



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO MEXICANO PARA LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) DE UN PROCESO DE
FABRICACIÓN DE ABRASIVOS REVESTIDOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

PRESENTA:

RODRIGO JAVIER GÓMEZ GARZA

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Rocío Sánchez Pérez



México D. F. Marzo, 2012



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 10:30 horas del día 23 del mes de Marzo del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CMP+L para examinar la tesis titulada:

Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un proceso de fabricación de abrasivos revestidos

Presentada por el alumno:

Gómez
Apellido paterno

Garza
Apellido materno

Rodrigo Javier
Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	7	3	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Ingeniería en Producción Más Limpia

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director(a) de tesis

Dra. Rocio Sánchez Pérez

Dra. Luisa Idelia Manzanares Papayanopoulos

M. en C. Patricia Eugenia Cruz Ortega

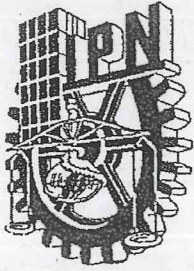
Dr. Manuel de Atocha Hernández Cortázar



Dr. Gabriel Pineda Flores

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Jorge Pérez



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 07 del mes febrero del año 2012, el que suscribe Rodrigo Javier Gómez Garza alumno del Programa de Maestría en Ingeniería en Producción más Limpia con número de registro B091738, adscrito al Centro Mexicano para la Producción más Limpia, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dra. Rocío Sánchez Pérez y cede los derechos del trabajo intitulado **Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de un proceso de fabricación de abrasivos revestidos**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección rgomezgarza@gmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Rodrigo Javier Gómez Garza

CONTENIDO

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
1 - INTRODUCCIÓN.....	1
2 - ANTECEDENTES.....	3
2.1 - Industria de los abrasivos.....	8
2.2 - Proceso productivo analizado a través del ACV	11
2.2.1 - Particularidades del caso estudiado.....	14
3 - METODOLOGÍA.....	15
3.1 - Definición de la meta y alcance del estudio.....	16
3.1.1 - Objetivo del estudio	16
3.1.2 - Alcance del estudio.....	16
3.1.3 - Unidad funcional.....	17
3.1.4 - Limites del sistema	17
3.1.5 - Requisitos de calidad de datos	17
3.1.6 - Consideraciones.....	18
3.1.7 - Selección de método de evaluación y categorías de impacto	18
3.2 - Análisis de inventarios de Ciclo de Vida (ICV).....	20
3.3 - Evaluación de Inventarios de Ciclo de Vida (EICV)	23
3.4 - Interpretación de resultados	25
4 – RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
4.1 - Cálculo de Inventarios de Ciclo de Vida (ICV).....	26
4.2 - Evaluación de Inventarios de Ciclo de Vida (EICV)	34
4.3 - Interpretación de resultados.....	38

CONTENIDO

4.3.1 - Identificación de aspectos significativos del proceso productivo	38
4.4 - Desempeño operativo del producto.....	47
5 - CONCLUSIONES	48
6 - BIBLIOGRAFÍA.....	53
7 - ANEXOS	55
ANEXO A - Plantilla de recolección de datos	55
ANEXO B - Software utilizado para realizar el ACV – TEAM™	56
ANEXO C - Diagrama de flujo creado en TEAM™	57
ANEXO D – Descripción del CML 2000.....	72
ANEXO E – Compuestos y factores de caracterización utilizados para el cálculo de impactos ambientales.....	73

Índice de figuras

Figura 1 – Etapas, límites y alcances del Análisis de Ciclo de Vida	4
Figura 2 – Uso del ACV como herramienta de gestión.....	5
Figura 3 – Fases del proceso de fabricación de abrasivos revestidos.....	11
Figura 4 – Metodología de Análisis de Ciclo de Vida	15
Figura 5 – Análisis de Inventarios de Ciclo de Vida (AICV)	23
Figura 6 – Distribución en porcentaje del consumo de agua por proceso	28
Figura 7 – Distribución en porcentaje del consumo de electricidad por proceso	29
Figura 8 – Principales Recursos Naturales utilizados en el proceso	30
Figura 9 – Porcentaje de los principales tipos de sustancias emitidas al aire.....	30
Figura 10 – Porcentaje de los principales compuestos descargados al agua.....	31
Figura 11 – Porcentaje de los principales compuestos descargados al suelo.	32
Figura 12 – Porcentaje de los principales tipos de residuos generados.	33
Figura 13 – Plantilla de recolección de datos.....	55
Figura 14 – Espacio de trabajo en TEAM™	57
Figura 15 – Principales etapas del ciclo de vida del producto analizado	58
Figura 16 – Procesos considerados en la etapa de Producción (A)	59
Figura 17 – Subprocesos de la etapa de producción del dorso (A1)	60
Figura 18 – Módulos del subproceso A1.1 Dorsos.....	61
Figura 19 – Módulos del subproceso A1.2 Dorsos.....	62
Figura 20 – Módulos del subproceso A1.3 Dorsos.....	63
Figura 21 – Módulos del subproceso A1.4 Enrolladora	64
Figura 22 – Subprocesos de la etapa de producción del abrasivo revestido (A2)	65
Figura 23 – Módulos del subproceso A2.5 Maker	66
Figura 24 – Módulos del subproceso A2.6 Túnel	67

