indicadores en acuerdos internacionales tanto como sea posible. La idea básica detrás de esta oferta es que todos los inversionistas (gobiernos, asociaciones de negocios, comunidad financiera, ONGs) influenciaron, directamente o indirectamente, en el desarrollo de los acuerdos internacionales. Esto también significa que los factores ambientales subyacentes se han aceptado como problemas significativos, que requieren una solución.

De esta forma, los indicadores genéricos se pueden diseñar para temas/problemas que han sido discutidos y para los cuáles hay un acuerdo o consenso internacional. Actualmente, los siguientes cuatro acuerdos buscan solucionar los problemas ambientales reconocidos a nivel mundial:

#### **1. Agenda 21**

Es un programa de acción para hacer viable la adopción del desarrollo sustentable y ambientalmente racional en todos los países; fue discutido, aprobado y firmado por más de 178 países durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED por sus siglas en inglés) que tuvo lugar en Río de Janeiro entre el 3 y el 14 de junio de 1992 (Sales, 2006).

Surge como resultado de un proceso de 20 años de iniciativas y acciones de ámbito local, regional e internacional para detener e invertir la constante degradación de los ecosistemas vitales para el mantenimiento de la vida.

Dentro de este proceso se pueden mencionar:

- La Declaración de Estocolmo (1972), aprobada durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano.
- La publicación del documento "La Estrategia Mundial para la Conservación" (Nueva York, 1980), elaborado bajo el patrocinio y supervisión del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y del Fondo Mundial para la Vida Salvaje.
- "Nuestro Futuro Común", documento publicado en 1982 y más conocido como "Informe Brundtland", elaborado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, creada por las Naciones Unidas y presidida por Gro Brundtland, la primer ministro de Noruega.
- La resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas (diciembre de 1989), solicitando la organización de una reunión mundial para elaborar estrategias, con el objetivo de detener y de invertir los procesos de degradación ambiental y promover el desarrollo sostenible y ambientalmente racional.

Se encuentra estructurado en cuatro secciones.

La primera sección trata de las "Dimensiones Económicas y Sociales". En ella se discuten, entre otros temas, las políticas internacionales que pueden ayudar a hacer viable el desarrollo sustentable en los países en desarrollo y las estrategias de combate a la pobreza y la miseria.

La segunda sección tiene por objetivo la conservación y el manejo de los recursos para el desarrollo. Se presentan los diferentes enfoques para la protección de la atmósfera, la importancia del tratamiento integrado del suelo, de la protección de los recursos acuíferos, entre otros temas.

La tercera sección analiza las medidas necesarias para la protección y promoción de algunos de los segmentos sociales más relevantes. Se discuten las medidas de protección y promoción de la juventud y los pueblos indígenas, las acciones que tienen como objetivo la mejora de los niveles de educación de la mujer, así como su participación, en condiciones de igualdad, en todas las actividades relativas al desarrollo y la gestión ambiental. Adicionalmente, se discuten las medidas de protección y promoción de la juventud y los pueblos indígenas, de las ONG, de los trabajadores y sindicatos, de la comunidad científica y tecnológica, de los agricultores y del comercio y la industria.

Finalmente, la cuarta sección realiza una revisión de los instrumentos necesarios para la ejecución de las acciones propuestas.

## 2. Protocolo de Kyoto

Es un compromiso internacional legal y obligatorio, realizado en 1997, que tiene por objetivo reducir en conjunto un 5,2% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero entre los años 2008 y 2012, en relación con las emisiones del año 1990 (Greenpeace, 2006 y WM, 2006) .

Se estipuló que entraría en vigor en el 2005, siempre y cuando se obtuviera la firma de al menos 55 naciones y que entre todos sumaran el 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual ocurrió en septiembre del año 2004 con la aceptación de Rusia. De esta forma el Protocolo de Kyoto se convirtió en Ley internacional, poniéndose en marcha todos los mecanismos existentes en él. En la actualidad 129 países lo han ratificado, alcanzando el 61,6 % de las emisiones a nivel mundial.

Este es el único mecanismo internacional para empezar a hacer frente al cambio climático y minimizar sus impactos. Para ello contiene objetivos legalmente obligatorios, con el objetivo de que los países industrializados reduzcan las emisiones de 6 gases que provocan el efecto invernadero (ver Sturm & Müller, 2001):

- a) Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- b) Metano (CH<sub>4</sub>)
- c) Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- d) Hidrofluorocarbonos (HFC)
- e) Perfluorocarbonos (PFC)
- f) Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

Sin embargo, las reducciones dependen de cada caso: por ejemplo, la UE debe reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 8%, con excepción de Portugal, Grecia, España, Irlanda y Suecia, autorizadas a incrementar sus emisiones por su retraso industrial en aquel año. Las naciones en desarrollo, como China, India y Brasil, no están obligadas a recortar sus emisiones al menos en la primera fase.

Además, se incluyeron mecanismos para el *Comercio de emisiones* (posibilidad de comprar excedentes de CO<sub>2</sub> a otros países que hayan reducido sus emisiones), un *Mecanismo para un desarrollo limpio* (proyectos en países en desarrollo por parte de países industrializados), *La implementación conjunta* (puesta en práctica conjunta entre países industrializados) y los sumideros (dependencia de los bosques y la vegetación para absorber CO<sub>2</sub>).

### 3. Protocolo de Montreal

El Protocolo de Montreal, elaborado en 1987 bajo el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, entró en vigor el 1° de Enero de 1989, cuando 29 naciones más la Unión Europea, productores de 89 por ciento de las sustancias nocivas para la capa de ozono, lo habían ratificado (TMAD, 2006).

En el Protocolo se definieron las medidas que debían adoptar las naciones firmantes para limitar la producción y el uso de sustancias controladas, inicialmente cinco CFC (clorofluorocarbonos) y tres halones, cuya presencia en la atmósfera es considerada la principal causa del adelgazamiento en la capa de ozono.

Nuevos datos científicos demostraron pronto que el Protocolo original no protegería de modo suficiente la capa de ozono. Como resultado de una revisión hecha en Londres en junio de 1990, se adoptaron medidas de control suplementarias, y se previó una asistencia técnica y financiera para los países en desarrollo que lo habían firmado. Las enmiendas de Londres establecieron controles sobre otros 10 CFC, el tetracloruro de carbono y el metilcloroformo, y fijaron plazos para la eliminación de las sustancias controladas. Desde entonces las partes han aprobado varias medidas adicionales para controlar las sustancias que adelgazan la capa de ozono, entre ellas el bromuro de metilo, que se añadió en la enmienda de Copenhague de 1992. En 1995 se decidió eliminar el bromuro de metilo en 2010 en los países desarrollados, y congelar el consumo y la producción en el 2002 en los países en desarrollo.

En la reunión que se celebró en 1997 en Montreal (Canadá), se fijaron nuevos requisitos para la reducción y eliminación del uso de bromuro de metilo, dándose más tiempo a los países en desarrollo. El consumo de esta sustancia por los países desarrollados se congeló en 1995 a nivel básico de 1991 (con excepciones para los usos de preembarque y cuarentena). El consumo se debe reducir en 25% más en 1999, en 50% en 2001 y en 70 % en 2003, con una eliminación total en 2005. Para los países en desarrollo, el consumo se deberá congelar en 2002 a los niveles medios de 1995 - 1998, reducir en 20 por ciento en 2005 y eliminar en 2015. Puede que en el futuro se adopten nuevas medidas de control.

#### 4. Convenio de Basilea

El Convenio de Basilea es un tratado ambiental internacional adoptado por la Conferencia diplomática en Basilea (Suiza) en 1989, elaborado bajo los auspicios del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y entró en vigor el 5 de mayo de 1992. Tiene por objeto reducir el volumen de los intercambios transfronterizos de residuos peligrosos, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente. Estipula obligaciones a las partes contratantes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente su disposición y eliminación (INE, 2006 y CRCB, 2006).

El convenio reconoce que la forma más efectiva de proteger la salud humana y el ambiente de daños producidos por los desechos se basa en la máxima reducción de su generación en cantidad o en peligrosidad. Los principales objetivos del Convenio de Basilea son:

- a) Reducir los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y de otros desechos sometidos al Convenio de Basilea a un mínimo compatible con su manejo ambientalmente racional.
- b) Tratar y eliminar los desechos peligrosos y otros desechos lo más cerca posible de su fuente de generación de una manera ambientalmente racional.
- c) Reducir la producción de desechos peligrosos al mínimo desde el punto de vista de la cantidad y peligros potenciales.

- d) Prohibir los transportes de desechos peligrosos hacia países carentes de capacidades jurídicas, administrativas y técnicas para manejarlos y eliminarlos de manera ambientalmente racional.
- e) Ayudar a los países en desarrollo y de economías en transición a manejar de manera ambientalmente racional los desechos que producen.

Para lograrlos, la convención pretende a través de su secretaría controlar los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos, monitorear y prevenir el tráfico ilícito, proveer asistencia en el manejo ambientalmente adecuado de los desechos, promover la cooperación entre las partes y desarrollar guías técnicas para el manejo de los desechos peligrosos.

### **3.2.2. INDICADORES PROPUESTOS POR UNCTAD**

En base a estos acuerdos internacionales, el método desarrollado por UNCTAD propone que los elementos ambientales de los indicadores genéricos deben ser:

- a) Uso de agua
- b) Uso de energía
- c) Contribución al calentamiento global
- d) Dependencia de sustancias que deterioran el ozono
- e) Basura generada.

También consideran que al calcular los eco-indicadores de una compañía, los límites del análisis de la eco-eficiencia deben ser los procesos propios de la empresa y por lo tanto no deben tomarse en cuenta los recursos usados, la basura generada ni las emisiones causadas por los proveedores o los clientes. Para estar acorde con el elemento ambiental, el elemento financiero debe reflejar la misma parte del ciclo de vida o de la cadena de valor. Por lo que no deben incluirse el valor de las mercancías y servicios producidos por los proveedores ni el valor agregado a los productos y servicios por los clientes. Una figura financiera que marca los límites del sistema en una empresa es el valor agregado: las “ventas” menos “costos de mercancías y servicios requeridos”. El valor agregado cubre únicamente la parte del ciclo de vida en donde la empresa transforma la materia prima en productos y servicios mientras que usa recursos ambientales, produce emisiones y basura. El valor agregado refleja los límites del sistema que fueron utilizados para calcular el elemento ambiental y lo proponen como el elemento financiero que formará parte de los indicadores (Sturm & Müller, 2001).

De esta forma se determina calcular, reconocer, medir y divulgar los cinco eco-indicadores siguientes:

- a) Consumo de agua por unidad de valor agregado neto
- b) Contribución al calentamiento global por unidad de valor agregado neto
- c) Requerimientos energéticos por unidad de valor agregado neto
- d) Dependencia de sustancias que deterioran la capa de ozono por unidad de valor agregado neto
- e) Basura generada por unidad de valor agregado neto

### 3.3. METODOLOGÍA PARA EL USO DE LOS INDICADORES SELECCIONADOS

En esta sección se describirá la manera en que debe aplicarse el método desarrollado por UNCTAD para que las empresas puedan proporcionar la información de su funcionamiento ambiental, en relación con su funcionamiento financiero de manera sistemática y constante.

Para lograr un informe completo, que permita comparar la eco-eficiencia de una empresa en distintos periodos de tiempo, se realiza un desglose de cada uno de los cinco elementos ambientales mencionados en la sección anterior, de tal manera que no sólo se considera la cantidad total usada o generada de cada uno de ellos, sino que también se analizan las cantidades parciales, que son determinadas por su fuente, categoría o el tratamiento que reciben antes de salir de la empresa. Para mayores detalles de las divisiones que se consideran para cada elemento ambiental vean Sturm & Müller, 2004.

Finalmente se reconocen, calculan, miden y divulgan los cinco eco-indicadores siguientes:

- a) Consumo de agua por unidad de valor agregado neto
- b) Contribución al calentamiento global por unidad de valor agregado neto
- c) Requerimientos energéticos por unidad de valor agregado neto
- d) Dependencia de sustancias que deterioran el ozono por unidad de valor agregado neto
- e) Basura generada por unidad de valor agregado neto

Para propósitos de este trabajo, el cálculo del valor agregado neto se realizará con cualquiera de las siguientes dos ecuaciones:

$$\text{Valor agregado neto} = \text{Ingresos} - \text{Costo de bienes y servicios comprados} - \text{Depreciación en activos tangibles}$$
$$\text{Valor agregado neto} = \text{Salarios} + \text{Amortización en activos no tangibles} + \text{Intereses pagados} + \text{Impuestos} + \text{Dividendos} + \text{Ganancias}$$

Ambas ecuaciones conducen al mismo resultado.

Finalmente, los resultados obtenidos son presentados o divulgados en tablas que resumen la información obtenida.

Los siguientes ejemplos son tomados del manual desarrollado por UNCTAD y muestran la forma en que debe realizarse la divulgación de la eco-eficiencia. Los datos utilizados son hipotéticos y no hacen referencia a ningún tipo de empresa en particular.

### 3.3.1. CONSUMO DE AGUA Y FLUJO DEVUELTO

El uso del agua debe ser medido en litros o metros cúbicos, y en estas mismas unidades se realizará la divulgación.

