

La industria del vidrio y el medio ambiente: oportunidad y enfoque del Análisis del Ciclo de Vida

E. A. MARI

Consultor del Comité de Gestión Ambiental, Instituto Argentino de Normalización (IRAM), Perú 552 - (C1068AAB), Buenos Aires, Argentina

El avance en el conocimiento de la interacción de la actividad humana con el medio ambiente ha permitido sistematizar la información al respecto y desarrollar sistemas de evaluación de los resultados de dicha interacción que puedan brindar resultados confiables, útiles y comparables entre sí. Una herramienta sumamente eficaz en este sentido es el denominado Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que permite seguir paso por paso todos los procesos interactivos involucrados en una determinada producción, desde la extracción de los recursos naturales - renovables o no renovables - hasta el fin de la vida útil del producto y su vuelta al medio ambiente. La acumulación ordenada de este conocimiento permite profundizar en el estudio del denominado Ciclo Minerales-Materiales (CMM), que describe los resultados de la superposición de los ciclos antrópicos con los ciclos naturales. En el presente trabajo se examina la aplicación del ACV al caso de la fabricación de productos de vidrio, en particular envases, tomando como base las normas ISO 14040 a 49, así como las oportunidades y desafíos que implican estos procedimientos para la industria vidriera.

Palabras clave: vidrio, envases, medio ambiente, reciclado, análisis de ciclo de vida

Glass industry and environment: opportunity and approach of the Life Cycle Analysis

The advances in the knowledge of the interaction of human activities with the environment has enabled us to study systematically the available information and to develop assessment systems that permit to have reliable, useful and intercomparable results. A very useful tool for such scope is the Life Cycle Assessment (LCA), which permits to follow stepwise all the interactions involved in a given manufacturing process, from extraction of natural resources up to the end of the useful life of the product and its return to environment. The ordered accumulation of information permits to deep into the so-called Minerals-Material Cycle (MMC), which describes the results of the superposition of anthropic and natural cycles. In the present work the application of LCA to the case of glass products manufacture is examined, in particular to glass containers, using the ISO Standards 14040 to 49. The opportunities and challenges that these procedures involve for the glass industries are also examined.

Keywords: glass, containers, environment, recycling, life cycle analysis.

1. INTRODUCCIÓN

El Ciclo Minerales - Materiales (CMM) describe el resultado de la superposición de los ciclos antrópicos con los ciclos naturales. Los primeros se refieren a aquéllos originados por el hombre, desde la minería de los recursos naturales no renovables, sean ellos inorgánicos (minerales metalíferos, minerales no metalíferos, rocas) u orgánicos (gas, petróleo carbón), pasando por su procesamiento y la fabricación y uso de materiales y productos hasta, una vez concluido el ciclo de vida de éstos últimos, su reciclado o su dispersión en el ambiente. Los segundos son los ciclos geofísicoquímicos, o transformaciones espontáneas que tienen lugar en la corteza terrestre y en particular en la biosfera (1). La figura 1 esquematiza el CMM, poniendo de relieve que la fabricación y el uso de un determinado material o producto implica interactuar con el medio ambiente en más de una etapa del ciclo, y que es la suma de estas interacciones la que deberá tenerse en cuenta de alguna manera en la evaluación global de la interacción de la acción humana con el medio natural para cada caso en particular. En la figura, y por razones de claridad, se ha indicado solamente el ciclo de materia y no los intercambios de energía que tienen lugar en cada etapa del proceso. Por otra parte, el CMM indica también claramente cuál es la fuerza

impulsora de todo el ciclo: la fabricación de materiales o la producción de energía para satisfacer los requerimientos de su consumo, y no ya simplemente la explotación de algún recurso natural por sí mismo. Ello implica que son las industrias productoras y transformadoras de materiales (metálicos, plásticos, cerámicos, compuestos) las que están involucradas en el CMM, y en la totalidad del ciclo, no en alguna parte del mismo solamente.

El estudio del impacto de las actividades humanas en la biosfera es indudablemente complejo, si bien en los últimos años se han realizado avances muy importantes en lo que respecta a su metodología. Es hoy aceptado que para estudiar científicamente dicho impacto y sus consecuencias, es necesario analizar cada etapa, específicamente para cada elemento, mineral, sustancia o material y tipo de energía, según el caso, para una época determinada y para un lugar geográfico (país, región, empresa) definido. Las normas ISO de la serie 14040 (2) constituyen a este respecto una herramienta útil para efectuar los estudios tan detallados como sea posible, siempre que los datos necesarios estén disponibles o puedan recolectarse sin dificultades o alteraciones, y que para su recolección y procesado se utilice una metodología científica.