Figura 25 – Módulos del subproceso A2.7 Sizer	68
Figura 26 – Módulos del subproceso A2.8 Túnel-Enrolladora.....	69
Figura 27 – Subprocesos de la etapa de producto terminado (A3).....	70
Figura 28 – Procesos considerados en la etapa de Uso (B).....	71

Índice de tablas

Tabla 1 – Aplicaciones de ACV en función de los objetivos.	7
Tabla 2 – Aplicaciones de ACV en función del tipo de usuario.....	8
Tabla 3 – Descripción del proceso productivo analizado – Producción del dorso.....	12
Tabla 4 – Descripción del proceso productivo analizado – Producción del abrasivo revestido.....	13
Tabla 5 – Descripción del proceso productivo analizado – Producto terminado.	13
Tabla 6 – Descripción del proceso productivo analizado – Uso.	14
Tabla 7 – Clasificación y Tipos de Impactos ambientales analizados.	19
Tabla 8 – Inventario de Ciclo de Vida (ICV) de los productos estudiados.	27
Tabla 9 – Resultados de la EICV de los productos estudiados.	34
Tabla 10 – Resultados de la EICV del Producto ACV 2007-2008 para las tres etapas de producción.	35
Tabla 11 – Resultados de la EICV del Producto ACV 2008-2009 para las tres etapas de producción.	35
Tabla 12 – Resultados de la EICV Producto ACV 2007-2008 para todos los subprocesos.	36
Tabla 13 – Resultados de la EICV Producto ACV 2008-2009 para todos los subprocesos.	37
Tabla 14 – Resultados de la EICV de los subprocesos modificados.	45

CONTENIDO

Tabla 15 – Subprocesos identificados como prioritarios para gestionar el desempeño ambiental.....	46
Tabla 16 – Resultados de las pruebas de desbaste y desgrane y, porcentajes de cambio.	47
Tabla 17 – Impactos ambientales y subprocesos críticos.	51
Tabla 18 – Factores de caracterización CML 2000 – Gases Efecto Invernadero (GEI)....	73
Tabla 19 – Factores de caracterización CML 2000 – Agotamiento de Ozono Estratosférico (AOE).	73
Tabla 20 – Factores de caracterización CML 2000 – Agotamiento de recursos abióticos (ARA).....	74
Tabla 21 – Factores de caracterización CML 2000 – Formación de foto-oxidantes (FOx).	75
Tabla 22 – Factores de caracterización CML 2000 – Acidificación del aire (AcA).	76
Tabla 23 – Factores de caracterización CML 2000 – Eutroficación (EU).....	76
Tabla 24 – Factores de caracterización CML 2000 – Toxicidad Humana (TxH).	76
Tabla 25 – Factores de caracterización CML 2000 – Toxicidad acuática (TxA).	79
Tabla 26 – Factores de caracterización CML 2000 – Toxicidad terrestre (TxT).....	82

Nomenclatura

AcA	Acidificación del aire
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AOE	Agotamiento de ozono estratosférico
ARA	Agotamiento de recursos abióticos
DEAM™	Data for Environmental Analysis and Management
CML	Institute of Environmental Sciences, Universidad de Leiden.
CMP+L	Centro Mexicano para la Producción más Limpia
EICV	Evaluación de Inventarios de Ciclo de Vida
EU	Eutroficación
FOx	Formación de foto-oxidantes
GEI	Gases Efecto Invernadero
$g_{eq}(\text{PO}_4)^{3-}$	Gramos equivalentes de fosfatos
$g_{eq}1,4\text{-DCB}$	Gramos equivalentes de 1,4 Diclorobenceno ($\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$)
$g_{eq}\text{CFC-11}$	Gramos equivalentes de CFC 11 (CFCl_3)
$g_{eq}\text{CO}_2$	Gramos equivalentes de dióxido de carbono
$g_{eq}\text{Etileno}$	Gramos equivalentes de Etileno (C_2H_4)
$g_{eq}\text{SO}_2$	Gramos equivalentes de dióxido de azufre
ICV	Inventarios de Ciclo de Vida
IPN	Instituto Politécnico Nacional
Kg_{eq}Sb	Gramos equivalentes de Antimonio
TxA	Toxicidad acuática
TxH	Toxicidad Humana
TxT	Toxicidad terrestre
TEAM™	Tool for Environmental Analysis and Management