Una empresa debe divulgar:

- a) Las políticas adoptadas en uso del agua
- b) La cantidad total de agua recibida, la cantidad por fuente y categoría de uso según lo utilizado durante el período presente, así como las respectivas cantidades del mismo periodo del año anterior
- c) Consumo total de agua, el flujo devuelto total y la cantidad por categoría según lo utilizado durante el periodo presente, además de las cantidades respectivas del mismo periodo del año anterior
- d) Información cualitativa sobre la tecnología del tratamiento de aguas residuales aplicada en sitio y en el sistema público de aguas residuales
- e) La postura de la gerencia en política del uso del agua, objetivos con respecto al uso del agua y las medidas tomadas para alcanzar tales objetivos

**Tabla 3.1.** Consumo de agua (ejemplo ficticio)

Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	2000	2001
Expulsión de aguas residuales a los sistemas públicos de recolección.		
- con tratamiento en sitio *	1000	1100
- sin tratamiento	1000	1000
Expulsión de aguas residuales al agua superficial, subterránea o al suelo		
- con tratamiento en sitio ^	1000	1000
- sin el tratamiento	1000	1100
Pérdidas por transporte	100	200
Consumo por seres humanos y ganado	20	50
Evaporación	500	600
Agua de enfriamiento	280	300
Cambio en el agua almacenada	0	0
Consumo total de agua °	4 900	5350
Valor neto agregado (€)	10 000	11000
Indicador de Eco-eficiencia "Consumo de agua/Valor neto agregado" (m <sup>3</sup> /€)	0.490	0.486
Flujo de agua devuelto (m <sup>3</sup> )		
Agua de enfriamiento	100	150
Flujo devuelto total °	100	150
<i>Notas: * Tecnología promedio de tratamiento aplicada.</i>		
<i>^La mejor tecnología disponible aplicada.</i>		
<i>° Consumo total de agua + flujo devuelto = agua recibida</i>		

**Tabla 3.2.** Agua recibida y su uso (ejemplo ficticio)

<b>Agua recibida (m<sup>3</sup>)</b>	2000	2001
Agua sustraída de una fuente subterránea	4 000	4 100
Agua desviada de una fuente superficial	500	600
Agua entregada	500	800
Ganancias por transporte	---	---
<b>Total de agua recibida</b>	<b>5 000</b>	<b>5 500</b>
Uso		
Domestico	100	150
Comercial	900	950
Industrial	4 000	4 400

### 3.3.2. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

La energía comprada o vendida se debe medir en una unidad adecuada (kWh, MJ, m<sup>3</sup>, kilogramo etc.). Toda la energía comprada, vendida o almacenada será convertida primero en equivalentes de calor (esto será innecesario cuando la compañía compre la energía bajo la forma de trabajo) y después en equivalentes de trabajo.

Una empresa debe divulgar:

- a) Las políticas adoptadas para el uso de la energía
- b) Las cantidades de cada fuente de energía utilizada durante cada período y las cantidades respectivas al periodo del año anterior
- c) Los requerimientos de energía total utilizada durante el período y las cantidades respectivas al periodo del año anterior expresada en su equivalente a trabajo
- d) La postura de la gerencia en uso de energía, los objetivos en relación a su uso y a las medidas tomadas para alcanzar tales objetivos

La necesidad energética total se define como lo comprado en equivalentes de trabajo, menos lo vendido en equivalentes de trabajo, más/menos una disminución/aumento en la energía almacenada expresada en equivalentes de trabajo.

Para los siguientes cálculos debe tenerse presente el siguiente factor de conversión:

$$\text{MWh} = 0.35 \times \text{GJ} \times 0.2778$$



**Tabla 3.3.** Requerimientos de energía (ejemplo ficticio)

Necesidad energética	Calor (GJ calor)		Electricidad (MWh trabajo)		Total (MWh trabajo)	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
<b>Energía comprada</b>						
Electricidad			10 000	10 500	10 000	10 500
Gas natural	17 100	18 810			1 663	6 829
Carbón bituminoso (Argentina)	247 020	222 318			24 018	21 616
Carbón bituminoso (Brasil)	0	79 130			0	7 694
<b>Energía total comprada</b>	<b>264 120</b>	<b>320 258</b>	<b>10 000</b>	<b>10 500</b>	<b>35 680</b>	<b>41 639</b>
<b>Energía vendida</b>						
Vapor	50 000	60 000			4 862	5 834
<b>Energía total vendida</b>	<b>50 000</b>	<b>60 000</b>			<b>4 862</b>	<b>5 834</b>
<b>Reserva</b>						
Carbón bituminoso (Argentina)	-12 351	-24 702			-1 201	2 402
Carbón bituminoso (Brasil)	0	-79 130			0	-7 694
Reserva	-12 351	-54 428			-1 201	-5 292
<b>Requerimiento total de energía</b>	<b>201 769</b>	<b>205 830</b>	<b>10 000</b>	<b>10 500</b>	<b>29 618</b>	<b>30 513</b>
<b>Valor agregado neto (€)</b>					<b>10 000</b>	<b>11 000</b>
<b>Indicador de Eco-eficiencia "requerimiento de energía/valor neto agregado" (MWh/€)</b>					<b>2.962</b>	<b>2.774</b>

**Tabla 3.4.** Flujos y reservas de energía (ejemplo ficticio)

Flujos de energía y reservas	Cantidad		Conversión
	2001	2001	
<b>Energía comprada</b>			
Electricidad	10 000	10 500 kWh	
Gas natural	500 000	550 000 m <sup>3</sup>	34.2 MJ/m <sup>3</sup>
Carbón bituminoso (Argentina)	10 000	9 000 ton	24 702 MJ/ton
Carbón bituminoso (Brasil)	0	5 000 ton	15 826 MJ/ton
<b>Energía vendida</b>			
Vapor	50 000	60 000 MJ	
<b>Reservas</b>			
	31.12.00	31.12.00	31.12.00
Carbón bituminoso (Argentina)	1 500	2 000	1 000 ton 24 702 MJ/ton
Carbón bituminoso (Brasil)	0	0	5 000 ton 15 826 MJ/ton

### 3.3.3. CONTRIBUCIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL

El reporte de contribución calentamiento global consta de dos porciones:

- La contribución al calentamiento global causada por emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el uso de energía y otros gases que contribuyan al calentamiento global producidos por procesos industriales
- Política de contabilidad referente a los gases que provocan el calentamiento global, política con respecto al calentamiento global objetivos y medidas

La medida de contribución al calentamiento global es principalmente una cuestión de cálculos, en los cuales se obtienen las toneladas de CO<sub>2</sub> producido. Consta de los pasos siguientes:

- a) La necesidad energética total según lo determinado en la tabla de requerimientos de energía
- b) La cantidad de energía expresada en su equivalente de calor, es convertida a las emisiones de CO<sub>2</sub> con base a los factores de conversión ya calculados (para periodos de cien años)
- c) La cantidad de electricidad expresada en equivalentes de trabajo, es convertida a las emisiones del CO<sub>2</sub> con base a los factores de conversión ya calculados
- d) Se incluyen los gases que contribuyen al calentamiento global referentes a otros procesos industriales, y se multiplican por su potencial de calentamiento global respectivo

**Tabla 3.5. Contribución al calentamiento global (ejemplo ficticio)**

Emisiones de CO <sub>2</sub> relacionadas con el uso de energía	Requerimientos de energía		Contribución al calentamiento global (100 años)	
	2001	2002	2001	2002
Electricidad (Alemania)	10 000 000	11 000 000 MWh	4 980 000	5 478 000 (t CO <sub>2</sub> )
Electricidad (Suiza)	20 000 000	25 000 000 MWh	40 000	50 000 (t CO <sub>2</sub> )
Gas natural (seco)	1 700	2 000 GJ	95 370 000	112 200 000 (t CO <sub>2</sub> )
Carbón	2 000	2 200 GJ	189 200 000	208 120 000 (t CO <sub>2</sub> )
Gasolina para motor	500	600 GJ	34 650 000	41 580 000 (t CO <sub>2</sub> )
Energía que contribuye al calentamiento global			324 240 000	367 428 000 (t CO <sub>2</sub> )
Otros procesos industriales			Calentamiento Global Potencial	
Otros gases de calentamiento global	2001	2002	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg	
Hexafluoruro de azufre (t)	3000	2800	67 800 000	63 280 000 (t CO <sub>2</sub> )
Otros gases de calentamiento global			67 800 000	63 280 000 (t CO <sub>2</sub> )
Contribución total al calentamiento global			392 040 000	430 708 000 (t CO <sub>2</sub> )
Valor agregado neto			10 000 000	11 000 000 (€)
Indicador de Eco-eficiencia "contribución al calentamiento global/valor agregado neto"			39.204	39.155 (t CO <sub>2</sub> /€)

### 3.3.4. BASURA GENERADA

La basura debe ser pesada o medida. Debe medirse en kilogramos, litros o metros cúbicos y será divulgada según el peso (kg, ton), y no según el volumen (litros, m<sup>3</sup>). Aunque en el manual de este método no se especifica el motivo de esta restricción, se puede suponer que intenta evitar variaciones provocadas por la utilización de métodos que permitan comprimir los residuos.

Una empresa debe divulgar:

- a) La política adoptada con respecto a la basura
- b) Cantidad total de basura generada durante el periodo presente, así como la cantidad relativa al mismo periodo del año anterior
- c) La calidad de la basura generada
- d) Tecnología de tratamiento usada
- e) La política de la gerencia con respecto al manejo de la basura, sus objetivos y las medidas tomadas para alcanzarlos

**Tabla 3.6.** Basura generada (ejemplo ficticio)

Basura generada	Calidad y clasificación						Total	
	Mineral		No-mineral					
	No peligrosa			Peligrosa			2000	2001
Tecnología de tratamiento	2000	2001	2000	2001	2000	2001	2000	2001
Reuso, remanufactura, reciclado de ciclo abierto	83.8	23.8	105.7	74.0	38.0	2.1	189.5	97.8
• Reuso	58.6	10.8	15.2	21.5	1.1	0.0	73.8	32.4
• Remanufactura	8.3	5.4	8.4	8.1	0.6	1.1	16.7	13.6
• Reciclado	16.8	7.5	82.2	44.4	36.3	1.0	99	51.9
Incineración	87.4	52.4	45.4	74.5	12.2	26.7	132.8	126.9
• Baja-temperatura	9.2	12.2	7.3	14.3	5.7	10.3	16.5	26.4
• Alta-temperatura	75.3	9.9	19.0	18.6	5.2	9.6	94.3	28.5
• Hornos de cemento	3.0	30.3	3.19	41.6	1.3	6.9	22.1	71.9
Rellenos sanitarios	78.2	104.5	130.4	21.2	55.6	34.7	208.6	125.7
• Rellenos para materiales bio-activos	35.8	10.3	22.5	10.4	12.8	33.3	58.3	20.7
• Rellenos para materiales estables	39.3	21.9	51.1	3.0	3.8	0.9	90.4	24.8
• Rellenos para materiales inertes	3.1	72.3	56.9	7.9	39.0	0.5	60.0	80.2
Tiraderos abiertos	67.0	0.2	12.3	5.4	0.4	5.2	79.3	5.6
Temporalmente almacenado en sitio	14.6	42.0	46.8	55.2	1.4	0.3	61.3	97.3
<b>Total</b>	<b>331.0</b>	<b>222.9</b>	<b>340.6</b>	<b>230.4</b>	<b>107.5</b>	<b>68.9</b>	<b>671.6</b>	<b>453.3</b>
Reuso, remanufactura, reciclado de ciclo cerrado	-10.0	-12.0	-5.2	-3.0	-0.1	-0.2	-15.2	-15.0
• Reuso	-10.0	-12.0	-2.1	-2.0	-0.1	-0.2	-12.1	-14.0
• Remanufactura			-1.5	-1.0		0.0	-1.5	-1.0
• Reciclado			-1.6	0.0		0.0	-1.6	
<b>Total de basura generada</b>	<b>321.0</b>	<b>210.9</b>	<b>335.4</b>	<b>227.4</b>	<b>107.4</b>	<b>68.7</b>	<b>656.4</b>	<b>438.3</b>
Valor neto agregado (€)							1 000	1 100
Indicador de Eco-eficiencia "basura generada/valor neto agregado" (m <sup>3</sup> /€)							0.656	0.438

### 3.3.5. SUSTANCIAS QUE DETERIORAN LA CAPA DE OZONO

Las sustancias que deterioran el ozono (SDO) deben ser pesadas o medidas en kilogramos, toneladas, litros o metros cúbicos y su divulgación se hará:

- Según el peso (kg, ton) de la sustancia respectiva; y
- Según el potencial respectivo de deterioro del ozono (kg o ton de CFC-11 equivalente).