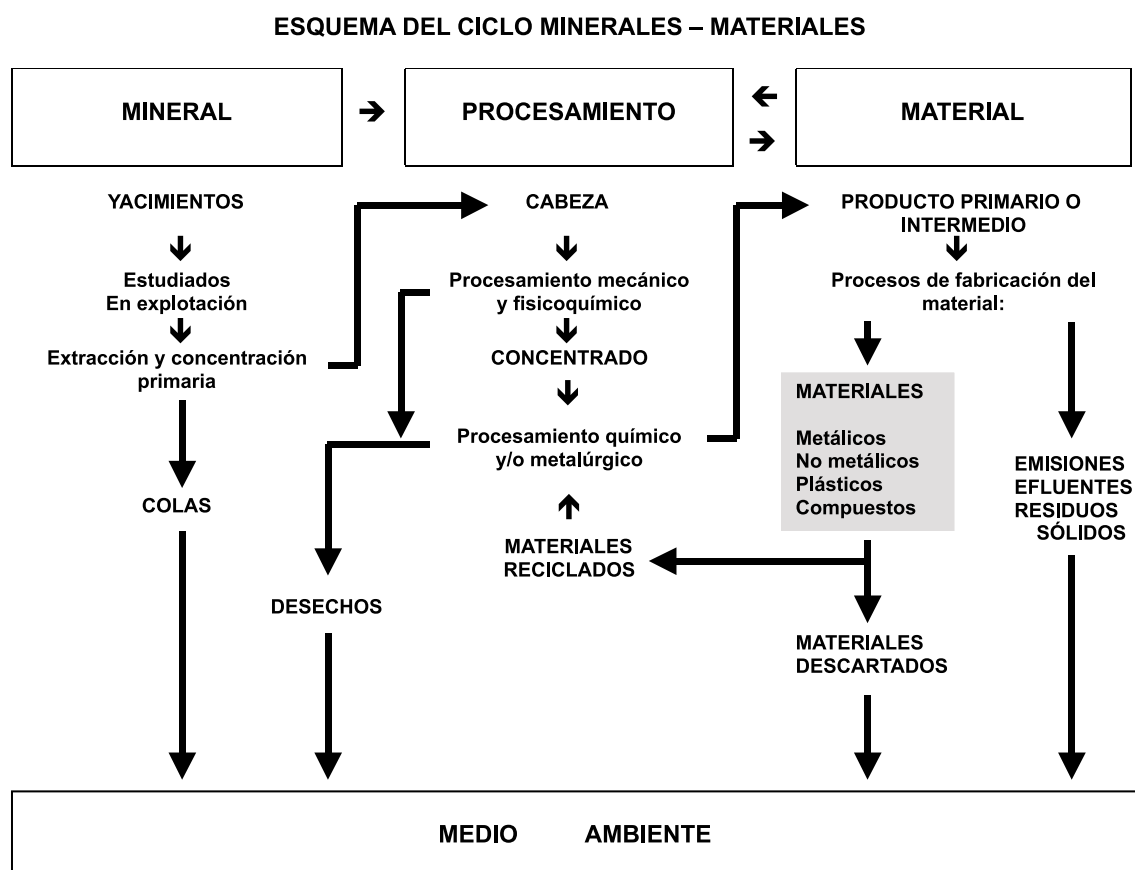


Figura 1.

De acuerdo con la norma ISO 14040, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) constituye una técnica para evaluar los impactos medioambientales potenciales o reales asociados con un Sistema Producto (SP) haciendo un inventario de todos los ingredientes del proceso, y llevando a cabo tres balances: un balance de masa, un balance de energía, y una evaluación de impacto ambiental. Este último incluye tres aspectos principales: el consumo de recursos naturales, la salud humana y las consecuencias ecológicas. El ACV ha demostrado ya su potencial para un amplio rango de aplicaciones industriales (3,4).

