

APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA, PARA EVALUAR TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTALMENTE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LA PRODUCCIÓN DE PAPEL

APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT IN EVALUATING ALTERNATIVES FOR TECHNICAL, ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT IN THE PRODUCTION OF PAPER

BERLAN RODRÍGUEZ PÉREZ¹

RECIBIDO: 12-03-10

ACEPTADO: 21-10-10

¹ Universidad de Cienfuegos, Provincia de Cienfuegos, Cuba.

E-mail: brguez@ucf.edu.cu

RESUMEN

En la Planta Industrial Damují de la Provincia de Cienfuegos, Cuba, se produce una gran parte del papel kraft empleado en las cajas de cartón que se usan como envases y embalajes. Esta empresa ha presentado diversos problemas con las autoridades ambientales por la contaminación que genera a su río homónimo, hacia el cual vierten sus efluentes líquidos y por las emisiones de gases y el consumo excesivo de su caldera de generación de vapor. El proceso de producción estaba sujeto a la introducción de tres posibles mejoras: cierre del circuito de agua, el cual permitiría reutilizar el agua en el proceso reduciendo su consumo actual y el uso de aditivos químicos, los cuales también se recuperan; cambio de la caldera de generación de vapor por una más eficiente, lo cual disminuiría la cantidad de vapor generado por unidad de combustible; la otra posible alternativa, era la reactivación del sistema de residuales de la planta, el cual se encontraba en muy mal estado. El presupuesto de la entidad no era suficiente para llevar a cabo todas estas mejoras y se requería priorizarlas. Es por ello que se debieron aplicar estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la simulación del proceso, para evaluar técnica, económica y ambientalmente las alternativas y de la mejor, encontrar una respuesta acorde con su contexto realístico. Según esta investigación se determinó que se pueden ejecutar, el cambio de la caldera y la reactivación del sistema de residuales o el cierre del circuito de agua, decidiéndose por esta última según los criterios planteados.

Palabras clave: industria de celulosa y papel, ecoeficiencia, impactos ambientales, mejoras tecnológicas.

ABSTRACT

Industrial Plant Damují In the province of Cienfuegos, Cuba, there is a large part of the kraft paper used in the cardboard boxes used as packaging. The company has presented several problems with the environmental pollution generated by its namesake river, into which pour their liquid effluents and gas emissions and excessive consumption of boiler steam generation. The production process was subject to the introduction of three possible improvements: closing the water loop, which would allow water reuse in the process reducing their current consumption and use of chemical additives, which are also recovered, changing boiler steam generation more efficient, thus reducing the amount of steam generated per unit of fuel, the other alternative, was the revival of the waste system of the plant, which was in very bad condition. The agency's budget was not sufficient to carry out these improvements and prioritize required. That is why studies were due to apply Life Cycle Assessment (LCA) and process simulation, to evaluate technical, economic and environmentally friendly alternatives and better, find an answer in line with realistic context. According to this research found that can run, changing the recovery boiler and wastewater system or close the water circuit, opting for the latter according to the criteria proposed.

Key words: pulp and paper industry, eco-efficiency, environmental, technological improvements.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se contextualiza y tiene como objetivo principal la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la simulación del proceso de manufactura de celulosa y papel de la Planta Industrial Damují de la Provincia de Cienfuegos, Cuba, donde se produce una gran parte del papel kraft empleado en las cajas de cartón que se usan como envases y embalajes. Se realizó un proceso de evaluación técnica, económica y ambientalmente de las alternativas de solución a diversos problemas que ha venido presentando esta industria, y donde las autoridades ambientales de la región, han exigido resolver la contaminación que genera ésta a su río homónimo, donde se vierten sus efluentes líquidos, se generan emisiones de gases y existe un consumo excesivo de su caldera de generación de vapor.