Un reporte de SDO consta en tres porciones:

- Dependencia de SDO en los procesos productivos; cubriendo la producción, compra y almacenado
- Emisiones totales de SDO; cubriendo la recuperación, reciclado, destrucción, almacenado y ventas

c) Política de contabilidad sobre SDO; política sobre SDO, objetivos y medidas para alcanzarla

### 3.3.6. DEPENDENCIA DE SUSTANCIAS QUE DETERIORAN LA CAPA DE OZONO

**Tabla 3.7.** Dependencia de SDO (ejemplo ficticio)

Propósito y forma	Sustancia	ODP	Total (ton sustancia)		Nuevo SDO (ton sustancia)		Total ODC (ton CFC-11)	
			2000	2001	2000	2001	2000	2001
Producción SDO producido	HCFC-21	0.04	1000	500	10	50	40.00	20.00
Producción de SDO			1000	500	10	50	40.00	20.00
Comprado SDO comprado en								
- suministro de bienes								
- suministro de equipo	CFC-112	1.00	100				4.00	0
- comercio de bienes								
Compra de SDO								
- Para manufactura de bienes								
- Para procesos de producción								
- Para equipo	halón-301	10.00	2	1			0.08	0.04
- Para comercio								
Compra de SDO			102	1	0	0	4.08	0.04
Reservas SDO en bienes								
SDO como sustancia en contenedores			1	1				
SDO en equipo	halón-301	10.00	1200	1300			48.00	52.00
SDO en uso en procesos	HCFC-124	0.04	10	20			0.4	0.8
Reservas de SDO			1211	1321			48.44	52.84
Dependencia total de SDO							92.52	72.88
Valor Neto Agregado (€)							10 000	11 000
Indicador de Eco-eficiencia "dependencia de SDO/valor agregado" (t/€)							0.925	0.663

### 3.3.7. TOTAL DE EMISIONES DE SUSTANCIAS QUE DETERIORAN LA CAPA DE OZONO

**Tabla 3.7.** Emisiones de SDO (ejemplo ficticio)

Propósito y forma	Sustancia	ODP	Total (ton sustancia)		Total ODC (ton CFC-11)	
			2000	2001	2000	2001
Dependencia total de SDO (Tabla anterior)					92.52	72.88
SDO recuperado, ganado, reciclado						
Recuperado						
Ganado						
Reciclado	HCFC-124	0.04	1.012	2.12	0.04048	0.0848
SDO recuperado, ganado, reciclado					0.04048	0.0848
Destrucción de DOS y en uso						
Uso de SDO						
SDO destruido	halón-1301	10	0.8	2.5	8	18
Destrucción de SDO y en uso					8	18
Ventas SDO en manufactura de bienes						
SDO como sustancia en contenedores						
SDO en equipo vendido	halón-1301	10	1.5	0	15.00	0
Ventas					15.00	0
Reservas de SDO (de tabla anterior)					48.44	52.84
Total de emisiones de SDO					21.04	1.96
Valor Neto Agregado (€)					10 000	11 000
Indicador de Eco-eficiencia secundario "emisiones de SDO/valor agregado" (t/€)					2.104	1.781

## **4. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ECO-INDICADORES A UNA PYME MEXICANA**

Resulta claro que lo mencionado en los capítulos anteriores es válido para cualquier empresa. Sin embargo, se realizará un análisis enfocado de manera directa a las PyMES mexicanas para facilitar la aceptación o incorporación de los eco-indicadores en este sector, además de que permitirá la consideración de algunas condiciones especiales, como pueden ser los escasos recursos con que cuentan o la falta de información relacionada con su estado financiero, el uso de materia prima y la emisión de sustancias. No obstante, será útil mantener presente la amplia gama de sectores en que pueden utilizarse los resultados obtenidos.

### **4.1. ANÁLISIS DE LAS PYMES MEXICANAS**

Se estima que el sector industrial en México está compuesto por aproximadamente 300,000 empresas, de las cuales menos del 1% es industria grande, el 1.5% es industria mediana y el resto son pequeñas y micro empresas.

De acuerdo a la Secretaria de Economía, las empresas se clasifican con base al número de empleados y al sector económico en el cuál se desempeña.

Microempresa:

- De 0 a 30 empleados en el sector Industrial
- De 0 a 5 empleados en el sector Comercio
- De 0 a 20 empleados en el sector Servicios

Pequeña Empresa:

- De 31 a 100 empleados en el sector Industrial
- De 6 a 20 empleados en el sector Comercio
- De 21 a 50 empleados en el sector Servicios

Mediana Empresa:

- De 101 a 500 empleados en el sector Industrial
- De 21 a 100 empleados en el sector Comercio
- De 51 a 100 empleados en el sector Servicios

Las PYMES constituyen un sector estratégico para el desarrollo económico y social del país, ya que:

- Contribuyen con el 40% de la Inversión y el PIB a nivel nacional
- Generan el 64% de los empleos

Las pequeñas y medianas empresas participan en todos los sectores de la economía, y son ellas quienes constituyen un importante aporte en las cadenas de valor agregado con desarrollo en distintas regiones del país.

Sus patrones de funcionamiento, que en muchas ocasiones responden a esquemas artesanales de operación familiar, les impiden tener un nivel aceptable de conocimiento de la regulación ambiental. Se puede decir que

entre ellas prevalece un incipiente, o inclusive nulo, grado de cultura industrial y ambiental.

Las pequeñas y medianas empresas han asumido buena parte de los costos inherentes a la apertura y a la globalización económica. Sin haber participado lo suficiente en el aprovechamiento de las nuevas oportunidades, han sido sometidas a una súbita presión competitiva, y a la desarticulación de muchas de las antiguas cadenas y nichos productivos donde habían prosperado tradicionalmente. Su vulnerabilidad se ha manifestado también en grandes dificultades para mejorar su desempeño ambiental y su productividad, lo que ha aumentado el rezago entre ellas y las grandes empresas industriales.

A ello deben añadirse las elevadas tasas de interés e incluso la cancelación virtual del crédito bancario, que al crear un considerable agobio financiero, les ha impedido invertir en la modernización de procesos. La abrumadora mayoría de las PYME ha quedado igualmente fuera de los programas de la banca de desarrollo (Torreblanca E., 2005). La escasa oferta de tecnología, conjugado con posibilidades muy restringidas de capacitación empresarial y técnica, obstruye la acumulación del capital humano que exige el desenvolvimiento dinámico y sano de las PYME.

Por otro lado, la normatividad y los instrumentos de regulación ambiental que prevalecen hasta ahora han sido diseñados – por lo general – con referencia a circunstancias que sólo son relevantes a instalaciones industriales grandes (CESPEDES, 2005). No hay instrumentos adaptados a la realidad de las PYME que reconozcan sus limitaciones y potencialidades, y que ofrezcan un tratamiento regulatorio eficiente compatible con sus imperativos de desarrollo competitivo.

Finalmente, por la búsqueda permanente de su supervivencia y debido de igual manera a los factores citados anteriormente, las pequeñas y medianas empresas responden tan solo a habilidades de permanencia en el mercado a costa de su compromiso ambiental; en consecuencia no responden ni desarrollan niveles de integración medio ambiente/industria, necesarias para llegar a desarrollar productos de bajo impacto ambiental medidos a partir del concepto de sustentabilidad.

En distintos análisis realizados en torno al funcionamiento y desempeño de las PyMES (CESPEDES, 2005; CANACINTRA-GTZ, 2002; Ruvalcaba, 2005) se ha hecho notar la importancia que tiene el lograr mejoras en la reducción de cargas contaminantes dañinas en las siguientes áreas:

- Aire
- Agua
- Ruido
- Sustancias nocivas
- Residuos
- Suelos
- Conservación de recursos naturales

La búsqueda de mejoras en estos puntos se ha planteado como medida de solución y remedio a las problemáticas que enfrentan las PyMES ante el desafío de sostenerse económicamente, adoptando al mismo tiempo una actitud de responsabilidad social y conservación del medio ambiente, que les permita lograr:

- Mejor eficiencia en sus procesos productivos
- Reducir sus costos de producción
- Mejorar su desempeño ambiental
- Minimizar la generación de residuos
- Minimizar los riesgos de salud de los trabajadores y de la comunidad en general

Tomando como base éstos datos, aunado al análisis realizado a la metodología propuesta por UNCTAD, se considera que los eco-indicadores propuestos en el capítulo tres resultarán muy adecuados para este sector empresarial.

Debe apuntarse que la única empresa mexicana reportada, que utiliza los indicadores de eco-eficiencia es Grupo Vitro (Verfaillie & Bidwell, 2000), que aunado a la utilización de los recursos del EXIMBANK, ha obtenido resultados ambientales realmente importantes (CESPEDES, 2005). También debe aclararse que Grupo Vitro forma parte del WBCSD y además participa en un proyecto piloto, dentro de esta organización, que intenta determinar que tan viables y adecuados resultan los indicadores de eco-eficiencia propuestos por WBCSD (Verfaillie & Bidwell, 2000).

#### **4.2. DESCRIPCIÓN DE LAS EMPRESAS SELECCIONADAS**

La fabricación de ladrillos en México es una actividad frecuente y característica en casi todos los estados. De manera constante las ciudades necesitan de ladrillos y otros materiales de construcción, lo que propicia el establecimiento de micro-empresas en este giro, que operan mediante un proceso que, aunque antiguo, prácticamente permanece sin cambios hasta la fecha, conservándose como una actividad casi artesanal y familiar.

Para llevar a cabo esta actividad se utilizan combustibles altamente contaminantes como llantas, residuos industriales y casi cualquier material orgánico de desecho. Las consecuencias ambientales son: contaminación de la atmósfera, de cuerpos de agua y del suelo.

En la República Mexicana existen aproximadamente 13,606 ladrilleras (CENICA, 2001). Tan solo en el municipio de ciudad Juárez, Chihuahua se contabilizaron 290 hornos, en el año 2002, que se convierten en un gran problema al considerar el daño ambiental que provoca cada uno de ellos (Romo, Córdoba & Cervera, 2004).

Aunado a estos aspectos ambientales, se consideró que el proceso de producción de ladrillos es muy sencillo, lo cual facilitaría la aplicación del método propuesto y la cantidad de hornos en el país aumentaría el número de empresas que podrían ser analizadas. Sin embargo, la mayoría de las empresas contactadas se rehusó a participar en el proyecto



En la siguiente figura se muestra un horno ladrillero de Durango, en la cual se puede apreciar los niveles de contaminación que ocasiona y lo rudimentarios que siguen siendo.



Fuente La Jornada. 3 de junio 1997. Foto: Fabrizio León

**Figura 4.1.** Contaminación en hornos ladrilleros.

#### 4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO

Debido a las características de las ladrilleras en México, se considera que este sector puede proporcionar un ejemplo práctico de la metodología analizada en secciones anteriores. A continuación se analizarán algunas de sus características y posteriormente se calcularán los eco-indicadores propuestos.

El proceso seguido para la manufactura de los ladrillos en las pequeñas ladrilleras de los países en desarrollo, sigue esencialmente las siguientes etapas:

- Preparación de la pasta cerámica
- Modelado de la forma deseada
- Cocción en hornos

El proceso de elaboración de los ladrillos es manual y no sigue un estricto control ni en los procesos de producción, ni en la calidad del producto. Asimismo, los hornos empleados son construidos por los propios ladrilleros.

Las materias primas empleadas para la elaboración de ladrillos son básicamente agua, arcilla y estiércol. Los porcentajes en peso de éstas en la pasta se muestran en la siguiente tabla.

<b>Materia prima</b>	<b>% Peso</b>
Agua	51.4
Arcilla	47.0
Estiércol	1.6

Fuente: Secretaría de Ecología del estado de México, 1999.

**Tabla 4.1.** Materia prima en ladrillos

La pasta obtenida al mezclar las materias primas recibe el nombre de cerámica roja; en México, la pasta se mezcla manualmente hasta que adquiere un aspecto uniforme y logra la humedad final para el moldeado (Moreno, 2004).

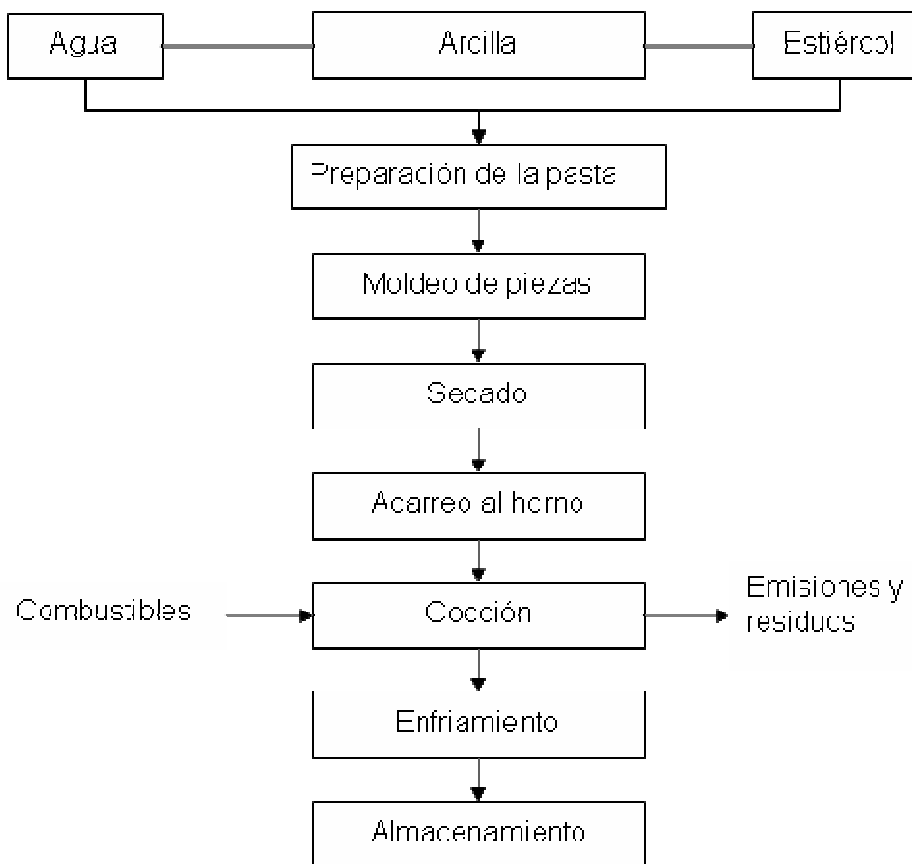
La siguiente etapa, el moldeado, también es realizada manualmente. Un trabajador promedio moldea como máximo 1000 ladrillos diarios.

Dependiendo del nivel de tecnificación, la operación de secado puede realizarse de diferentes formas, pudiendo ir desde secado al aire libre hasta el empleo de túneles a condiciones controladas que impulsan aire caliente, logrando un aumento progresivo en la temperatura del material y una disminución en su contenido de humedad.

En las ladrilleras no industrializadas de México, el secado se realiza de manera natural, y según los ladrilleros dura hasta seis días.