Glosario¹

1. **Análisis de Ciclo de Vida (ACV).** Recopilación y evaluación de las entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales del sistema de un producto durante todo su ciclo de vida.
2. **Análisis de Inventarios de Ciclo de Vida (ICV).** Fase de evaluación del ciclo de vida que implica la recopilación y cuantificación de las entradas y salidas de un producto durante su ciclo de vida.
3. **Aspecto ambiental.** Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente. Un aspecto ambiental significativo tiene o puede tener un impacto ambiental significativo.
4. **Ciclo de vida.** Etapas consecutivas e interrelacionadas del sistema de un producto, desde la adquisición de materias primas o la generación de los recursos naturales hasta su disposición final.
5. **Evaluación de Impactos de Ciclo de Vida (EIA).** Fase de evaluación del ciclo de vida dirigidas a comprender y evaluar la magnitud y significancia de los impactos ambientales potenciales del sistema de un producto a lo largo de su ciclo de vida.
6. **Flujo Elemental.** Materia o energía entrante al sistema de estudio que se ha tomado del ambiente sin previa transformación humana, o un material o energía que sale del sistema estudiado que es descargada al ambiente sin transformación humana posterior.
7. **Impacto ambiental.** Cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización.
8. **Interpretación de Ciclo de Vida.** Fase de evaluación del ciclo de vida en la que los resultados de cualquier análisis de inventario o la evaluación de impacto, o ambos, se evalúan en relación con el alcance y la meta establecida con el fin de llegar a conclusiones y recomendaciones.

¹ Definiciones tomadas de la norma ISO 14040:2006

9. **Proceso.** Conjunto de actividades interrelacionadas o que interactúan, que transforman entradas en salidas.
10. **Resultados del Análisis de Inventarios Ciclo de Vida.** Resultado de un análisis de inventario del ciclo de vida que cataloga los flujos a través de la frontera del sistema y proporciona el punto de partida para la evaluación del impacto del ciclo de vida.
11. **Sistema del producto.** conjunto de procesos unitarios con los flujos de elementales y de productos, que realizar una o varias funciones definidas, y que modela el ciclo de vida de un producto.
12. **Unidad Funcional.** Desempeño cuantificado del sistema de un producto para uso como unidad de referencia.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño ambiental de un producto generado en un proceso de fabricación de abrasivos revestidos a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El producto evaluado se analizó antes y después de un cambio en la formulación utilizando la metodología establecida en la norma ISO 14044:2006. La información recolectada se procesó, analizó y evaluó utilizando el software TEAM™ (Tool for Environmental Analysis and Management) y sus bases de datos para ACV llamadas DEAM™ (Data for Environmental Analysis and Management). La unidad funcional utilizada fue “unidad/m²”. El alcance del análisis abarcó la fabricación de materias primas e insumos, la totalidad de los flujos que intervienen en la etapa de manufactura y el uso del producto. Las actividades de disposición final fueron excluidas. La determinación de los impactos ambientales fue a través de los factores de caracterización del CML 2000 del Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden.

A través del ACV, se cuantificaron 9 categorías de impacto ambiental: Gases Efecto Invernadero (GEI), Agotamiento de ozono estratosférico (AOE), Agotamiento de recursos abióticos (ARA), Formación de foto-oxidantes (FOx), Acidificación del aire (AcA), Eutroficación (EU), Toxicidad Humana (TxH), Toxicidad acuática (TxA) y Toxicidad terrestre (TxT), uno de los resultados fue la identificación de subprocesos sobre los que la empresa debe realizar gestión para mejorar el desempeño ambiental del producto. Adicionalmente, se concluyó que el cambio en la formulación mejoró el desempeño ambiental del producto analizado, ya que la totalidad de los impactos ambientales evaluados se redujeron de un producto a otro, para las tres categorías de toxicidad y AOE, se lograron reducciones de más de 60%. En función de la magnitud de la Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida (EICV), el grado de significancia ambiental para la zona geográfica, las iniciativas del sector y representatividad en los Inventarios de Ciclo de Vida (ICV), se determinó que los GEI con 1,161 g_{eq}CO₂, FOx con 0.22 g_{eq}Etileno y AcA con 9.68 g_{eq}SO₂ son los impactos ambientales significativos para el producto estudiado, sus porcentajes de reducción fueron 34%, 22% y 31%, respectivamente.

Este estudio es la primera aplicación del ACV a un proceso de fabricación de abrasivos revestidos en México.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the environmental performance of a product generated in a process of manufacture of coated abrasives through the Life Cycle Assessment (LCA). The evaluated product was analyzed before and after a change in the formulation using the methodology set out in ISO 14044:2006.

It was applied the methodology established in the ISO 14044:2006 standard. The information collected was processed, analyzed and assessed using the TEAM™ software and its databases for LCA called DEAM™. The information collected was processed, analyzed and evaluated using the TEAM™ software (Tool for Environmental Analysis and Management) and his databases for LCA called DEAM™ (Data for Environmental Analysis and Management). The functional unit used was "unit/m²". The scope of analysis included the manufacture of raw materials and inputs, all the flows involved in the process of manufacturing and product use. Disposal activities were excluded. The determination of environmental impacts was through the CML 2000 characterization factors of Institute of Environmental Sciences of the University of Leiden.