2. CARACTERIZACIÓN ADMINISTRATIVA DE LA PAPELERA DAMUJÍ

La entidad perteneciente al Grupo Empresarial de la Industria Química, subordinada al Ministerio de la Industria Básica, se encuentra situada en el poblado de constancia, Municipio de Abreus de la provincia de Cienfuegos. Su área de emplazamiento es de 4 hectáreas, su capacidad de producción es de 24.000 T/año y la misma funciona desde el año 1962, teniendo para la fecha de realización de la investigación un personal en plantilla de 216 trabajadores. Esta fábrica se dedica a la conformación de medio para ondular, linner, papel de envoltura y cartulina los cuales se comercializan en resmas y bobinas. En la actualidad la elaboración de medio para ondular representa su tipo de producción fundamental.

El objeto empresarial de la entidad está planteado como sigue: producir y comercializar de forma mayorista medios para ondular, cartulina, papel de envoltura, y linner en bobinas

o resmas según corresponda, tanto en moneda nacional así como en divisas extranjeras. Por lo que el Consejo de Dirección plantea que su misión es: producción y comercialización mayorista en moneda nacional y divisa, de medio para ondular, papel, cartulina y linner en bobinas, cumpliéndose con los requerimientos de los clientes en calidad, oportunidad y precios, lográndose con eficiencia y eficacia.

La visión de futura que tienen los directivos de la entidad es: ser la UEB cubana líder en la producción de medio para ondular y papeles de envolver con destino al mercado nacional y para la exportación, en el mercado del área de Centroamérica y del Caribe, con parámetros que alcancen los de los competidores en esta área en calidad y costos.

La Dirección Comercial es la encargada de realizar las contrataciones a través de QUIMIMPEX, la firma comercial Cubana importadora y exportadora para los productos del papel, en cuanto a la importación de los suministros de las materias primas y materiales necesarios, fundamentalmente de los papeles reciclados tipo kraft y gaceta, de equipos y de repuestos específicos, paños y mallas, AKD, parafina, almidón, catalizador para adhesivo, acetato de polivinilo, dextrina, papel kraft extensible y plano, linner de fibra virgen, tintas, etc. Además de contratar la venta de las producciones tanto en el mercado extranjero como en el nacional.

3. ANÁLISIS DE LOS RESIDUALES FABRILES MÁS INCIDENTES EN EL RIO DAMUJÍ.

Cuando se analizan los residuales más impactantes de la papelera, estos resultan ser:

- *Licor negro (fuerte y débil)*. Este contaminante es resultado de la cocción del bagazo en el digestor mediante vapor seco sobrecalentado y la adición de agua con una concentración al 6 % de Sosa Cáustica, por

lo que a su disposición final implica una amplia gama de contaminantes sumamente tóxicos; el nombre dado a este tipo de contaminante en las industrias papeleras, "licor negro", denota el color extremo que toma el agua, así como el nivel dañino a organismos vivos que interactúen con ella.

- **Sólidos en Suspensión.** Este contaminante está presente en todas las aguas vertidas por la papelería, son resultado del proceso productivo, cuando este realiza necesarias operaciones clasificatorias y de separación de fibras indeseadas (meollos) que van a parar directamente sin ningún tipo de tratamiento a las zanjas de residuales de la fábrica camino al río.

A continuación los cuadros 1, 2 y 3 presentan los datos utilizados para evaluar los impactos según la producción del año 2008.

La calidad de las aguas en el río Damují, cercano a la empresa, y receptor de las aguas residuales de la misma, se evalúa periódicamente considerándose como "mala" ya que los índices obligatorios (DBO5, DQO, O2, PH) no deberían haber presentado problemas, sin embargo muestran los siguientes comportamientos:

- La DBO5 de todos los años está por encima de lo estipulado en las normas cubanas para la buena calidad de cuerpo de agua dulce para uso pesquero, en el 100% de los factores analizados.
- La DQO solo reportó en los años 2007 y 2008 una cierta recuperación, pero con respecto a los demás valores está en una situación desfavorable.
- El Oxígeno disuelto, a pesar de que no existe en la norma citada anteriormente, se pueden apreciar valores críticos y de poca saturación.
- Los valores del PH se encuentran dentro de los estipulados por la norma cubana.