Una vez que ha concluido el proceso de secado, se conducen manualmente los ladrillos hasta el horno (etapa de acarreo). El proceso de horneado dura alrededor de 24 horas. En algunas ocasiones los ladrillos son almacenados en el mismo horno, hasta que son vendidos.

El diagrama de flujo del proceso de fabricación de ladrillos seguido en las pequeñas ladrilleras se muestra en la siguiente figura.



**Figura 4.2.** Proceso de fabricación de ladrillos

#### 4.2.2. COCCIÓN

Los tipos de hornos empleados para la cocción de ladrillos pueden ser de construcción rudimentaria, complejos hornos eléctricos o a base de gas, dependiendo del nivel de tecnificación y el tipo de piezas a producir. La mayoría de hornos empleados en México para la fabricación de ladrillos son de tipo artesanal, su capacidad varía de 4,000 a 80,000 ladrillos por lote; dependiendo de la demanda se puede encender desde 1 vez por semana hasta 1 vez por mes, por un lapso de 48 a 72 horas. Debido a la calidad y a la técnica tan rústica empleada en el sistema, del total de ladrillos producidos generalmente sólo se puede aprovechar del 50 al 60% de la producción, ya que los ladrillos más cercanos a la bóveda de alimentación de combustible se queman, y los más alejados no alcanzan a cocerse. Adicionalmente, se debe mencionar que ninguno de estos hornos cuenta con sistema de control de emisiones (CENICA, 2002). Cabe mencionar, que el dueño de uno de los hornos analizados considera que el desperdicio no necesariamente es tan alto y depende de la experiencia de la persona que realiza el proceso de cocción.

En la siguiente figura se muestra un horno tradicional de ciudad Juárez, Chihuahua, como puede verse cuenta con muy poco mantenimiento y probablemente su capacidad para conservar el calor es muy baja. Hay que resaltar la carencia de sistemas que permitan el control o medición de emisiones.



Fuente: Dirección General de Ecología y Protección Civil (2004).  
H. Ayuntamiento de Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua.

**Figura 4.3.** Horno tradicional.

En comparación con el horno anterior se puede ver, en la figura siguiente, un horno ecológico realizado por la Dirección General de Ecología y Protección Civil del municipio de Ciudad Juárez, Chihuahua, dentro del Parque Ladrillero de Juárez que busca sustituir a los hornos tradicionales para disminuir el número de emisiones y desperdicios (Romo, Córdoba & Cervera, 2004).



Fuente: Dirección General de Ecología y Protección Civil.  
H. Ayuntamiento de Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua. 2004.

**Figura 4.4.** Horno ecológico.

Los combustibles empleados para la alimentación del horno dependen tanto de los materiales y residuos disponibles en la zona donde se ubique el horno, como del grado de industrialización del proceso. Entre los combustibles que se emplean con mayor frecuencia en México están la madera, aserrín, combustóleo, llantas, residuos industriales y aceites gastados, además de diesel, basura doméstica y algunos más modernos que emplean gas natural o L.P. (CENICA, 2002). Aunque también se emplean combustibles alternativos dependiendo de los recursos disponibles en la zona, por ejemplo en el horno analizado en Chiapas utilizan la cáscara de café. Tomando en cuenta esta gran gama de combustibles, queda claro que las emisiones serán muy variadas y difíciles de estimar.

La etapa de enfriamiento en las ladrilleras de los países en desarrollo es llevada de manera natural; cuando los ladrillos se han enfriado, generalmente se almacenan en los patios y son cubiertos con plástico para evitar que se mojen en caso de lluvia, mientras se llevan a su destino final.

#### **4.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO**

En esta sección se aplicarán los eco-indicadores seleccionados a dos pequeñas ladrilleras Mexicanas. Cabe mencionar que varias empresas se negaron a participar en este análisis debido al tipo de información requerida o al tiempo que se requería para obtenerla, lo cual deberá tenerse en cuenta si se desea dar continuidad a esta propuesta.

En ambas ladrilleras todo el trabajo continúa siendo rudimentario y carente de avances tecnológicos. Se desea determinar la validez y complicaciones con que puede toparse este método en el caso de empresas que cuentan únicamente con la información más elemental.

#### 4.3.1. RIVERA DE LAS FLECHAS, CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS

En esta ladrillera la producción es completamente manual, el único aparato eléctrico utilizado es un ventilador, que se emplea para dispersar y homogeneizar la distribución del combustible en el horno. Los datos fueron proporcionados por el dueño del horno, pero son aproximaciones, ya que nunca ha necesitado determinar las cantidades exactas de la materia prima que utiliza.

Los cálculos fueron hechos para un lote de 30,000 ladrillos, que es la capacidad máxima del horno.

La materia prima utilizada y las cantidades requeridas son:

- Arcilla para obtener la cerámica roja, obtenida en el terreno mismo y no se especificó la cantidad requerida. Tampoco se especificó el costo asociado.
- Agua para darle la consistencia adecuada a la cerámica roja. En este caso es potable y se requiere de 400 litros equivalente a 0.4 metros cúbicos. Esta agua se evapora durante los procesos de secado y horneado. Cabe mencionar que no se usa agua en otra parte del proceso, por lo que no se generan aguas residuales.
- Cáscara del café como combustible, se necesitan 2 toneladas.
- Electricidad, para mantener encendido un ventilador de  $\frac{3}{4}$  hp durante 20 horas, lo cual da un total de .01119 MWh.

Aunque no se especificó otro tipo de uso del agua se puede suponer que se emplea cierta cantidad para consumo humano pero como no se cuenta con sistema de drenaje se supondrá que esta agua se evapora y tampoco genera aguas residuales.

Mano de obra:

- Obrero, encargado de la extracción de la arcilla y del preparado y moldeado de la cerámica roja. Se calcula que un obrero produce en promedio 4,000 ladrillos a la semana; el tiempo de moldeado conveniente es de dos semanas y medio, para lo cual el dueño necesita contratar a tres personas.
- Cargador, encargado de acarrear los ladrillos desde el punto en que fueron dejados para el proceso de secado hasta el horno. Después de la venta de los ladrillos, el comprador es quien se encarga de cargar los ladrillos al camión
- Hornero, encargado de vigilar que el proceso de cocción de los ladrillos se lleve a cabo de manera adecuada

El trabajo de cargador y hornero es realizado por el dueño del horno, sin embargo se le asignará el sueldo que le correspondería si fuera un empleado.

Los costos asociados a la producción de ladrillos son los siguientes:

- Agua, \$90.
- Cáscara del café, \$3,900 por las dos toneladas.
- Electricidad, \$14.50.

- Hornero, \$500 por lote.
- Obrero, \$200 por millar de ladrillos moldeados.
- Cargador, \$50 por millar de ladrillos acarreado.
- 500 ladrillos de desperdicio.

Otras observaciones necesarias son las siguientes:

- Las ventas son realizadas directamente en el horno.
- La mayoría de ladrillos defectuosos son vendidos dentro del lote normal, solo se “desperdician” los que se rompen al acarrearlos al camión de carga.
- Esta empresa no hace declaración ante hacienda ni factura por la venta de sus productos.
- Únicamente se realiza un lote de este tamaño por mes, debido a los tiempos de elaboración, secado, acarreo, cocido y enfriamiento de los ladrillos.

Finalmente, se maneja un precio de venta de \$750 por millar de ladrillos. Cabe mencionar que en la gran mayoría de este tipo de ladrilleras, esta actividad no es la que sostiene a la familia. Generalmente, el dueño trabaja de jornalero y maneja el horno como segunda actividad. En el caso de este horno, el dueño trabaja de capataz en obras de construcción, lo cual le permite encontrar clientes para los ladrillos producidos.

Con base en estos datos se puede calcular el valor agregado neto.

Ingresos = Precio del millar de ladrillos \* 30 millares

$$= \$750 * 30 = \$22,500$$

Costos = obreros + cargador + hornero + cáscara del café + agua + luz + desperdicio

$$= \$6,000 + \$1,500 + \$500 + \$3,900 + \$90 + \$14.5 + \$325 = \$12,329.5$$

Valor agregado neto = Ingresos – Costo de bienes y servicios comprados

$$= \$22,500 - \$12,329.5 = \$10,170.5$$

## CONSUMO DE AGUA Y FLUJO DEVUELTO

**Tabla 4.2.** Consumo de agua en ladrillera de Chiapas

Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	2006
Expulsión de aguas residuales a los sistemas públicos de recolección.	
- con tratamiento en sitio	0
- sin tratamiento	0
Expulsión de aguas residuales al agua superficial, subterránea o al suelo	
- con tratamiento en sitio	0
- sin el tratamiento	0
Pérdidas por transporte	0.10
Consumo por seres humanos y ganado	0.20
Evaporación	0.40
Consumo total de agua	0.7
Valor neto agregado (\$)	10 170.5
Indicador de Eco-eficiencia "Consumo de agua/Valor neto agregado" (m <sup>3</sup> /\$)	6.883 e-5

Como se mencionó anteriormente, no se considera la generación ni expulsión de aguas residuales.

Al consumo por seres humanos se le asignó 0.2 metros cúbicos que pueden cubrir el uso relacionado con limpieza de los obreros al término de la jornada o incluso su consumo. Esto no modifica el costo del agua debido a que la cantidad usada es tan poca que se paga una renta fija para el agua.

Las pérdidas por transporte del agua deben considerarse a partir del momento en que el agua entra dentro del ciclo de producción de la ladrillera, por lo cual solo se consideran pequeños derrames durante su uso o fugas en la tubería del lugar, estimado en 0.1 m<sup>3</sup>.

Finalmente, se observa que el valor del eco-indicador es muy pequeño debido a la poca cantidad de agua utilizada en este proceso y al alto valor agregado neto.

## REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

Para los siguientes cálculos deben utilizarse los factores de conversión que se señalan:

- MWh = 0.35 x GJ x 0.2778
- Cáscaras del café 16.0 MJ/kg = 0.016 GJ/kg (Sturm & Müller, 2004)

Por lo tanto el calor generado y su equivalencia en electricidad de las dos toneladas de cáscara de café está dado por:

$$2\ 000\ \text{kg} * 0.016\ \text{GJ/kg} = 32\ \text{GJ}$$
$$32\ \text{GJ} * 0.35 * 0.2778 = 3.11136\ \text{MWh}$$

**Tabla 4.3.** Requerimientos de energía en ladrillera de Chiapas

Necesidad energética	Calor (GJ calor) 2006	Electricidad (MWh) 2006	Total (MWh) 2006
Energía comprada			
Electricidad		.01119	0.011 19
Cáscaras del café	32		3.111 36
Energía total comprada	32	.01119	3.12255
Requerimiento total de energía	32	.01119	3.12255
Valor agregado neto (\$)			10 170.5
Indicador de Eco-eficiencia "requerimiento de energía/valor neto agregado" (MWh/\$)			3.0702 e-4

Nuevamente se observa un eco-indicador con un valor bastante bajo debido a que los requerimientos de energía son pocos y a que se tiene un alto valor agregado neto. Se han omitido las celdas relacionadas con "venta de energía" debido a que es un concepto que no aplica en este caso.

### CONTRIBUCIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL

En esta tabla se presentan las emisiones de dióxido de carbono, óxido nítrico y metano producidas por la quema de la cáscara de café y la utilización de energía eléctrica. Se expresan en toneladas de dióxido de carbono, para lo cual son necesarios los factores de conversión que relacionaban el óxido nítrico y el metano con el dióxido de carbono.

Para la electricidad en México se usa el factor de conversión 0.000527 CO<sub>2</sub>/kWh, para el metano se utiliza el factor de conversión 23, y para el óxido nítrico el factor de conversión 296 (Sturm & Müller, 2004).

Para calcular el dióxido de carbono, óxido nítrico y metano liberados se hacen las siguientes consideraciones y cálculos (MVOTMA, 2001).

- a) La energía producida por la cáscara de café es de 32 GJ y se utiliza el factor 0.0299 (ton C/ GJ) de emisión de carbono
- b) Carbono total liberado =  $32 \times 0.0299 = 0.9568$  ton
- c) Emisiones totales de CO<sub>2</sub> =  $0.9568 \text{ ton} \times (44/12) = 3.50827$  ton
- d) Nitrógeno total liberado = Carbono total liberado  $\times 0.02$   
=  $0.9568 \text{ ton} \times 0.02 = 0.019136$  ton
- e) Emisiones totales de N<sub>2</sub>O =  $0.007 \times \text{Nitrógeno total liberado} \times (44/28)$   
=  $0.007 \times 0.019136 \times (44/28)$   
= 0.000210496 ton
- f) Emisiones totales de metano =  $0.005 \times 0.9568 \text{ ton} \times (16/12)$   
= 0.0063787 ton



**Tabla 4.4. Contribución al calentamiento global en ladrillera en Chiapas**

Emisiones de CO <sub>2</sub> relacionadas con el uso de energía	Requerimientos de energía	Contribución al calentamiento global (100 años)
	2006	2006
Electricidad (México)	.01119 MWh	0.00589713 (ton CO <sub>2</sub> )
Cáscara de café	32 GJ	3.50827 (ton CO <sub>2</sub> )
Energía que contribuye al calentamiento global		3.51425713 (ton CO <sub>2</sub> )
Otros procesos industriales		Calentamiento Global Potencial
Otros gases de calentamiento global		2006
		kg CO <sub>2</sub> -eq./kg
Metano (ton)	0.0063787 (ton)	0.1467101 (ton CO <sub>2</sub> )
N <sub>2</sub> O (ton)	0.000210496 (ton)	0.062306816 (ton CO <sub>2</sub> )
Otros gases de calentamiento global		0.209016916 (ton CO <sub>2</sub> )
Contribución total al calentamiento global		3.723274046 (ton CO <sub>2</sub> )
Valor agregado neto		10 170.5
Indicador de Eco-eficiencia "contribución al calentamiento global/valor agregado neto"		3.661 e-4

Nuevamente se obtiene un eco-indicador con un valor bastante bajo debido a las pocas emisiones producidas por la cáscara de café y un alto valor agregado neto.