Through LCA, were quantified 9 categories of environmental impact: Greenhouse gas (GHG), Stratospheric ozone depletion (SOD), Abiotic resources depletion (ARD), Photo-oxidant formation (POx), Air acidification (AAc), Eutrophication (EU), Human toxicity (HTx), Aquatic toxicity (ATx) and Terrestrial Toxicity (TTx), one result was the identification of internal process on which the company should undertake actions to improve the environmental performance of the product

Additional, was concluded that the change in the formulation improved the environmental performance of the analyzed product since that the totality of environmental impacts evaluated reduced from product to product. For the three categories of toxicity and AOE, reductions of over 60% were achieved. According the magnitude of the LCIA; the degree of environmental significance for the geographical zone; industry initiatives and representatively in the LCI: GHG with 1,161 g_{eq}CO₂, POx with 0.22 g_{eq}Etilene and AAc with 9.68 g_{eq}SO₂ were determined as significant environmental impacts for the product studied, their reduction percentages was 34%, 22% and 31% respectively. This study is the first application of LCA to a process of manufacture of coated abrasives in Mexico.

1 - INTRODUCCIÓN

Derivado al requerimiento de un cliente, fue necesario modificar las características de desempeño operativo (desbaste y desgrane) de un abrasivo revestido, para ello se realizaron cambios en las especificaciones técnicas de su formulación. Debido a lo anterior, la empresa requirió determinar de los efectos ambientales de dichas modificaciones de ese producto y para ello decidió realizarlo a través del desarrollo de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV es una metodología única y ampliamente reconocida por su particularidad de identificar los aspectos ambientales clave de un producto, proceso o servicio y cuantificar sus impactos ambientales potenciales a lo largo de su ciclo de vida comenzando por la extracción de materias primas y la producción de energía utilizada para fabricar el producto, su uso y hasta la disposición final, dicho proceso también es conocido como “de la cuna a la tumba”.

El objetivo general del estudio fue identificar, cuantificar y evaluar los impactos ambientales del proceso de fabricación de un abrasivo revestido antes y después de las modificaciones a su formulación utilizando los lineamientos, consideraciones, guía y la metodología publicada por la International Organization for Standardization (ISO, por sus siglas en inglés) en su serie de normas ISO 14040, esta metodología considera cuatro fases interrelacionadas:

- **Objetivos y Alcance.** Definición del propósito del estudio y sus objetivos; identificación del producto, proceso o actividad de interés; identificación del uso del estudio y las suposiciones clave.
- **Análisis de Inventarios de Ciclo de Vida (ICV).** Identificación y cuantificación de entradas de materias primas, energía, salidas del proceso como emisiones a la atmósfera, descargas de agua residual, residuos y subproductos.
- **Evaluación de Inventarios de Ciclo de Vida (EICV).** Clasificación cualitativa o cuantitativa, caracterización y evaluación de impactos a ecosistemas, salud humana y recursos naturales basados en los resultados del análisis de inventarios.
- **Interpretación.** Identificación y evaluación de oportunidades para alcanzar mejoras en el proceso que resulten en la reducción de impactos ambientales,

basándose en los resultados del análisis de inventarios y la evaluación de impactos.

Los datos fueron procesados utilizando el software TEAM™ (Tool for Environmental Analysis and Management, por sus siglas en inglés) y sus bases de datos para ACV llamadas DEAM™ (Data for Environmental Analysis and Management, por sus siglas en inglés). La determinación de los impactos ambientales se realizó aplicando los factores de caracterización del CML 2000 del Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden, Países Bajos.

Las empresas mexicanas de este ramo no han analizado sus productos utilizando la metodología del ACV, esta tesis es el resultado de la primera aplicación de la metodología del ACV a un proceso mexicano de fabricación de abrasivos revestidos, con lo que se generarán los primeros datos para conformar una base de datos nacional con información específica para este tipo de proceso.

2 - ANTECEDENTES

Tradicionalmente los productos, procesos productivos y servicios eran diseñados contemplando factores de funcionalidad, calidad, costo, ergonometría, rentabilidad, seguridad, entre otros; sin embargo, no se consideraba la dimensión ambiental. Es un hecho que la sociedad ha desarrollado interés sobre los temas de índole ambientales como el agotamiento de los recursos naturales y la degradación del ambiente.

El mercado ha respondido a este interés ofreciendo “productos verdes” y utilizando tecnologías amigables con el ambiente. El desempeño ambiental de los productos, procesos y servicios se ha vuelto un aspecto clave de diferenciación competitiva y de imagen corporativa, es por ello, que muchas organizaciones realizan investigaciones para minimizar los efectos negativos de sus operaciones al ambiente y así, mejorar su desempeño ambiental.

La primera reacción de las empresas al considerar la preocupación ambiental de la sociedad, fue enfocar los esfuerzos de mejoras ambientales a los procesos de manufactura, sin contemplar los impactos resultantes a lo largo del ciclo de vida completo de dichos productos [Tan y Culaba, 2002]. Las empresas con liderazgo ambiental han encontrado beneficioso explorar alternativas más allá del control puntual de la contaminación y del cumplimiento legal, utilizando estrategias de prevención de la contaminación y gestión ambiental para mejorar su desempeño ambiental [UNEP y SETAC, 2009].