En el caso particular de las industrias vidrieras, la correcta aplicación del ACV permite ajustar y optimizar aspectos del proceso de manufactura teniendo en cuenta los impactos finales sobre la biosfera, y por lo tanto no ya remediar el daño que ya ha sido hecho, sino prevenirlo mediante oportunas modificaciones de los procesos productivos que lleven a la utilización de "tecnologías más limpias". En otras palabras, trabajar al comienzo de la línea de producción y no al final. Al mismo tiempo se facilita el cumplimiento de reglamentaciones y regulaciones ambientales, y se contribuye al principal objetivo que es el desarrollo sostenible. Para lograr ello, el CMM debe ser subdividido en tantos ciclos individuales como sea necesario, definiendo para cada uno de ellos el SP de la manera más precisa posible, y aplicando a cada uno el ACV. En este trabajo se examinará en particular el caso de los envases de vidrio, pero se puede aplicar el mismo esquema de trabajo para cualquier otro producto.

2. LA DEFINICIÓN DEL SISTEMA PRODUCTO (SP)

La clave para el éxito del ACV es la correcta definición del SP en cada caso (es decir, la definición precisa de los límites espaciales y temporales del sistema). Según la norma ISO 14040, un SP es el conjunto de procesos unitarios materialmente y energéticamente conectados que cumplen una o más funciones definidas, desde el ingreso de las materias primas hasta la dispersión final. Si bien la definición del SP es una cuestión de conveniencia, algunas reglas prácticas pueden ser útiles:

A) El sistema debe referirse a un producto bien definido, no a un material (como "vidrio" en general) ni a un producto muy genérico (como "envases de vidrio" en general).

B) El SP debe estar referido a un lugar y a un lapso de tiempo preciso (por ejemplo: "botellas de vidrio ámbar de un litro, UK, 2000", o bien: "frascos tipo X, horno 2, diciembre 2001").

C) La designación del SP debe ser clara y no permitir ambigüedades.

Este procedimiento puede aplicarse a uno o más fabricantes, a uno o más países de una región, etcétera, pero es siempre conveniente sumar varios SP puntuales (por ejemplo, varios productores de botellas de cerveza de una zona) antes que tomar como SP el universo total "botellas de cerveza" y dividirlo.

En la figura 2 (comparar con la figura 1), se esquematiza

ESQUEMA GENERAL DEL SUB-CICLO: ENVASES DE VIDRIO

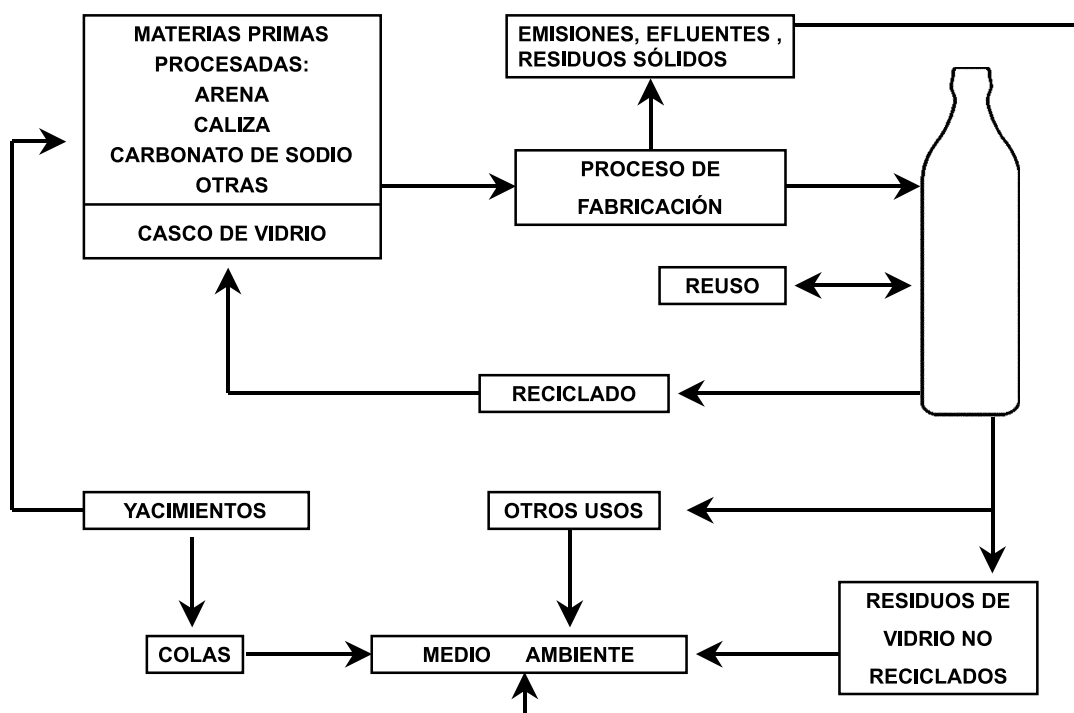


Figura 2.