### **BASURA GENERADA**

En este caso, el reporte se realizó en kg de basura generada. Se consideró que el peso de los ladrillos desperdiciados es de 1.3 kg por ladrillo y las cenizas de la cáscara de café suman aproximadamente el 3% de su peso inicial (MVOTMN, 2001).

Ladrillos desperdiciados =  $500 * 1.3 = 650$  kg

Cenizas de la cáscara de café =  $2\ 000$  kg \*  $.03 = 60$  kg

También se consideró que los obreros generan aproximadamente 8 kg de basura durante el tiempo que dura el proceso de producción (1 mes).

Se conservaron todos los renglones de la tabla propuesta por UNCTAD, aunque la mayoría no tiene ninguna cifra asociada, debido a que tenerlos presentes puede ayudar a buscar opciones que lleven a mejoras en el proceso, por ejemplo el reciclado de los ladrillos defectuosos.

**Tabla 4.5. Basura generada en ladrillera en Chiapas**

BASURA	Mineral	Total
Tecnología de tratamiento	2006	2006
Reuso, remanufactura y reciclado de ciclo abierto		
Reuso		
• Remanufactura		
• Reciclado		
Incineración		
• Baja-temperatura		
• Alta-temperatura		
• Hornos de cemento		
Rellenos sanitarios		
• Rellenos para materiales bio-activos		
• Rellenos para materiales estables		
• Rellenos para materiales inertes		
Tiraderos abiertos	718	718
Temporalmente almacenado en sitio		
Total	718	718
Reuso, remanufactura y reciclado de ciclo cerrado		
• Reuso		
• Remanufactura		
• Reciclado		
Total de basura generada	718	718
Valor agregado neto (\$)		10 170.5
Indicador de Eco-eficiencia "basura generada/valor neto agregado" (m <sup>3</sup> /\$)		7.06 e-2

Nuevamente se obtiene un eco-indicador con un valor bajo debido principalmente al alto valor agregado neto ya que la cantidad de basura generada si es grande. Aunque parte de la basura generada es ceniza se considera que el cascajo si genera una contaminación que debe evitarse tanto como sea posible.

En este punto resulta importante observar que el eco-indicador asociado a la basura generada es el más alto de los cuatro que se calcularon para esta ladrillera, más aún si se toma en cuenta que la cantidad de ladrillos desperdiciados en este caso está por debajo del 40% de desperdicio promedio reportado en ladrilleras (CENICA, 2002). Por lo tanto las modificaciones más importantes deberían hacerse en los métodos de cocción de los ladrillos para disminuir los desperdicios.

En una ladrillera resulta innecesario calcular el indicador asociado a sustancias que deterioran la capa de ozono, debido a que las emisiones provienen de la quema de un producto orgánico. Con los 4 indicadores calculados se concluye el análisis de eco-eficiencia asociado a esta empresa.

#### **4.3.2. HORNOS LADRILLEROS EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA**

Como se mencionó anteriormente, resultó difícil obtener información directa de las empresas, debido a lo cual se recurrió a datos mencionados en "Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez" (Romo, Córdoba & Cervera, 2004). En este estudio se mencionan cantidades relacionadas con

la capacidad del horno, las quemas por mes, la madera o aserrín utilizados, etc. Sin embargo, para poder aplicar el método de manera sencilla y para poder comparar los resultados con los obtenidos en la empresa anterior, se utilizarán las cantidades promedio en un mes. Aunado a lo anterior, no se tienen todos los datos requeridos para el cálculo de los indicadores, así que se inferirán algunas de las cantidades con información del caso anterior o a través del sentido común.

Los cálculos son hechos para un horno produce 10,736 ladrillos por mes.

La materia prima utilizada y las cantidades requeridas son:

- Arcilla para obtener la cerámica roja. No se especificó la cantidad requerida; para el cálculo de los eco-indicadores este dato no es necesario.
- Agua para darle la consistencia adecuada a la cerámica roja, no se especifica la cantidad usada pero se considerarán 0.14315 metros cúbicos. Se infirió mediante la cantidad de agua requerida para fabricar los 30 000 ladrillos en el caso anterior.
- Madera como combustible, se requieren 2 400 kilogramos

Aunque no se especificó otro tipo de uso del agua se puede suponer que se emplea cierta cantidad para consumo humano pero como no se cuenta con sistema de drenaje se supondrá que esta agua se evapora y tampoco genera aguas residuales.

Mano de obra:

- Obrero, encargado de la extracción de la arcilla y del preparado y moldeado de la cerámica roja. Se calcula que un obrero produce en promedio 4,000 ladrillos a la semana; el tiempo de moldeado conveniente es de dos semanas y medio, para lo cual el dueño necesita contratar a tres personas.
- Cargador, encargado de acarrear los ladrillos desde el punto en que fueron dejados para el proceso de secado hasta el horno. Después de la venta de los ladrillos, el comprador es quien se encarga de cargar los ladrillos al camión.
- Hornero, encargado de vigilar que el proceso de cocción de los ladrillos se lleve a cabo de manera adecuada

El trabajo de cargador y hornero es realizado por el dueño del horno, sin embargo se le asignará el sueldo que le correspondería si fuera un empleado.

Los costos asociados a la producción de ladrillos son los siguientes:

- Arcilla, \$4,000
- Madera, \$3,000
- Agua, \$90 (dato tomado del caso anterior)
- Hornero, \$500 por lote (dato tomado del caso anterior)
- Obrero, \$200 por millar de ladrillos moldeados (dato tomado del caso anterior)
- Cargador, \$50 por millar de ladrillos acarreado (dato tomado del caso anterior)

- 1,181 ladrillos de desperdicio.

Otras observaciones necesarias son las siguientes:

- La mayoría de ladrillos defectuosos son vendidos dentro del lote normal, solo se “desperdician” los que se rompen durante su manejo, en promedio el 11%. Nuevamente se tiene un porcentaje por debajo del 40% promedio (CENICA, 2002) pero el desperdicio es mayor que el reportado por la ladrillera de Chiapas. Esto puede deberse a diversos factores como son experiencia de los horneros, hornos mejor contruidos o incluso al tipo de combustible, ya que la cáscara de café puede distribuirse con el uso del ventilador y así mejorar el proceso de cocción.
- Esta empresa no hace declaración ante hacienda ni factura por la venta de sus productos.
- Únicamente se realiza un lote de este tamaño por mes, debido a los tiempos de elaboración, secado, acarreo, cocido y enfriamiento de los ladrillos.
- Se considera un precio de venta de \$1.20 pesos por ladrillo. La diferencia entre los costos del ladrillo en Chiapas y ciudad Juárez pueden deberse a la diferencia de los costos de producción.

Con base en estos datos se puede calcular el valor agregado neto.

Ingresos = Precio por unidad de ladrillo \* 10,736 ladrillos

$$= \$1.20 * 10,736 \text{ ladrillos} = \$12,883.2$$

Costos = obreros + cargador + hornero + arcilla + madera + agua + desperdicio

$$= \$2,147 + \$537 + \$500 + \$4,000 + \$3,000 + \$90 + \$1,417 = \$11,691$$

Valor agregado neto = Ingresos - Costo de bienes y servicios comprados

$$= \$12,883 - \$11,691 = \$1,192.$$

Al observar el valor agregado neto y los costos de la arcilla y de la madera se nota que el proceso de fabricación de ladrillos es más caro y menos rentable en ciudad Juárez que en Chiapas, con lo cual se empiezan a hacer evidentes las diferencias entre las dos ladrilleras analizadas. De hecho, se hace claro que debe asignarse algún valor monetario al uso de la arcilla en Chiapas para que la comparación entre las ladrilleras sea adecuada. Sin embargo, esto haría necesario el uso de alguno de los métodos de monetización utilizados en el análisis de ciclo de vida, lo cual quedaría fuera del marco de este trabajo.

## CONSUMO DE AGUA Y FLUJO DEVUELTO

**Tabla 4.6.** Consumo de agua en ladrillera en Chihuahua

Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	2006
Expulsión de aguas residuales a los sistemas públicos de recolección.	
- con tratamiento en sitio	0
- sin tratamiento	0
Expulsión de aguas residuales al agua superficial, subterránea o al suelo	
- con tratamiento en sitio	0
- sin el tratamiento	0
Pérdidas por transporte	0
Consumo por seres humanos y ganado	0
Evaporación	0.14315
Cambio en el agua almacenada	
Consumo total de agua	0.14315
Valor neto agregado (\$)	1 192
Indicador de Eco-eficiencia "Consumo de agua/Valor neto agregado" (m <sup>3</sup> /\$)	1.2 e-4

Como se mencionó anteriormente, no se considerará la generación ni expulsión de aguas residuales.

Igual que en la ladrillera de Chiapas se considera que el consumo por seres humanos es de 0.2 metros cúbicos que pueden cubrir el uso relacionado con limpieza de los obreros al término de la jornada o incluso su consumo.

De acuerdo con la metodología propuesta por UNCTAD las pérdidas por transporte del agua se consideran a partir del momento en que el agua entra dentro del ciclo de producción de la ladrillera, por lo cual solo se toman en cuenta pequeños derrames durante su uso o fugas en la tubería del lugar.

Finalmente, se observa que el valor del eco-indicador es muy pequeño debido a la poca cantidad de agua utilizada en este proceso. Sin embargo, es alto en comparación con el valor del mismo eco-indicador asociado a la ladrillera de Chiapas debido principalmente a que el valor agregado neto en la ladrillera de ciudad Juárez es muy bajo.

## REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

Para los siguientes cálculos deben utilizarse los siguientes factores de conversión:

- MWh = 0.35 x GJ x 0.2778
- Madera seca 16.6 MJ/kg = 0.0166 GJ/kg (Sturm & Müller, 2004).

Por lo tanto el calor generado y su equivalencia en electricidad de los 2 400 kilogramos de madera está dado por:

$$2\,400\text{ kg} * 0.0166\text{ GJ/kg} = 39.84\text{ GJ}$$

$$32 \text{ GJ} * 39.84 * 0.2778 = 3.8736432 \text{ MWh}$$

**Tabla 4.7.** Requerimientos de energía en ladrillera en Chihuahua

Necesidad energética	Calor (GJ calor) 2006	Trabajo (MWh trabajo) 2006	Total (MWh trabajo) 2006
Energía comprada			
Electricidad		0	0
Madera seca	39.84		3.8736432
Energía total comprada	0	0	0
Requerimiento total de energía	39.84		3.8736432
Valor agregado neto (\$)			1 192
Indicador de Eco-eficiencia “requerimiento de energía/valor neto agregado” (MWh/\$)			3.2497 e-3

Nuevamente se observa un eco-indicador con un valor bastante bajo debido a que los requerimientos de energía son pocos, es alto en comparación con los resultados obtenidos por la ladrillera en Chiapas.

Se han omitido las celdas relacionadas con “venta de energía” debido a que es un concepto que no aplica en este caso.

### CONTRIBUCIÓN AL CALENTAMIENTO GLOBAL

En esta tabla se presentan las emisiones de dióxido de carbono, óxido nítrico y metano producidas por la quema de la madera. Se obtienen las emisiones que contribuyen al calentamiento global expresadas en toneladas de dióxido de carbono, para lo cual son necesarios los factores de conversión que relacionaban el óxido nítrico y el metano con el dióxido de carbono.

Para el metano se utiliza el factor de conversión 23 y para el óxido nítrico el factor de conversión 296 (Sturm & Müller, 2004).

Para calcular el dióxido de carbono, óxido nítrico y metano liberado se hacen las siguientes consideraciones y cálculos (MVOTMA, 2001).

- a) La energía producida por la madera es de 39.84 GJ y usamos el factor 0.0299 (ton C/ GJ) de emisión de carbono
- b) Carbono total liberado =  $39.84 \times 0.0299 = 1.191216 \text{ ton}$
- c) Emisiones totales de  $\text{CO}_2 = 1.191216 \text{ ton} \times (44/12) = 4.367792 \text{ ton}$
- d) Nitrógeno total liberado = Carbono total liberado  $\times 0.02$   
 $= 1.191216 \text{ ton} \times 0.02 = 0.02382432 \text{ ton}$
- e) Emisiones totales de  $\text{N}_2\text{O} = 0.007 \times \text{Nitrógeno total liberado} \times (44/28)$   
 $= 0.007 \times 0.02382432 \times (44/28)$   
 $= 0.000262068 \text{ ton.}$

$$f) \text{ Emisiones totales de metano} = 0.005 \times 1.191216 \text{ ton} \times (16/12) \\ = 0.00794144 \text{ ton.}$$

**Tabla 4.8.** Contribución al calentamiento global en ladrillera en Chihuahua

Emisiones de CO <sub>2</sub> relacionadas con el uso de energía	Requerimientos de energía	Contribución al calentamiento global (100 y)
	2006	2006
Electricidad (México)		
Madera	39.84 GJ	4.367792 (ton CO <sub>2</sub> )
Energía que contribuye al calentamiento global		4.367792 (ton CO <sub>2</sub> )
Otros procesos industriales		Calentamiento Global Potencial
Otros gases de calentamiento global	2006	kg CO <sub>2</sub> -eq./kg
Metano (ton)	0.00794144 (ton)	0.18265312 (ton CO <sub>2</sub> -eq.)
N <sub>2</sub> O (ton)	0.000262068 (ton)	0.077572128 (ton CO <sub>2</sub> -eq.)
Otros gases de calentamiento global		0.260225248 (ton CO <sub>2</sub> -eq.)
Contribución total al calentamiento global		4.628017248 (ton CO <sub>2</sub> -eq.)
Valor agregado neto		1 192
Indicador de Eco-eficiencia "contribución al calentamiento global/valor agregado neto"		3.88256 e-3

Nuevamente se obtiene un eco-indicador con un valor bastante bajo, debido a las pocas emisiones producidas por la quema de madera. Sin embargo, es siendo alto en comparación con los resultados obtenidos por la ladrillera en Chiapas y en este caso no solo se debe a la diferencia entre los valores agregados netos de ambas ladrilleras sino también a que la madera produce casi una tonelada más de dióxido de carbono que la cáscara de café. Lo cual debe tenerse en cuenta al elegir el tipo de combustible que será utilizado.