Dado que un producto no puede ser diseñado, manufacturado, promocionado y utilizado sin involucrar el uso de múltiples materias primas, energía, transportación y disposición, la identificación de los aspectos ambientales clave a lo largo de su ciclo de vida se vuelve un proceso complicado y complejo [Kristian, et. ál, 2009]. Es por ello, que nace la necesidad de contar con una herramienta sistemática que permita realizar una evaluación integral de

II – ANTECEDENTES

los aspectos ambientales clave de un producto a lo largo de su ciclo de vida; una de esas herramientas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El ACV es una metodología única y ampliamente reconocida por su particularidad de identificar los aspectos ambientales clave de un producto, proceso o servicio y cuantificar sus impactos ambientales potenciales a lo largo de su ciclo de vida, comenzando por la extracción de materias primas y la producción de energía utilizada para fabricar el producto, su uso y hasta la disposición final, dicho proceso también es conocido como “*de la cuna a la tumba*”. La Figura 1, ilustra las etapas, límites y alcances del ACV antes mencionados.

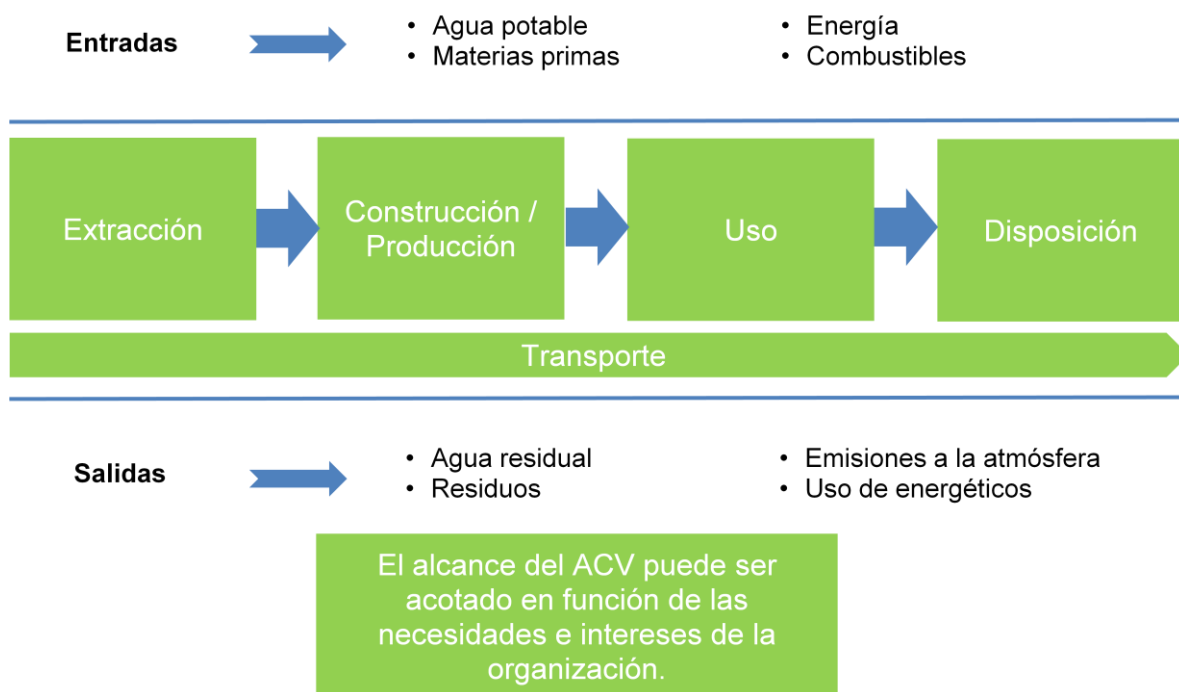


Figura 1 – Etapas, límites y alcances del Análisis de Ciclo de Vida.

Una de las cualidades del ACV es que permite la identificación de transferencias de contaminantes de una matriz ambiental a otra y/o entre los ciclos de vida del producto, por ejemplo, eliminar emisiones a la atmósfera, transfiriendo esos contaminantes a las descargas de aguas residuales o aumentando la generación de residuos [SAIC, 2006].

Un ACV puede ser utilizado para varios fines, por ejemplo, cuando se trata de decidir entre dos alternativas, el ACV puede ayudar a los tomadores de decisiones a comparar los impactos ambientales significativos causados por los productos, procesos o servicios analizados, y como resultado seleccionar el producto o proceso con un mejor desempeño ambiental. Esta información puede ser utilizada con otros factores, tales como costo y desempeño operativo para seleccionar la mejor alternativa. Algunas aplicaciones y usos del ACV como herramienta de gestión, tanto interna como externa se describen en la Figura 2.