de manera general el ciclo de los "envases de vidrio", dentro del cual pueden originarse numerosos SP. Se observa que pese a su aparente simplicidad la realización de los balances de masa y energía pueden complicarse al tener en cuenta sub-ciclos de reuso y de reciclado. Aquí resulta conveniente dividir el ciclo general en ciclos más pequeños que luego se interconectarán entre sí dando origen a diversos SP, como muestra la tabla 1 para el caso de diversas materias primas y fuentes de energía. Pero cada SP debe ser integrado en sí mismo. Por ejemplo, el estudio del sub-ciclo de reuso deberá considerar la energía consumida en el transporte de las botellas, en las operaciones de lavado, etc.

Otra consideración que puede hacerse es que el lenguaje utilizado debe ser lo más preciso posible. Por ejemplo, el término "arena" debe ser convenientemente calificado de acuerdo con su pureza y otras características: no es lo mismo la arena que está al borde de un río que la arena que entra al horno con la mezcla de materias primas

Procediendo de esta manera, el "ciclo de los envases de vidrio" (uno de los tantos integrantes del CMM), puede ser estudiado cuantitativamente y puede llevarse a cabo el análisis del inventario para cada SP. (Se insiste en el aspecto cuantitativo pues de otra manera el ACV no tendrá ningún valor). La consideración del vidrio reciclado de origen externo como un SP separado es muy importante, dado que permite calcular con precisión las masas de materias primas y las cantidades de energía ahorradas. Para el vidrio reciclado de

TABLA 1. EJEMPLOS DE SISTEMAS PRODUCTO SECTORIALES DENTRO DEL CICLO GENERAL "ENVASES DE VIDRIO".

Sistema producto	Materia prima	Producto final según especificaciones
Arena	Arena natural	Arena para vidrio
Soda Solvay	Caliza, NaCl	Soda para vidrio
Carbonato de sodio	Na ₂ CO ₃ natural	Soda para vidrio
Vidrio externo	Casco	Vidrio reciclado
Energía	Fuel-oil	Emisiones gases
Energía	Gas natural	Emisiones gases
Energía	Electricidad	Emisiones gases

origen interno, deberá decidirse la forma de cálculo del balance de masa y de energía según su importancia relativa.

La asignación de factores (principalmente el consumo de energía) a cada etapa constituye otra operación de fundamental importancia en el ACV.

3. EL IMPACTO AMBIENTAL DEL VIDRIO Y DE LOS PRODUCTOS DE VIDRIO

En el caso de los envases de vidrio resulta siempre necesario enfatizar el hecho de que el vidrio no es en sí un material contaminante, sino que su reciclado se ha impuesto - prácticamente desde los comienzos de la industria vidriera - porque significa un ahorro muy importante de materias primas y energía extraídas de recursos naturales no renovables. Estos ahorros, así como el reconocimiento de la naturaleza no contaminante de este material, han sido históricamente muy importantes para la industria del vidrio. Es interesante considerar que cuanto mayores sean las tasas de reciclado, más disminuirá el carácter de "no renovable" de los recursos minerales utilizados. Es decir, en este caso el ACV no solamente sirve para determinar el grado de impacto negativo sobre el medio ambiente, sino que pondrá de manifiesto el impacto positivo.