## BASURA GENERADA

En este caso, el reporte se realizó en kg de basura generada. Se consideró que el peso de los ladrillos desperdiciados es de 1.3 kg por ladrillo y los residuos de la madera quemada suman aproximadamente el 4% de su peso inicial (MVOTMN, 2001).

$$\text{Ladrillos desperdiciados} = 1\ 181 * 1.3 = 1535.3 \text{ kg}$$

$$\text{Cenizas de la madera} = 2\ 400 \text{ kg} * .04 = 96 \text{ kg}$$

También se consideró que los obreros generan aproximadamente 8 kg de basura durante el tiempo que dura el proceso de producción.

Nuevamente, se conservaron todos los renglones, aunque la mayoría tiene ninguna cifra asociada, debido a que tenerlos presentes puede ayudar a buscar opciones que lleven a mejoras en el proceso.

**Tabla 4.9.** Basura generada en ladrillera en Chihuahua

BASURA	Mineral	Total
Tecnología de tratamiento	2006	2006
Reuso, remanufactura y reciclado de ciclo abierto		
Reuso		
• Remanufactura		
• Reciclado		
Incineración		
• Baja-temperatura		
• Alta-temperatura		
• Hornos de cemento		
Rellenos sanitarios		
• Rellenos para materiales bio-activos		
• Rellenos para materiales estables		
• Rellenos para materiales inertes		
Tiraderos abiertos	1639.3	1639.3
Temporalmente almacenado en sitio		
Total	1 615.3	1 615.3
Reuso, remanufactura y reciclado de ciclo cerrado		
• Reuso		
• Remanufactura		
• Reciclado		
Total de basura generada	1 615.3	1 615.3
Valor agregado neto		1 192
Indicador de Eco-eficiencia "basura generada/valor neto agregado" (m <sup>3</sup> /\$)		1.355

En este caso se obtiene el eco-indicador más alto de los calculados en ambas ladrilleras. Con lo cual se confirma la necesidad de mejorar los procesos de cocción para disminuir el número de ladrillos desperdiciados.

En este caso resulta innecesario el indicador asociado a sustancias que deterioran la capa de ozono, debido a que las emisiones provienen de la quema de un producto orgánico. Con los 4 indicadores calculados se concluye el análisis de eco-eficiencia asociado a esta empresa.

#### 4.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Se aplicaron los indicadores propuestos por UNCTAD en ladrilleras mexicanas pequeñas y se comprobó que su utilización resulta viable, aún a pesar de la poca información que puede proporcionar este tipo de empresas. Los resultados finales se resumen en la tabla siguiente:

**Tabla 4.10.** Resultados finales de ladrilleras estudiadas

INDICADOR DE ECO-EFICIENCIA	LADRILLERAS	
	CHIAPAS	CHIHUAHUA
Consumo de agua/valor neto agregado (m <sup>3</sup> /\$)	3.932 e-5	1.2 e-4
Requerimiento de energía/valor neto agregado (MWh/\$)	3.0702 e-4	3.2497 e-3
Contribución al calentamiento global/valor agregado neto	3.661 e-4	3.88256 e-3
Basura generada/valor neto agregado (m <sup>3</sup> /\$)	6.98 e-2	1.355



Se observa que la ladrillera de Chihuahua presenta niveles de eco-eficiencia más bajos en los cuatro aspectos evaluados. Sin embargo, resulta conveniente tener en cuenta los pasos que se siguieron para obtener estos resultados ya que en ellos se pueden observar los motivos que generan estas diferencias y las modificaciones que deben hacerse para obtener procesos más eco-eficientes.

La primera diferencia que se observó es el poco valor agregado neto de la ladrillera de Chihuahua en comparación con la de Chiapas. Esto se debe principalmente a que en Chiapas no se le atribuye ningún valor o costo a la arcilla utilizada. Sin embargo, en futuras aplicaciones deberá buscarse la forma de asignarle un valor a este tipo de materia prima para poder obtener comparaciones más adecuadas entre las empresas. Una opción son los métodos de monetización empleados en el análisis de ciclo de vida.

El consumo de agua fue proporcional, ya que se utilizaron los datos de la ladrillera en Chiapas para inferir los requerimientos de agua en la ladrillera de Chihuahua. Por lo tanto, la diferencia entre los eco-indicadores es resultado de la diferencia entre los valores agregados netos.

En los requerimientos de energía se observa que la ladrillera de Chihuahua emplea casi 0.75 MWh más que la ladrillera de Chiapas. Esto, aunado a las diferencias en el valor agregado neto provocan una menor eco-eficiencia.

La contribución al calentamiento global resulta mucho más alta en la ladrillera de Chihuahua, casi una tonelada más de dióxido de carbono que en la ladrillera de Chiapas, lo cual se debe al tipo de combustible utilizado. Por lo tanto, se recomienda buscar otro tipo de combustibles que disminuyan este tipo de emisiones e incluso promover la utilización de materiales que ya son considerados como desperdicio y que no contaminan demasiado al ser quemados como es el caso de la cáscara de café.

Finalmente, la basura generada en la ladrillera de Chihuahua es mayor porque el número de ladrillos desperdiciados son más que los que se desperdician en la ladrillera de Chiapas. En este punto es importante insistir que algunos de los motivos que pueden generar una mayor cantidad de ladrillos desperdiciados son la falta de experiencia por parte de las personas que realizan el proceso de cocción, las condiciones en las que se encuentra el horno e incluso el tipo de combustible utilizado ya que este puede afectar la forma en que se distribuye el calor y por lo tanto aumentar el número de ladrillos crudos o quemados.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se explicó la manera en que se definen, seleccionan y usan los indicadores de eco-eficiencia.
- Se analizaron y compararon varios métodos diseñados para calcular indicadores que permitan relacionar las cualidades de un producto o un proceso productivo con respecto a su influencia ambiental.
- Se determinó que los indicadores de eco-eficiencia y la metodología desarrollada por UNCTAD son los más adecuados para los requerimientos de las empresas mexicanas, permitiéndoles llevar la contabilidad ambiental y la divulgación del desempeño ambiental.
- El método desarrollado por UNCTAD resultó aplicable incluso en empresas pequeñas y en las cuales únicamente se cuentan con los datos más elementales.
- Se comprobó su utilidad para comparar y evaluar las decisiones relacionadas con los procesos productivos tanto económica como ambientalmente.
- Aunque el método demostró su viabilidad se recomienda establecer guías que faciliten y, por lo tanto, hagan atractiva su aplicación.
- Se recomienda que al aplicar el método se tenga en cuenta la situación de las empresas analizadas, ya que los indicadores se ven afectados por el pago de impuestos, sueldos, servicios y materia prima, costos que pueden disminuir considerablemente si la empresa los evade o reduce de manera ilegal. Con esto se obtendrían indicadores pequeños pero irreales, que darían la impresión de una eco-eficiencia mayor.
- También es importante tener en cuenta que en el momento en que se realizaron las investigaciones para este trabajo, aún no se habían publicado los resultados obtenidos por el proyecto desarrollado por WBCSD. Una futura revisión de tales resultados puede enriquecer o incluso modificar las opiniones expuestas en esta tesis.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- CANACINTRA-GTZ (2002). *Programa de Gestión Ambiental Rentable: Una oferta de capacitación para pequeñas y medianas empresas (PyMEs) mexicanas*. Cámara Nacional de la Industria de Transformación-Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. [http://www.gtz.org.mx/eco-eficiencia/presentaciones/pdf/ofertra-gar-PYMES\\_x.pdf#search=%22Programa%20de%20Gesti%C3%B3n%20Ambiental%20Rentable%22](http://www.gtz.org.mx/eco-eficiencia/presentaciones/pdf/ofertra-gar-PYMES_x.pdf#search=%22Programa%20de%20Gesti%C3%B3n%20Ambiental%20Rentable%22). Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
- CEBDS (2003). *Guia da produção mais limpa faça você mesmo*. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. [http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede\\_Irigacao/Docs/Guia%20da%20Producao%20Mais%20Limpa%20-%20Faca%20Voce%20Mesmo.PDF](http://www.bnb.gov.br/content/Aplicacao/ETENE/Rede_Irigacao/Docs/Guia%20da%20Producao%20Mais%20Limpa%20-%20Faca%20Voce%20Mesmo.PDF). Fecha de consulta 5 de octubre 2006.
- CENICA (2001). *Informe de la situación y los conocimientos actuales sobre las principales fuentes y emisiones de dioxinas en México*. México, Centro de Investigación y Capacitación Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- CENICA (2002). *Informe de la situación y los conocimientos actuales sobre las principales fuentes y emisiones de dioxinas en México. Segundo reporte. Revisión 1*. México. Centro de Investigación y Capacitación Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- Centre for Design at RMIT University (2003). Australian Eco-Indicator Project. [http://www.cfd.rmit.edu.au/programs/life\\_cycle\\_assessment/australian\\_eco\\_indicator\\_project](http://www.cfd.rmit.edu.au/programs/life_cycle_assessment/australian_eco_indicator_project) . Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- CESPEDES (2005). *Comisión de Estudios del Sector Privado Para el Desarrollo Sustentable. Representante en México del Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable*. [http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/comp\\_est/contenido.htm](http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/comp_est/contenido.htm). Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
- CRCB (2006). *El convenio de Basilea*. Centro Regional del Convenio de Basilea para Centroamérica y México. [http://www.marn.gob.sv/convenio\\_basilea.htm](http://www.marn.gob.sv/convenio_basilea.htm). Fecha de consulta 1 de octubre 2006.
- DEHCD. Department of the Environment and Heritage, Australian Government. <http://www.deh.gov.au/> . Fecha de consulta 16 de agosto 2006.

- Goedkoop M., Oele M. (2004). *SimaPro 6 -Introducción a LCA con SimaPro*. PRé Consultants.  
[http://www.pre.nl/download/manuals/SimaPro6IntroduccionLCA\\_es.pdf](http://www.pre.nl/download/manuals/SimaPro6IntroduccionLCA_es.pdf).  
Fecha de consulta 20 de septiembre 2006.
- Goedkoop M., Spriensma R. (2000). *Eco-indicator 99 a damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment: Methodology report*. Spatial Planning and the Environment Communications Directorate Ministry of Housing. The Hague, the Netherlands.  
[http://www.pre.nl/download/EI99\\_annexe\\_v3.pdf](http://www.pre.nl/download/EI99_annexe_v3.pdf). Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- Göran F. (1999). *A Critical Review of Operational Valuation/Weighting Methods for Life Cycle Assessment*. Stockholm's Universitet/Systemekologi och FOA. Swedish Environmental Protection Agency. Stockholm, Sweden.  
<http://www.infra.kth.se/fms/pdf/afr-r-253-se.pdf#search=%22A%20Critical%20Review%20of%20Operational%20Valuation%2FWeighting%20Methods%20for%20Life%20Cycle%20Assessment.%20Stockholms%20Universitet%2FSystemekologi%20och%20FOA.%22>. Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- Greenpeace (2006). <http://archivo.greenpeace.org/Clima/>. Fecha de consulta 1 de octubre 2006.
- INE (2006). *Contexto y compromisos internacionales*. Instituto nacional de ecología  
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap5.html>. Fecha de consulta 1 de octubre 2006.
- Lehni M. (2000). *Eco-efficiency creating more value with less impact*. World Business Council for Sustainable Development.  
[http://www.wbcd.org/DocRoot/3jFPCAaFgl1bK2KBbvV5/eco\\_efficiency\\_creating\\_more\\_value.pdf](http://www.wbcd.org/DocRoot/3jFPCAaFgl1bK2KBbvV5/eco_efficiency_creating_more_value.pdf). Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- Lehni M. (2006). *Measuring eco-efficiency a guide to reporting company performance*. World Business Council for Sustainable Development.
- López A., Torres Y. (2001). *Modelo de eco-Indicadores para el sector PyME en Colombia*.  
[http://home2.fundes.org/contenidos/cont\\_6.php?id=131](http://home2.fundes.org/contenidos/cont_6.php?id=131). Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
- Moreno P. (2004). *Estimación de riesgos ambientales causados por la industria ladrillera*. Facultad de ingeniería. UNAM.
- MVOTMA (2001). *Inventario nacional de emisiones netas de gases de efecto invernadero: 1998 y estudio comparativo de emisiones netas de gases de efecto invernadero para 1990, 1994 y 1998*. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Dirección Nacional de Medio Ambiente, Unidad de Cambio Climático. Uruguay.

[http://www.cambioclimatico.gub.uy/cambio\\_climatico/documentos/tecnicos/INGEI\\_1998\\_EC\\_1990\\_1994\\_1998.pdf](http://www.cambioclimatico.gub.uy/cambio_climatico/documentos/tecnicos/INGEI_1998_EC_1990_1994_1998.pdf). Fecha de consulta 21 de agosto 2006.