Producción real	4313,00 t papel
Consumo de agua fresca	365.188,00 m ³
Índice de consumo de agua	84,67 m ³ /t ppl
Consumo de agua fresca	15.218,25 m ³
Aguas residuales vertidas	349.969,75 m ³
Índice de vertido	81,14 m ³ /t ppl
Costo del vertido residual	6999,395 \$
Costo de agua fresca	7303,76 \$

Indicador	UM	2008
Electricidad Gen	MWh	4.369,957
Electricidad Fábrica	MWh	3.639,957
Electricidad parada	MWh	348,362
Electricidad Producción	MWh	3.291,595
Fuel Oil(Crudo N.)	t	1.296,826
Combustible Diesel	t	43,443
Diesel Directo	t	27,574
Diesel Indirecto	t	15,869
Gasolina Regular	t	8,041
Gasolina Directa	t	
Gasolina Indirecta	t	8,041
Aceites Lubricantes	t	5,442
Grasas Lubricantes	t	0,1840
Gas Licuado(GLP)	t	0,7200
Combustible Eq.	t cc	4.166,734
Producción en UF	t	4.313,130
Producción MP	t	2.394,879
Intensidad energética	kg cc/peso	1,740
Agua	m ³	365.188,28
Vapor	t	16.057,393

Indicadores	Cantidad (t)
Recorte	1,254
Pulpa de bagazo	0,077
Hipoclorito de Sodio	0,05100
NaOH (Máquina)	0,00020
NaOH (Pulpa)	0,113
Bagazo	3,409
Hidrato de Cal	0,0020
Carbonato de Sodio	0,00014
Fosfato de sodio	0,00001
Sulfito de Sodio	0,000003
Cloruro de sodio	0,00048
Almidón	0,00100
% Fibra	133,1

CUADRO 1.
Datos relacionados con utilización del agua para el año 2008.

CUADRO 2.
Indicadores de consumo energético para el año 2008.

CUADRO 3.
Indicadores de consumo de materias primas para el año 2008.

Cuando algunos de los parámetros muestreados que pertenecen a los índices obligatorios se evalúa de malo, automáticamente la calidad del agua se evalúa como tal.

4. ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA LA MEJORA DEL PROCESO

El impacto ambiental de la papelera será estimado a partir de la aplicación de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), ya que esta es, a opinión del autor del presente trabajo, la herramienta más completa de evaluación. Por lo que se seguirán los pasos descritos en la metodología de la norma internacional ISO 14.041.

El proceso de producción estaba sujeto a la introducción de tres posibles mejoras:

- Cierre del circuito de agua, el cual permitiría reutilizar el agua en el proceso reduciendo su consumo actual y el uso de aditivos químicos, los cuales también se recuperan.
- Cambio de la caldera de generación de vapor por una más eficiente, lo cual disminuiría la cantidad de vapor generado por unidad de combustible;
- Reactivación del sistema de residuales de la planta.

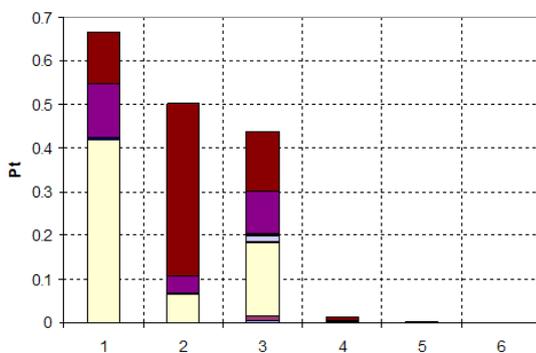


FIGURA 1. Comparación de las sustancias con mayor contribución ambiental.

LEYENDA: 1. Petróleo Crudo Cubano; 2. Diesel; 3. Agua; 4. NaOH; 5. Aceites y Lubricantes; 6. Otros (el resto de las materias primas).

La materia prima que tiene una mayor contribución en la producción de 1t de papel es el Petróleo Crudo Cubano con un 43%. Para identificar con mayor precisión cuál o cuáles de las materias primas utilizadas tienen un mayor impacto ambiental se comparan usando el método Impcat 2002+, mostrado según su impacto en la figura 1.