Los impactos ambientales del vidrio deben ser buscados más en su proceso de fabricación que en sus productos, y allí cada uno de los integrantes del inventario debe ser considerado de acuerdo al SP elegido (ver tabla 1). La tabla 2 muestra que los más importantes problemas de contaminación están en las emisiones gaseosas. El grado de dicha contaminación depende de la calidad de las materias primas y de los combustibles utilizados, y esto varía mucho de un país al otro, y aun de una planta a otra. Por ejemplo, es notorio que el gas natural origina mucha menor contaminación que los combustibles líquidos derivados del petróleo. Sin embargo, en cualquier caso la contaminación por emisiones a la atmósfera puede reducirse eficazmente por medio de sistemas adecuados de lavado de gases (5). La posibilidad de emisiones gaseosas originadas en el casco de vidrio también puede ser controlada (6). Tanto las materias primas como los combustibles deben ser sometidos a exhaustivos controles y auditorías, para garantizar que tanto los hornos de fusión como los de recocido no sean una fuente de contaminación atmosférica. En lo que respecta a la presencia de plomo y otros metales pesados en las emisiones gaseosas, puede tener origen tanto en el tipo de combustible usado (los combustibles líquidos derivados del petróleo más que el gas natural), como en la presencia de fragmentos de plomo metálico en el casco de vidrio. Ambas situaciones pueden controlarse eficazmente gracias al avance tecnológico.

Los informes técnicos de la ISO (TC, Technical Reports ISO 14047, 14048 y 14049), (7), contienen ejemplos tomados de la industria, y clasifican los impactos ambientales en categorías. La tabla 2 presenta en forma sintética la clasificación adaptada al caso de la producción de envases de vidrio.

4. OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS PARA LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

Los vidrios industriales fabricados hoy en día para los más variados usos involucran SP muy diferentes (envases de vidrio en sus diferentes variedades, vidrios planos, tubos para pantallas de TV y monitores de PC, vajilla, fibras, y muchos otros vidrios especiales para usos eléctricos, electrónicos, ópticos, etcétera). Cada uno de ellos requiere un enfoque específico del ACV que tenga en cuenta distintas características de las materias primas, sistemas particulares de reciclado y diferentes metodologías de evaluación para calificar los respectivos impactos ambientales. El ACV es asimismo la base necesaria para establecer escenarios de referencia, eco-índices y eco-eti-

TABLA II. ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO

Categoría de impacto	Substancias involucradas	Unidad
Cambio climático	CO ₂	kg CO ₂ equiv.
Acidificación atmosférica	SO ₂ , NO _x	kg SO ₂ equiv.
Toxicidad humana	SO ₂ , NO _x , otros	ppm
Disminución de reservas minerales	Materias primas minerales	kg
Polvos	Tipos de polvos	% m/v en aire

quetados, así como escalas de ponderación para comparar y cualificar productos (8). Y desde un punto de vista medioambiental general, la aplicación sistemática del ACV permitirá acumular valiosa información, cualitativa y cuantitativa del impacto sobre el medio ambiente de las actividades industriales, y perfeccionar nuestro conocimiento del CMM.

En el caso de los envases, aún siendo reconocido el vidrio silicato sódico-cálcico como uno de los materiales más inertes para la conservación prolongada química y bacteriológica de alimentos y bebidas, y que los envases de vidrio pueden ser reusados y reciclados sin ningún tipo de restricciones, estas características deben ser siempre explicadas y demostradas en cada caso (9). Los fabricantes no deben perder oportunidad de sostener dichas afirmaciones con todos los datos técnicos disponibles, pero es necesario demostrar también que el proceso de fabricación de los vidrios, tomado globalmente, implica hoy en día tecnologías mucho más limpias que antes (la imagen de las chimeneas es aún inevitable). Y que es necesaria una inversión aún mayor en I+D para perfeccionar las tecnologías en uso. En este sentido, el enfoque del ACV puede ser muy útil para tal fin, tanto al interno de las plantas como hacia fuera, hacia la sociedad.

4.1. Oportunidades

El ACV ha sido propuesto en general como una herramienta útil para la optimización con objetivos múltiples de los sistemas productivos, con el objeto de identificar y seleccionar las mejores opciones posibles para la gestión ambiental de un dado SP (10). El caso del vidrio es, en este sentido, muy ilustrativo.

En lo interno de las plantas, el ACV puede ayudar a desarrollar tecnologías más limpias y a planificar estratégicamente su implementación. El diagrama de flujo de una planta de vidrio es lineal y simple, y cada punto del mismo puede ser adecuadamente controlado. Los datos necesarios para aplicar el ACV deben estar disponibles, y los parámetros operativos deben ser fácilmente modificables. Su aplicación puede dar la oportunidad de racionalizar tanto secciones del ciclo como su totalidad. Cuando se lo aplica a materias primas y a fuentes de energía, el ACV es sumamente útil para establecer los estándares de calidad y pureza a demandar de los proveedo-

res. También encuentra aplicación directa en el desarrollo y mejora de los productos, así como en definir las especificaciones finales de los mismos de acuerdo con los requerimientos de los usuarios. La aplicación del ACV al vidrio reciclado es también muy importante para requerir niveles de calidad constantes por parte de las plantas de purificación, así como para demostrar la relación amigable del vidrio con el medio ambiente.