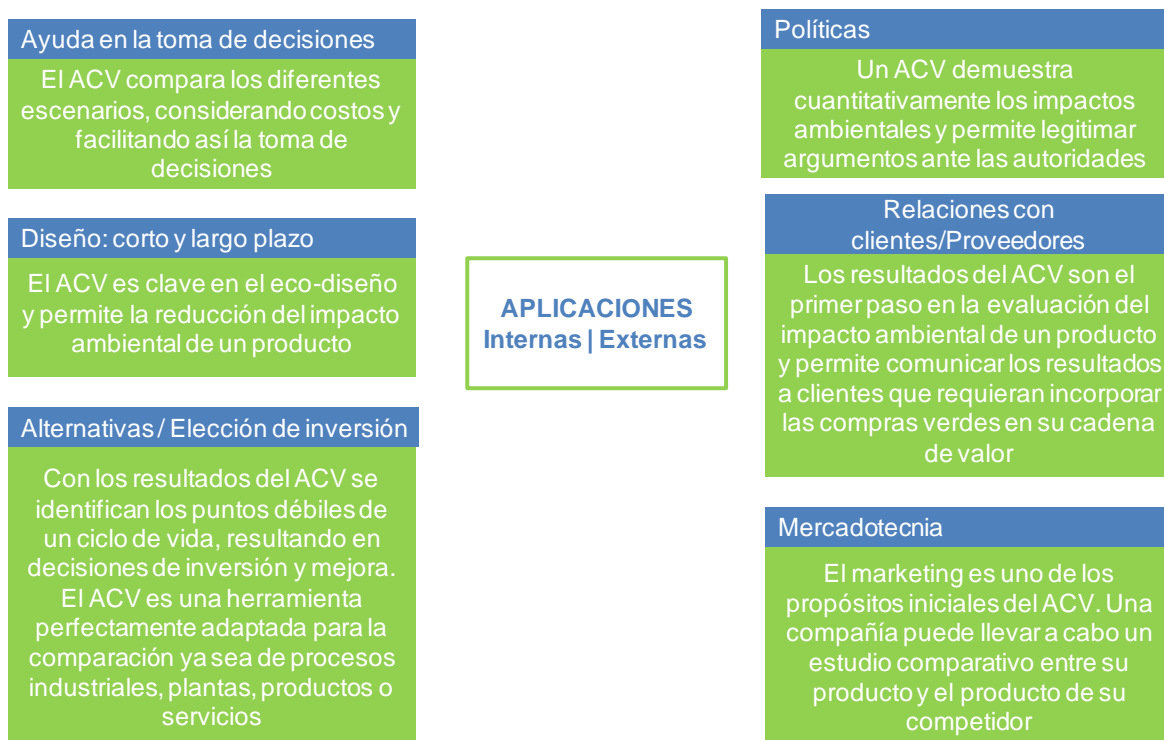


Figura 2 – Uso del ACV como herramienta de gestión.

La gran ventaja de utilizar los resultados de un estudio de ACV como herramienta de gestión deriva sin duda alguna en beneficios económicos para las empresas, dentro de los más comunes tenemos:

- Ahorros en energéticos.
- Ahorros en materias primas.

- Reducción de riesgos ambientales.
- Optimización de procesos productivos.
- Recuperación de materiales.
- Reducción de residuos.
- Mejoramiento de la imagen de la empresa ante los diferentes grupos de interés: clientes, proveedores, socios, comunidad, entidades financieras, Organizaciones No Gubernamentales (ONG´s), etc.
- Generación de datos confiables que sirvan como base para nuevos estudios.
- Inclusión a mercados extranjeros.

Una vez que se han identificado y cuantificado los impactos ambientales del objeto de estudio, se pueden definir estrategias de mejora para el abatimiento y mitigación de dichos impactos. La identificación de los aspectos ambientales clave es el punto de partida para el mejoramiento de un producto. Elaborar un producto que cumpla completamente con las especificaciones y funcionalidades previstas se puede obtener enfocando los esfuerzos sobre los aspectos ambientales clave. La integración de los aspectos ambientales en el diseño y desarrollo de productos se conoce como “**eco-diseño**”. [Lee e Inaba, 2004].

II – ANTECEDENTES

Las Tablas 1 y 2 proponen algunos ejemplos de cómo puede ser utilizado un estudio de ACV, ya sea en función de los objetivos o del usuario del estudio.

Tabla 1 – Aplicaciones de ACV en función de los objetivos.

Objetivo	Aplicación	Apoyo a decisiones
Diagnóstico	Desarrollo de producto	Antecedentes para especificaciones ambientales, diseño de estrategias, principios y normas
	Eco-etiquetado	Identificación de aspectos ambientales significativos asociados al producto
	Planes de acción comunitaria	Identifica a los grupos de productos de importancia ambiental
Selección	Desarrollo de producto	Identificación en marcha de las mejores alternativas de soluciones
	Tecnología más limpia	Identificación de la mejor tecnología disponible
	Planes de acción comunitaria	Identificación de la mejor estrategia de relación comunitaria para un determinado problema del producto
	Información al consumidor	Documentación de los impactos ambientales potenciales de un producto

Tomado de [Wenzel et al, 1997]

Tabla 2 – Aplicaciones de ACV en función del tipo de usuario.