Esto se debe al uso diario que tiene el crudo y principalmente a las emisiones que tiene la combustión de crudo para la producción diaria, en el generador de vapor. Estas emisiones son: 8.2 t de dióxido de azufre (SO₂) que se analiza dentro de la categoría de respiración de sustancias inorgánicas teniendo un efecto local; además es una sustancia que causa acidificación terrestre y acuática, donde ambas categorías tiene un efecto regional.

Con las figura 2 se demuestra que las emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) son las de mayor impacto en la categoría de respiración de sustancias inorgánicas. La figura 3 expone las emisiones de 168.96 t de Dióxido de Carbono (CO₂), la cual es una sustancia causante del calentamiento global. En el gráfico se visualiza claramente la importancia de reducir las emisiones de esta sustancia, por la gran contribución que tiene y los efectos que esto puede traer.

A partir de un diagrama de Pareto, es posible comprobar que las categorías de impacto causantes del impacto ambiental que genera la producción de 1t de papel, son la respiración de sustancias inorgánicas, el uso de energías no-renovables y el calentamiento global, siendo necesario buscar y comprobar cuáles son las medidas a tomar para mitigar el problema detectado en cuanto a las emisiones de dióxido de azufre y dióxido de carbono (Figura 4).

4.1 VARIANTE DE SOLUCIÓN I: CIERRE DEL CIRCUITO DE AGUA

Esta variante de solución consiste en almacenar el agua resultante del proceso de producción en un tanque, desde el cual se procederá a extraer los sólidos en suspensión y los compuestos químicos utilizables del *Licor Negro* que permanecen en el agua para su posterior uso en el proceso. Con esta forma de empleo del agua se podrá disminuir los bombeos de agua desde el pozo que abastece a la empresa, reduciendo también los vertidos de agua residual hacia el río.

El impacto directo de esta medida, podrá verse manifestado en la disminución de los valores de electricidad consumida, relacionados con el bombeo de agua desde el pozo, así como la reducción de materias primas utilizadas para su tratamiento.

El impacto sobre el índice de consumo de agua que tendrá esta medida implicará una disminución desde 84.67 m³/t papel a unos 4.5 m³/t papel. Medida que además reducirá el consumo anual de la planta de 3639,957 MW/h a 1310.384 MW/h, un 64 % de disminución (Figura 5).

Como se puede apreciar se evidencia una disminución del impacto ambiental de la empresa al aplicar la variante I de solución. Los resultados de la valoración económica con la aplicación de esta variante de solución son los siguientes:

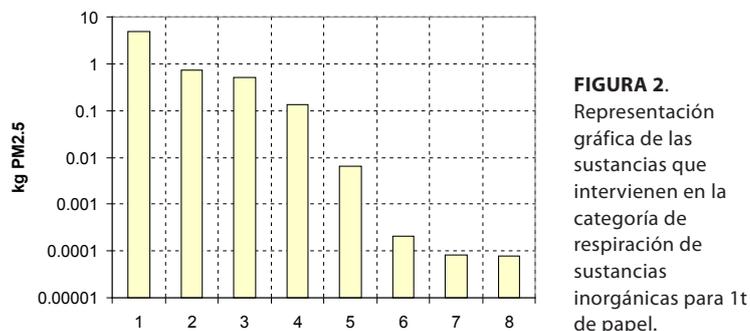
$VAN(Valor Actual Neto) = 3206125.93 USD$

$PRI(Periodo de Recuperación de la Inversión) = 1.5 años$

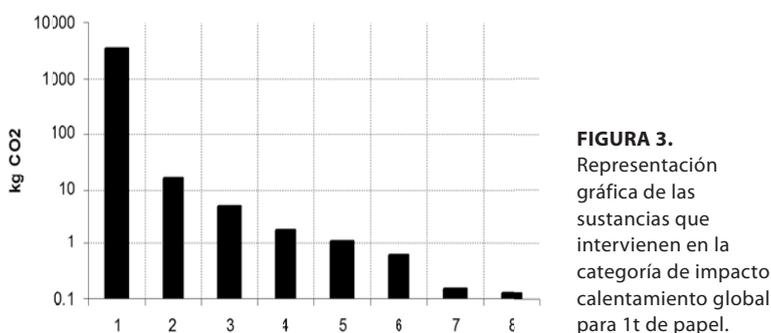
$TIR(Tasa Interna de Retorno) = 26.2\%$

4.2 VARIANTE DE SOLUCIÓN II: CAMBIO DE LA CALDERA

Con la aplicación de la medida anterior se reduce considerablemente el impacto ambiental pero se sigue emitiendo CO₂, emisiones de dióxidos de azufre y otras sustancias inorgánicas que provocan calentamiento global y pueden ser inhaladas por lo seres humanos incidiendo en la salud.