Hacia el exterior de las plantas, el ACV encuentra aplicación directa en el establecimiento de políticas comerciales pero también, por supuesto, en la demostración del cumplimiento de los requerimientos legales en lo que hace al cuidado de los recursos naturales y a la contaminación del medio ambiente.

4.2. Desafíos

Dentro de las fábricas es necesario establecer un sistema eficiente de recolección de datos en lo posible automatizado y actualizado permanentemente, así como un programa informático de análisis de los mismos disponible en cada momento. Aquí pueden surgir complicaciones en el caso de cambios en la composición de la mezcla, o cuando se fabrican diferentes productos en una misma línea, por lo que los sistemas deben ser lo suficientemente elásticos. La carga del vidrio reciclado debe controlarse especialmente dado su predominio relativo en la mezcla.

Pero el desafío más importante viene de afuera de la planta: la cuestión de los materiales sustitutos. El ACV no ha sido diseñado para hacer comparaciones entre materiales y su impacto sobre el medio ambiente, ni entre diferentes productos fabricados con el mismo material. En rigor, sólo pueden compararse los ACV de aquellos SP definidos dentro del mismo objetivo, o bien los ACV de los mismos SP pero producidos en diferentes períodos de tiempo. Pese a ello, el ACV puede ser de ayuda para establecer las razones para la definición de qué productos son preferibles desde el punto de vista ambiental. Teniendo en cuenta los cambios en los requerimientos de los mercados, por una parte, y la evolución de los criterios con los que se emiten las leyes y regulaciones

ambientales, puede ser un auxiliar importante en ambos casos, asegurando la objetividad. Para la industria vidriera, el verdadero desafío es mantener el ACV de sus diferentes productos actualizado, disponible y auditable en todo momento.

Es indudable el importante papel que pueden jugar los Institutos de Investigación colaborando con las empresas productoras y utilizadoras de envases de vidrio, o de cualquier producto en general, para desarrollar las bases científico-tecnológicas de las tareas que demande un ACV. Ello contribuirá sustancialmente, no sólo a la ejecución adecuada de las formalidades que involucra, sino a la detección y al mejoramiento de los procesos en línea de producción y en las etapas de control, tanto sobre el producto como sobre el ambiente, así como a garantizar los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. A. Mari, "El reciclado del vidrio: un caso especial del ciclo minerales-materiales". En: "El vidrio reciclado en la fabricación de envases". Ed. A. Durán. Red Iberoamericana sobre Ciencia y Tecnología de Materiales Vítreos, CYTED, Madrid (2000).
2. ISO Standards for Environmental Management. Life Cycle Assessment 14040: Principles and framework; 14041: Goal and scope definition and inventory analysis; 14042: Life cycle impact assessment; 14043: Life cycle interpretation.
3. P. Fullana, y R. Puig, "Análisis del ciclo de vida", Rubes, Barcelona (España)1997.
4. M. A. Curran, "Environmental Life Cycle Assessment". McGraw Hill, New York (USA)1996.
5. D. Detry and A. Steenhoudt. "Reducing atmospheric emissions by primary measures: from theory to practice". En: "Proc. Glass in the new millenium", ICG, Amsterdam (2000), p. 6-13.
6. B. M. Scalet "Impact of recycling glass and filter dust on glass furnace emissions". En: *Ibid.*, p. 1-5.
7. ISO Standard 14047: Illustrative examples; 14048: Data document format; 14049: Illustrative examples.
8. ISO Standard 14020: Environmental labels and declarations.
9. E. A. Mari, E.A. "Ecology: Glass recycling and environmental pollution". Glass Machinery Plants and Accessories, (Milan, Italia)8, 1, (1995), págs. 93-97.
10. A. Azapagic, "Life cycle assessment and multiobjective optimisation".

Recibido: 17.12.01

Aceptado: 20.01.02