- Nakaniwa C. (2004). Development of Eco-efficiency Indicators Regarding Products. Japan *Environmental Management Association for Industry*. Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI). <http://www.jemai.or.jp/english/ecobiz/pdf/dl01.pdf#search=%22Development%20of%20Eco-efficiency%20Indicators%22>. Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- Nakaniwa C. (2004). *Eco-efficiency For Products: Establishment of Eco-efficiency Indicators for Sustainable Products*. Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI). <http://www.jemai.or.jp/english/ecobiz/pdf/dl02.pdf>. Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- Nakaniwa C. (2004). *Eco-efficiency Indicator Handbook for Products*. Japan Environmental Management Association for Industry Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI). <http://www.jemai.or.jp/english/ecobiz/pdf/dl03.pdf>. Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- NRTEE (2001). *Calculating Eco-efficiency Indicators: A Workbook for Industry*, The National Round Table on the Environment and the Economy, Ottawa, Ontario, Canadá. [http://www.nrtee-trnee.ca/Publications/PDF/Eco-efficiency\\_Workbook\\_e.pdf#search=%22Calculating%20Eco-efficiency%20Indicators%3A%20A%20Workbook%20for%20Industry%22](http://www.nrtee-trnee.ca/Publications/PDF/Eco-efficiency_Workbook_e.pdf#search=%22Calculating%20Eco-efficiency%20Indicators%3A%20A%20Workbook%20for%20Industry%22). Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
- Rabl Ari, (2000). The ExternE Project of the EU. Ecole des mines de Paris. [http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/03/valuing\\_ext/Rabl.pdf#search=%22The%20ExternE%20Project%20of%20the%20EU%20pdf%22](http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/03/valuing_ext/Rabl.pdf#search=%22The%20ExternE%20Project%20of%20the%20EU%20pdf%22). Fecha de consulta 1 de octubre 2006.
- Riera Pere (1994). *Manual de valoración contingente*. <http://volcano.uab.es/priera/papers/manualcvm2.pdf>. Fecha de consulta 20 de septiembre 2006.
- Romo M., Córdoba G., Cervera L., (2004). *Estudio Urbano-Ambiental de las Ladrilleras en El Municipio De Juárez*. <http://www.juarez.gob.mx/ecologia/pdf/Estudio%20Ambiental%20Ladrilleras.pdf#search='Estudio%20UrbanoAmbiental%20de%20las%20Ladrilleras%20en%20El%20Municipio%20De%20Ju%C3%A1rez>. Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- Ruvalcaba E. (2005). La Gestión Ambiental Rentable en pequeñas empresas Mexicanas. *Publicado en Revista Futuros No 9. 2005 Vol. III* <http://www.revistafuturos.info>. Fecha de consulta 21 de agosto 2006.

- Sabella A. (2005). *El análisis de ciclo de vida como herramienta de valoración proyectual*. Publicado en Ide@Sostenible. Año 2 No. 10 Mayo del 2005.  
[https://e-revistas.upc.edu/bitstream/2099/224/2/10\\_ciclovida\\_Sabella\\_CAST.pdf#search=%22El%20an%C3%A1lisis%20de%20ciclo%20de%20vida%20como%20herramienta%20de%20valoraci%C3%B3n%20proyectual%22](https://e-revistas.upc.edu/bitstream/2099/224/2/10_ciclovida_Sabella_CAST.pdf#search=%22El%20an%C3%A1lisis%20de%20ciclo%20de%20vida%20como%20herramienta%20de%20valoraci%C3%B3n%20proyectual%22).  
Fecha de consulta 23 de septiembre 2006.
- Sales Novaes Eduardo (2006). *Agenda 21. Las iniciativas regionales y locales*. Medio ambiente.  
<http://www.mre.gov.br/cdBrasil/itamaraty/web/espanhol/meioamb/agenda21/apresent/apresent.htm>. Fecha de consulta 1 de octubre 2006.
- Ščasný M., Melichar J. (2005). *Externe applications: The newest results for the new EU MS*. Charles University Environment Center. Prague, Czech Republic.  
[https://e-revistas.upc.edu/bitstream/2099/224/2/10\\_ciclovida\\_Sabella\\_CAST.pdf#search=%22El%20an%C3%A1lisis%20de%20ciclo%20de%20vida%20como%20herramienta%20de%20valoraci%C3%B3n%20proyectual%22](https://e-revistas.upc.edu/bitstream/2099/224/2/10_ciclovida_Sabella_CAST.pdf#search=%22El%20an%C3%A1lisis%20de%20ciclo%20de%20vida%20como%20herramienta%20de%20valoraci%C3%B3n%20proyectual%22).  
Fecha de consulta 23 de septiembre 2006.
- SPECD (1995). *Eco-indicator 95 the backgrounds explained*. Spatial Planning and the Environment Communications Directorate Ministry of Housing. <http://www.pre.nl/eco-indicator95/eco-indicator95.htm>. Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
- SPECD (2000). *Eco-indicator 99 manual for designers*. Spatial Planning and the Environment Communications Directorate. Ministry of Housing. The Hague, the Netherlands.  
[http://www.pre.nl/download/EI99\\_Manual.pdf](http://www.pre.nl/download/EI99_Manual.pdf). Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
- Sturm A., Müller K. (2001). *Standardized Eco-Efficiency Indicators*. Consultores Ellipson, Basel, Suiza.  
[http://www.ellipson.com/files/studies/EcoEfficiency\\_Indicators\\_e.pdf](http://www.ellipson.com/files/studies/EcoEfficiency_Indicators_e.pdf)  
Fecha de consulta 16 de agosto 2006
- Sturm A., Müller K. (2004). *A manual for the Preparers and Users of Eco-efficiency Indicators*. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). New York and Geneva.  
[http://www.unctad.org/en/docs/iteipc20037\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/iteipc20037_en.pdf). Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
- Tamborra M. (2003). *Developing tools for sustainability Impact assessment: the role of socioeconomic research in the EU*. European Commission, DG Research.

- <http://www.enterprise-impact.org.uk/pdf/Tamborra.pdf#search=%22Developing%20tools%20for%20sustainability%20Impact%20assessment%3A%20the%20role%20of%20socioeconomic%20research%20in%20the%20EU%22>. Fecha de consulta 21 de septiembre 2006.
- TMAD (2006). *El protocolo de Montreal*. Tierramérica medio ambiente y desarrollo. <http://www.tierramerica.net/2002/0922/conectate.shtml>. Fecha de consulta 1 de octubre 2006.
  - Torreblanca E. (16 de Junio 2005). *Extensionista financiero*. El Universal-El Universal Online, México. [http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/web\\_columnas\\_new.detalle?var=49001](http://www2.eluniversal.com.mx/pls/impreso/web_columnas_new.detalle?var=49001). Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
  - Tremblay G., Young R. (2003). *Eco-efficiency Workshop: Navigating opportunities*. World Business Council for Sustainable Development. [http://ecolu-info.unige.ch/colloques/SMIA03/archives/SMIA03\\_WBCSD.pdf#search=%22Eco-efficiency%20Workshop%22](http://ecolu-info.unige.ch/colloques/SMIA03/archives/SMIA03_WBCSD.pdf#search=%22Eco-efficiency%20Workshop%22). Fecha de consulta 16 de agosto 2006.
  - Verfaillie H., Bidwell R. (2000). *Eco-efficiency measuring a guide to reporting company performance*. World Business Council for Sustainable Development. <http://www.wbcSD.org/DocRoot/sB8NSMPNP52ho8GXunY6/MeasuringE.E.pdf#search=%22Eco-efficiency%20measuring%20a%20guide%20to%20reporting%20company%20performance%22>. Fecha de consulta 23 de septiembre 2006.
  - WBCSD (1999). *Eco-efficiency Indicators: A Tool for Better Decision-Making*. World Business Council for Sustainable Development. Conches-Geneva, Switzerland. <http://www.nachhaltigkeit.at/bibliothek/pdf/WBCSDDecoeffindicat.pdf#search=%22Eco-efficiency%20Indicators%3A%20A%20Tool%20for%20Better%20Decision-Making%22>. Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
  - WBCSD (1999). *Eco-Efficiency Workshop*. World Business Council for Sustainable Development. <http://www.wasig.curtin.edu.au/wasig/wasigresources/1999/eco.pdf#search=%22Eco-Efficiency%20Workshop%22>. Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
  - WBCSD (2000). *Eco-Efficiency Metrics & Reporting: State-of-the-Play*. World Business Council for Sustainable Development <http://www.wbcSD.ch/ee/statePlayreport20doc.pdf>

- WBCSD (2004). *The WBCSD's Regional Network*. World Business Council for Sustainable Development. <http://wbcasd.org/DocRoot/2DZsC61vL0M0f235iV9T/rn2004.pdf>. Fecha de consulta 5 de octubre 2006.
- WBCSD (2005). *Eco-efficiency learning module*. World Business Council for Sustainable Development. [http://www.wbcasd.org/web/publications/ee\\_module.pdf](http://www.wbcasd.org/web/publications/ee_module.pdf). Fecha de consulta 5 de octubre 2006.
- Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/Brundtland\\_Commission](http://en.wikipedia.org/wiki/Brundtland_Commission). Fecha de consulta 21 de agosto 2006.
- WM (2006). *Protocolo de Kioto y cambio climático, razones y consecuencias*. Waste Magazine. <http://waste.ideal.es/kioto.htm>. Fecha de consulta 23 de septiembre 2006.



## ANEXO

### A. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

Debido a que algunos de los modelos mencionados durante el desarrollo de este trabajo se basan en el análisis de ciclo de vida o bien pueden ser comparados con él, resulta conveniente dedicarle al menos una sección a este concepto. Por otro lado, la riqueza que ofrece al brindar una perspectiva diferente y más amplia en el momento de considerar el impacto ambiental de distintos procesos o productos resulta muy útil en los capítulos finales.

#### A.1. INTRODUCCIÓN

El análisis del ciclo de vida (LCA por sus iniciales en inglés), es un método de valoración nacido para conocer los efectos sobre los distintos componentes ambientales de un producto específico o servicio durante todo el arco temporal de su vida. Se hace referencia al conjunto de entradas, salidas y de las actividades implicadas en la producción, en el consumo/uso y en el desecho del producto considerado, desde la extracción de la materia prima del cual se constituye hasta su desecho final (llamado "from cradle to grave", de la cuna a la tumba). En este punto se debe aclarar que los "productos" se interpretan en un amplio sentido, e incluyen productos materiales y servicios. Por ejemplo, "el cuidado de la basura sólida municipal" es un producto que puede ser estudiado por LCA. La definición propuesta por la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)<sup>1</sup> sobre la metodología del ACV, hoy formalizada por la ISO 14040 2 es la siguiente:

"es un procedimiento objetivo de valoración de las cargas energéticas y ambientales relativas a un proceso o una actividad, efectuado a través de la identificación de la energía, de los materiales usados y de los desechos vertidos al ambiente, La valoración incluye el ciclo de vida completo del proceso o la actividad, comprendiendo la extracción y el tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, la reutilización, el reciclaje y el vertido final" (Sabella, 2005). La siguiente figura ilustra esta definición.

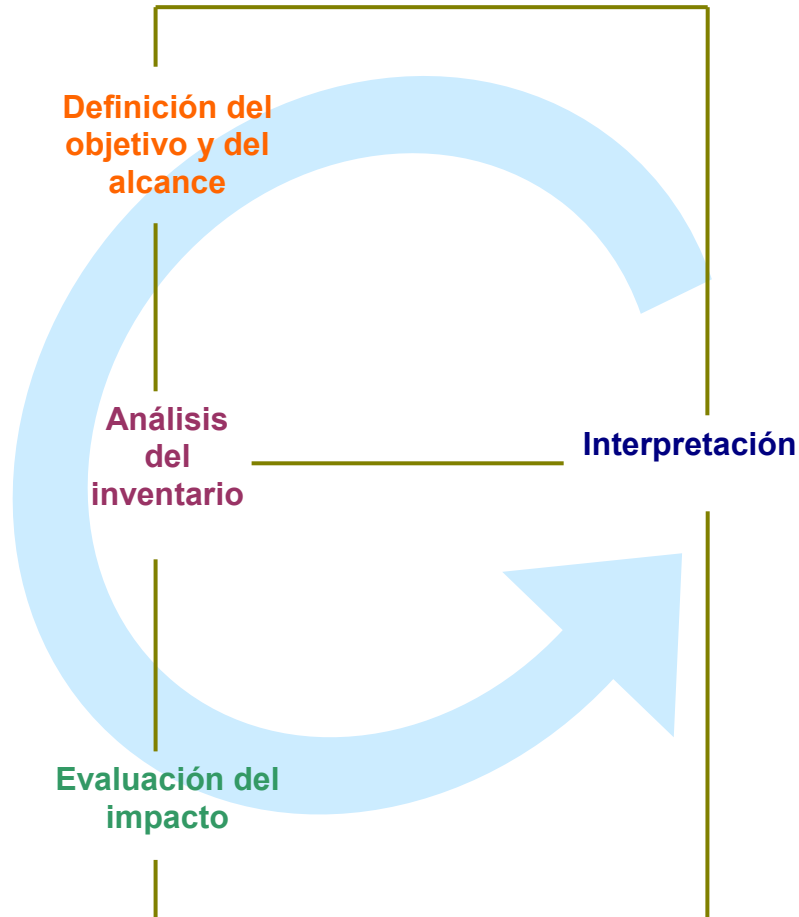


Figura A.1. Análisis de ciclo de vida.