LEYENDA: 1. Dióxido de Azufre (SO₂); 2. Óxidos de Nitrógeno (NO_x); 3. Partículas, < 2.5 um; 4. Óxidos de Azufre (SO_x); 5. Amoníaco (NH₃); 6. Partículas, < 10 um (estacionarias); 7. Monóxido de Carbono (CO); 8. Partículas, < 10 um (móviles).



LEYENDA: 1. Dióxido de Carbono (CO₂); 2. Monóxido de dinitrógeno (NO₂); 3. Metano, fósil (CH₄); 4. Monóxido de Carbono (CO); 5. Hexafluoruro de Azufre; 6. Tetrafluoruro Metano (FC-14); 7. Hexafluoruro Etano (HFC-116); 8. Tetrafluoruro Etano.

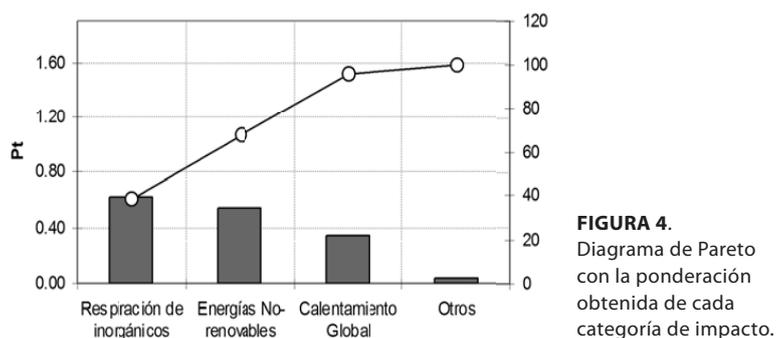


FIGURA 4. Diagrama de Pareto con la ponderación obtenida de cada categoría de impacto.

El cambio de la caldera requiere de una inversión la cual estará sobre los 4.060.800 dólares. Utilizando el método de Análisis de Ciclo de Vida se procede a comparar los resultados que tendrá la aplicación de esta medida (Figura 6).

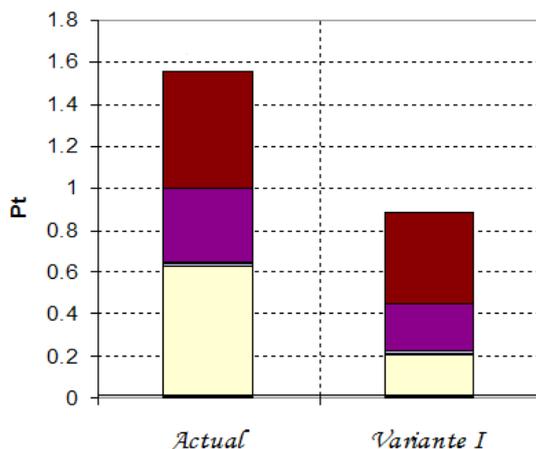


FIGURA 5. Comparación de impacto ambiental del proceso actual y con la aplicación de la variante I.

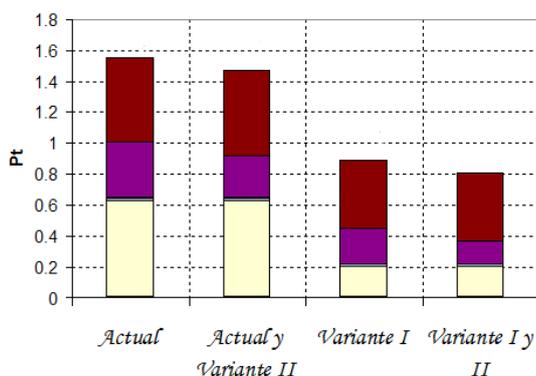


FIGURA 6. Comparación de las variantes propuestas con respecto a la producción actual de 1t de papel.