Usuario del ACV	Aplicación	Ejemplo
Gobierno	Planes de acción comunitaria	Incineración contra reciclaje
		Sistemas de transporte público
	Conciencia ambiental pública de compras	Autos, artículos de oficina, etc.
	Información al consumidor	Eco-etiquetas y estándares
Empresas	Establecimiento del enfoque ambiental	Identificación de áreas de mejora
		Producto orientado a la política ambiental
		Gestión ambiental
	Opciones de diseño	Selección del concepto
		Selección de componentes
		Selección de materiales
		Selección de procesos
	Documentación ambiental	Certificación de sistemas de gestión ambiental, eco-etiquetas

Tomado de [Wenzel et al, 1997]

En México, el desarrollo de estudios y bases de datos de ACV no ha sido tan difundido comparado con otros países como Francia, en el que para ciertos productos los estudios de ACV son un requerimiento legal. A la fecha son escasas las empresas y organizaciones mexicanas que han decidido incursionar en este ramo de las ciencias ambientales.

2.1 - Industria de los abrasivos

La industria de los abrasivos se clasifica en tres tipos [EPA, 1994]:

- **Granos abrasivos:** Producción de materiales para el uso de otros productores de abrasivos.

- **Abrasivos consolidados:** Es muy diversa e incluye la producción de piedras de esmeril, sierras y otros productos.
- **Abrasivos revestidos:** Se incluyen a aquellas instalaciones que producen grandes rollos de abrasivos revestidos de los cuales se pueden fabricar otro tipo de productos más pequeños.

Dado que esta tesis se enfoca al análisis de un proceso de fabricación de abrasivos revestidos, es necesario conocer ciertos detalles de éste proceso productivo.

Fabricación de abrasivos revestidos

Los abrasivos revestidos consisten de granos de abrasivos del mismo tamaño adheridos a una película flexible (comúnmente llamada dorso), la cual puede ser de tela, papel, fibra vulcanizada o una combinación de estos materiales. Muchos tipos de resinas, pegamentos y barnices se utilizan como adhesivos. El adhesivo es típicamente de origen animal, las resinas pueden variar desde líquidos fenólicos o ureas, pero dependiendo del uso del abrasivo se dan diferentes tiempos de secado, fuerza, flexibilidad u otras propiedades requeridas.

La producción de los abrasivos revestidos empieza con una parte del dorso, que es pasada a través de una prensa que imprime los datos del fabricante, así como las especificaciones del producto. Los rollos típicamente son de 1.3 m de ancho por 1,300 hasta 2,700 m de largo. Después los dorsos reciben la primera aplicación de abrasivo, en una película regular variando la concentración y cantidad dependiendo el tamaño de grano que será utilizada. Posteriormente se aplican los granos abrasivos por métodos mecánicos o electrostáticos. Teóricamente todos los granos abrasivos utilizados en este tipo de productos son carburo de silicio u óxidos de aluminio.

En la aplicación mecánica, los granos son aplicados mediante una corriente controlada directamente en el dorso con la primera capa de adhesivo, o el dorso impregnado es pasado a través de una cama de abrasivo. En el método electrostático, el dorso impregnado con adhesivo es puesto en contacto con una cama de abrasivo, al mismo tiempo que se hace pasar una corriente eléctrica a través del abrasivo. El cambio electrostático provoca que las partes más pequeñas del abrasivo se incrusten en la capa de adhesivo. La cantidad de abrasivo se puede manipular exactamente ajustando la corriente de abrasivo o la velocidad del dorso.

II – ANTECEDENTES

Después de que el abrasivo es aplicado, el producto es transportado a un equipo que secará la primera capa de adhesivo para posteriormente colocar una segunda capa de adhesivo, la cual servirá para anclar el abrasivo. El producto ahora es transportado a una segunda cámara de secado en la que se controla la temperatura y humedad para asegurar un secado uniforme. Una vez que el dorso se encuentra debidamente seco, se procede a hacer rollos para manipularlo a su forma final: hojas, rollos, cinturones, bandas, conos, etc.

Los abrasivos revestidos pueden ser diseñados para tres fines: corte, remoción de excedentes y pulido. El abrasivo revestido que se analiza en este estudio se utiliza para la remoción de excedentes.

El desempeño de los abrasivos revestidos se mide a través de dos variables, ambos en unidades de masa por superficie de abrasivo revestido:

- **Desgrane.** Pérdida de los granos de abrasivo durante el uso.
- **Desbaste.** Desgaste del material al cual se le está aplicando el abrasivo.

2.2 - Proceso productivo analizado a través del ACV

A continuación se presenta una descripción del producto analizado, los elementos de los que se compone y la nomenclatura utilizada. Los principales elementos estructurales del abrasivo revestido son cuatro:

1. **Dorso:** Sirve como soporte y medio de transporte del abrasivo.
2. **Adhesivo 1 (Maker):** Al dorso se le coloca una capa de este adhesivo para posteriormente colocar el abrasivo, su función es unir el abrasivo con el dorso.
3. **Abrasivo:** Es la parte fundamental del producto, sus características dependen de la aplicación para la que sean destinados.
4. **Adhesivo 2 (Sizer):** Esta capa se coloca encima del adhesivo con la finalidad de asegurar que éste no se desprenda del dorso.