## **A.2. ESTRUCTURA**

Un análisis del ciclo de vida incluye cuatro fases (ISO, 1997a y Goedkoop & Oele, 2004):

1. Definición del objetivo y del alcance, esta etapa se inicia definiendo los objetivos globales del estudio, donde se establecen la finalidad del estudio, el producto implicado, la audiencia a la que se dirige, el alcance o magnitud del estudio (límites del sistema), los datos necesarios y el tipo de revisión crítica que se debe realizar.
2. Análisis del inventario, que implica la compilación y cuantificación de entradas y salidas del sistema o producto analizado a lo largo de su ciclo de vida. El análisis de inventario da como resultado una tabla grande con todas las entradas (recursos, etc.) y todas las salidas del sistema (emisiones, etc.).
3. Evaluación del impacto, cuyo objetivo es entender y evaluar la magnitud y la importancia de las consecuencias potenciales para el medio ambiente del sistema estudiado (ISO, 1997a). Esta fase puede incluir elementos tales como:
  - 3.1. Clasificación, en esta etapa las entradas y salidas son asignadas a diferentes categorías de impacto basándose en los impactos ambientales esperados.
  - 3.2. Caracterización, aquí se determinan las contribuciones de cada entrada y salida a sus respectivas categorías de impacto y tales contribuciones son agregadas en las categorías correspondientes. Estas contribuciones son valores numéricos o factores que al sumarse miden el daño o carga ambiental provocada por cada categoría.
  - 3.3. Valoración o normalización, a cada categoría de impacto se le da un peso o valor que será multiplicado por la carga ambiental provocada por la categoría correspondiente. La suma de estas multiplicaciones proporciona el daño ambiental total del sistema estudiado.
4. Interpretación, los resultados de las fases precedentes son evaluados juntos, en un modo congruente con los objetivos definidos para el estudio, a fin de establecer las conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones.



**Figura A.2.** Pasos del análisis de ciclo de vida.

Debe observarse que la caracterización y la valoración requieren de especial atención, ya que en ambos casos se determinan los valores numéricos o factores que reflejarán el daño ambiental.

Es un hecho que en las etapas de caracterización y valoración se requieren valores políticos, ideológicos o éticos los cuáles son influenciados por interpretaciones e ideosincracias. No sólo el “peso” de los factores de caracterización y valoración, sino también la selección de la metodología y la selección del método que permitan determinarlos, son influenciados por consideraciones éticas e ideológicas.

Una opción importante cuando se define el alcance de un LCA es el tipo de impactos incluidos. Según la definición de LCA, un estudio debe incluir “los aspectos ambientales y los impactos potenciales” (ISO, 1997a).

La siguiente lista muestra las categorías de impacto. Cabe resaltar que cada categoría se puede dividir en subcategorías dependiendo de las necesidades. Categorías de impacto:

1. Recursos: Energía y materiales *
2. Recursos: Agua
3. Recursos: Tierra (incluyendo wetlands)
4. Salud humana: Impactos toxicológicos ** (excepto el ambiente de trabajo)
5. Salud humana: Impactos No-toxicológicos (excepto el ambiente de trabajo)
6. Impactos a la salud humana en el ambiente de trabajo **
7. Calentamiento global
8. Agotamiento del ozono estratosférico
9. Acidificación
10. Eutroficación
11. Formación de Foto-oxidantes
12. Impactos eco toxicológicos
13. Alteraciones e impactos en hábitat y diversidad biológica ***
14. Afluencias que no se regresan a la frontera del sistema entre el sistema técnico y la naturaleza ****
15. Salidas que no son seguidas hasta la frontera del sistema entre el sistema técnico y la naturaleza ****

\*Esta categoría de impacto se puede dividir en varias subcategorías, una división puede ser entre la energía y los materiales, y/o entre los recursos renovables y no renovables.

\*\* El ambiente de trabajo es una de tantas exposiciones para los seres humanos. La sugerencia de tratar este tipo de exposición por separado, se debe en parte a los métodos de caracterización disponibles.

\*\*\* Varias de las categorías de impacto pueden provocar como segunda causa alteraciones en el hábitat e impactos en la diversidad biológica". Sin embargo esta categoría de impacto está relacionada con actividades y emisiones que pueden tener un impacto directo.

\*\*\*\* No son categorías de impacto pero deben ser incluidas.

El que las etapas y los elementos precedentes se basen principalmente en las ciencias naturales tradicionales, no debe interpretarse como que están libres de elecciones de valor. Algunos valores fundamentales pueden tener repercusiones en las opciones metodológicas para el análisis de inventario, y los elementos de clasificación y de caracterización.

### A.3. MÉTODOS DE VALORACIÓN

Desde los años 90 se han desarrollado y utilizado varios métodos de valoración relacionados con LCA. Todos los métodos discutidos en este trabajo dan lugar a factores que pesan la valoración,  $V_i$ , los cuales, expresan la contribución a las consecuencias potenciales totales para el medio ambiente de la categoría de impacto  $i$ . Las consecuencias potenciales totales para el medio ambiente, CPT, se pueden entonces calcular como:

$$CPT = \sum V_i * I_i \text{ donde}$$

$I_i$  es la carga total provocada por la categoría de impacto  $i$ .

Los métodos discutidos aquí solamente consideran combinaciones lineales entre los factores de las categorías de impacto y de valoración.

En esta sección se analizarán las bases teóricas de los métodos de monetización, ya que fueron ampliamente usados en el desarrollo de los modelos analizados en el capítulo 2.

### **A.3.1. Métodos de monetización**

Hay una gran cantidad de métodos basados en la monetización que buscan medir los impactos en el medio ambiente. También hay una gran cantidad de maneras de clasificar estos métodos.

La primer distinción se puede hacer entre los métodos que se basan en “buena disposición para pagar”, y los métodos que no.

#### **A.3.1.1. Métodos basados en la buena disposición para pagar**

La buena disposición de pagar se relaciona normalmente con evitar algo. Así, alguien está dispuesto a pagar cierta cantidad de dinero para evitar algo. Este algo, puede encontrarse tarde o temprano en el mecanismo ambiental. Si es tarde, la buena voluntad de pagar es evitar un daño; si es temprano, la buena voluntad de pagar es evitar emisiones o el uso de recursos.

Los economistas ambientales distinguen a menudo entre diversos tipos de valores referentes a ambientes naturales. La primera distinción es entre valores de uso y valores de no uso. Los valores de uso incluyen usos directos e indirectos. Un ejemplo de valor de uso directo es el valor de la madera de un bosque mientras que en este mismo ejemplo el valor de uso indirecto sería el valor de la reconstrucción del bosque, el valor de la absorción del carbono etc. Por otra parte, los valores de no uso son los valores que se atribuyen a objetos sin la intención directa de usarlos. Tales valores incluyen la preocupación, la simpatía y el respeto por los derechos y el bienestar de seres no humanos, nuevamente se puede considerar que el valor de no uso de un bosque quedaría determinado por el deseo de poder verlo, visitarlo, saber que futuras generaciones podrán gozarlos, etc. Finalmente, el valor económico total es la suma de los valores de uso y de no uso.

Pueden utilizarse varios métodos para obtener una medida de buena disposición para pagar. Aquí se hará una distinción entre tres diferentes metodologías para obtener una medida de buena disposición para pagar:

- **Preferencias reales del individuo**

Los métodos basados en las preferencias reales del individuo asumen que la gente revela sus preferencias en los precios del mercado. Sin embargo, los precios del mercado solo valúan los daños, por lo que al aplicar este método resulta necesario estimar los daños provocados. Las preferencias reales normalmente solo se relacionan con los valores de uso, y a veces solo con el valor de uso directo. Por lo tanto se debe recurrir a otros métodos para obtener los valores de no uso.

- **Preferencias expresadas del individuo**

Debido a que normalmente los valores de no uso no se pueden derivar de las preferencias reveladas, se recurre a otros procedimientos para obtenerlos. Una opción es la planteada por los métodos de valoración contingente (CVM) que evita la necesidad de referirse a precios del mercado mediante cuestionarios que le permiten determinar los valores de los recursos ambientales. En este método, las respuestas dependerán de las preguntas y el encuestado. Los métodos CVM se pueden utilizar para valorar emisiones, uso de recursos y daños. En la práctica, es el más usado para valorar daños. Esto es porque puede ser más fácil valorar algo como “un río en el que se puede nadar” (nivel de riesgo) que la “emisión de 1 kilogramo del pesticida X” (la cantidad de emisiones).

- **Sociedades con buena disposición para pagar**

La buena voluntad para pagar de una sociedad se puede derivar de decisiones políticas y gubernamentales, y en estos métodos se asume que la información importante sobre valores ambientales se puede derivar de dichas decisiones.

Una forma de derivar un “precio de sociedad” es estudiar los esfuerzos de las sociedades para evitar un daño. Un ejemplo de un método para llegar a una sociedad con buena disposición para pagar es estudiar los costos de reducir emisiones hasta un límite establecido. El costo de quitar el contaminante de la emisión final puede considerarse como el valor monetario que la sociedad le pone al contaminante.

Otra manera de obtener un “precio social” es mirar los “impuestos verdes”. Si hay impuestos sobre emisiones, estos impuestos se pueden considerar como sociedades con buena disposición para pagar (o con buena disposición para aceptar) ese contaminante específico. Los impuestos son colocados normalmente en intervenciones (emisiones y usos de recursos) más que en daños. Sin embargo, en algunos casos, son puestos en pasos anteriores a las emisiones, como en el uso de un producto o de un químico. Los impuestos también son utilizados para aumentar el presupuesto público. Sin embargo, los motivos detrás de los impuestos fiscales no afectan la valoración, porque sigue siendo una cuestión de prioridad el poner un impuesto en algo y decidir el tamaño del impuesto.

### **A.3.1.2. Métodos no basados en la buena disposición para pagar**

También hay varios métodos de monetización que no se basan en la buena disposición para pagar. Se basan, a menudo, en la estimación de un costo por hacer algo. Sin embargo si no está claro que alguien está dispuesto a pagar este costo, no es una medida de buena disposición para pagar.

Un ejemplo de este tipo de métodos es el costo de remediar un daño, que solamente es útil si el remedio es posible.

### **A.3.2. Evitar la combinación de métodos de monetización**

Debido a que distintos métodos de monetización cubren distintos tipos de valores, normalmente dan lugar a diversos resultados. Por ejemplo, en general, el valor económico total, según lo medido por el método de valoración contingente, es normalmente de una magnitud más grande que el valor económico derivado de las valoraciones del mercado, porque incluyen los valores de uso y los de no uso a diferencia de las valoraciones del mercado que solo incluyen los valores de uso. Por lo tanto, una suma expresada en unidades monetarias puede no ser directamente comparable a otra suma, expresada en las mismas unidades, porque pueden describir valores diferentes. Solo porque algo se expresa en términos monetarios no resulta inmediatamente comparable o se puede sumar a otra medida en la misma unidad. Si se utiliza un método de valoración de monetización, el mismo método debe, por lo tanto y de manera ideal, ser utilizado para derivar todos los valores económicos dentro del método (Göran, 1999).

## **LISTA DE FIGURAS**

- Figura 1.1. Modelos de medición
- Figura 2.1. Competitividad y sus indicadores parciales
- Figura 2.2. Eco-eficiencia y sus indicadores parciales
- Figura 2.3. Modelo de indicadores colombiano
- Figura 2.4. Representación gráfica de resultados
- Figura 2.5. Daño ambiental antes de implementar mejoras.
- Figura 2.6. Daño ambiental después de implementar mejoras
- Figura 4.1. Contaminación en hornos ladrilleros
- Figura 4.2. Proceso de fabricación de ladrillos
- Figura 4.3. Horno tradicional.
- Figura 4.4. Horno ecológico.
- Figura A.1. Análisis de ciclo de vida.
- Figura A.2. Pasos del análisis de ciclo de vida.

## **LISTA DE TABLAS**

- Tabla 2.1. Indicadores propuestos por el Departamento del medio ambiente y patrimonio del gobierno australiano
- Tabla 2.2. Indicadores básicos requeridos por el Departamento del medio ambiente y patrimonio del gobierno australiano
- Tabla 3.1. Consumo de agua
- Tabla 3.2. Agua recibida y su uso
- Tabla 3.3. Requerimientos de energía
- Tabla 3.4. Flujos y reservas de energía
- Tabla 3.5. Contribución al calentamiento global
- Tabla 3.6. Basura generada
- Tabla 3.7. Dependencia de SDO
- Tabla 3.8. Emisiones de SDO
- Tabla 4.1. Materia prima en ladrillos
- Tabla 4.2. Consumo de agua en ladrillera de Chiapas
- Tabla 4.3. Requerimientos de energía en ladrillera de Chiapas
- Tabla 4.4. Contribución al calentamiento global en ladrillera en Chiapas
- Tabla 4.5. Basura generada en ladrillera en Chiapas
- Tabla 4.6. Consumo de agua en ladrillera en Chihuahua
- Tabla 4.7. Requerimientos de energía en ladrillera en Chihuahua
- Tabla 4.8. Contribución al calentamiento global en ladrillera en Chihuahua
- Tabla 4.9. Basura generada en ladrillera en Chihuahua
- Tabla 4.10. Resultados finales de ladrilleras estudiadas



## ACRÓNIMOS

BCSD	Business Council for Sustainable Development (Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable)
CML	Centrum voor Milieukunde (Centro de ecología)
EPS	Environmental Priority Strategies
EVA	Análisis de Valoración Económica
GRI	Global Reporting Initiative
IPA	Impact Pathway Analysis
LCA	Análisis del ciclo de vida
NRTEE	The National Round Table on the Environment and the Economy
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNCED	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo
PyMES	Pequeñas y medianas empresas
SDO	Sustancias que deterioran la capa de ozono
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development