Los resultados de la valoración económica con la aplicación de esta variante de solución son los siguientes:

$VAN(\text{Valor Actual Neto}) = 65567.54 \text{ USD}$

$PRI(\text{Período de Recuperación de la Inversión}) = 7.5 \text{ años}$

$TIR(\text{Tasa Interna de Retorno}) = 13.2\%$

4.3 VARIANTE DE SOLUCIÓN III: REACTIVACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUALES DE LA PLANTA

La reparación del sistema de tratamiento de la planta ha sido lograda a partir de la implementación de un proyecto de desarrollo del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente del país, este proyecto financió la realización de todos los trabajos relacionados con la planta de tratamiento. Este proyecto se llevó a cabo en los primeros meses del presente año 2009, por lo

que los valores de impacto después de la puesta en marcha de la planta remodelada no están disponibles aún.

5. CONCLUSIONES

Un Análisis del Ciclo de Vida con el uso del software SimaPro 7.1 mostró que las categorías de impacto más afectadas son: la respiración de sustancias inorgánicas, el calentamiento global y el uso de energías no-renovables, lo que implica que las categorías de daño más afectadas sean la salud humana y el cambio climático.

Como primera variante de mejora ambiental se propone el cierre del circuito de agua, lo cual disminuiría notablemente el impacto ambiental en un 42.95%. Se demuestra la factibilidad técnica y económica de esta propuesta, dejándose de emitir al año 8.448,3t de CO₂ y 375,48t de SO₂ además de una disminución del uso de 345.471,3 M³ de agua al año.

Como una segunda variante se plantea la instalación de una nueva caldera para la generación de vapor con la que se disminuiría el impacto ambiental en un 18,72%, se dejan de emitir a la atmósfera más de 2.000 t de CO₂ al año, sin embargo el período de recuperación de la inversión resulta un poco alto.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARDIM DE CARVALHO, F. A. 2001. *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento-Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Unpublished Doctorado en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 230 p.
- GONZÁLEZ MORALES, V. 2008. *Tecnología tradicional de producción de alcohol etílico*. UCLV Marta Abreu. Cuba. 218 p.
- IGLESIAS, D. H. 2005. Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario.

- En línea: <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf> [Consultado: 11/05/2009].
- INICA. 2009. *Recomendaciones de Fertilizantes*. Unidad autofinanciada servicios científico técnicos especializados. SERFE, MINAZ. Cienfuegos, Cuba. 148 p.
- NOVA GLEZ, A. 2006. *La agricultura en Cuba: evolución y trayectoria (1959-2005)*. Editorial de Ciencias Sociales. La Habana, Cuba. 286-301.
- PANICHELLI, L. 2006. *Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel en Argentina*. Escuela para Graduados Alberto Soriano, Buenos Aires, Argentina. 172 p.
- RAMOS LEÓN, S. 2008. *Evaluación de indicadores medioambientales en la Empresa ALFICSA, de Aguada de Pasajeros*. UCf Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos, Cuba. 206 p.
- ROMERO RODRÍGUEZ, B. I. 2004. El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. En línea: www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf [Consultado: 13/05/2009].
- SUÁREZ OLIVERA, P. V. 2008. Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación ambiental de la UEB-Sergio González. UCf Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos, Cuba. 211 p.
- SUPPEN, N. 2007. *Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño*. México: Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. En línea: www.lcamexico.com [Consultado: 25/05/2009].
- VEIGA. (2008). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. UCf Carlos Rafael Rodríguez. Cienfuegos, Cuba. 15 p.
- VILLARROEL C., J. M. y. O. B., LINO. 2008. Combustibles alternativos en el transporte de Cuba. *Revista Eco Solar* 9: 21 - 39.
- ZARATIEGUI, J. R. 1999. La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa. *Revista Economía Industrial* VI: 82 - 99.