Las operaciones unitarias que se realizan para la fabricación del producto analizado se muestran en la Figura 3. Es importante mencionar que las mismas fases y sub-fases fueron consideradas durante la aplicación de la metodología del ACV:

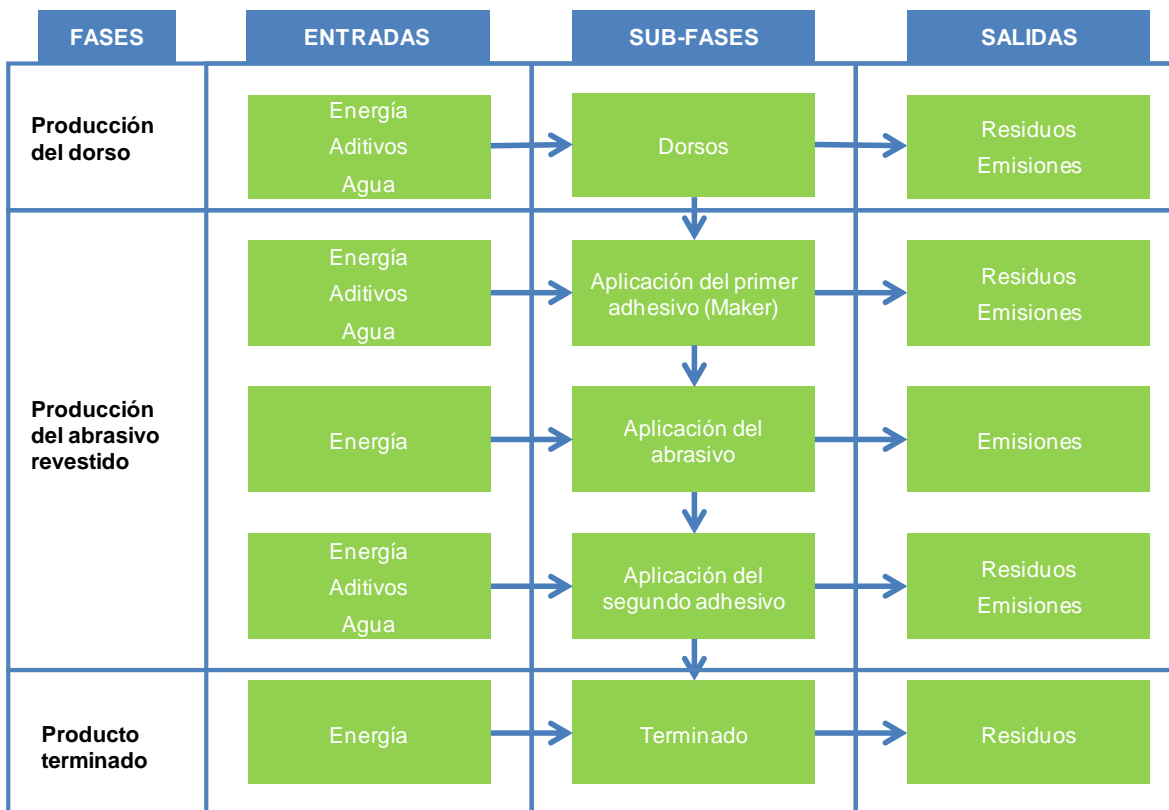


Figura 3 – Fases del proceso de fabricación de abrasivos revestidos.

Para un mejor entendimiento del proceso productivo, se desglosan las sub-fases de la Figura 3 y se presenta una descripción de cada una de ellas, indicando también los principales flujos contemplados en cada una.

La primera etapa “Producción del dorso” se compone de cuatro subprocesos, los primeros tres se conocen como: Dorsos L1, Dorsos L2 y Dorsos L3, en donde a la tela cruda se le realizan las operaciones de, lavado, cepillado, e impermeabilización, respectivamente, por último, la tela cruda se tiñe y se enrolla para pasarla a la siguiente etapa. Los flujos de materiales que participan en el proceso se muestran con mayor detalle en la Tabla 3. El producto de estudio tiene la peculiaridad de que el dorso se elabora en la misma empresa, ya que otros productos utilizan dorsos comerciales.

Tabla 3 – Descripción del proceso productivo analizado – Producción del dorso.

Entradas	Sub-proceso	Salidas
Tela cruda* Gas Natural Electricidad	Dorsos L1	Residuos no peligrosos Emisiones a la atmósfera
Gas Natural Electricidad Adhesivos Tensoactivos Colorante Relleno Catalizador Agua	Dorsos L2	Residuos peligrosos Residuos no peligrosos Emisiones a la atmósfera
Gas Natural Electricidad Adhesivo Tensoactivos Catalizador Agua	Dorsos L3	Residuos peligrosos Residuos no peligrosos Emisiones a la atmósfera
Electricidad Tinta	Enrolladora Imprenta	Tela terminada*

*Corrientes principales

La segunda etapa “Producción del abrasivo revestido”, es la parte del proceso en donde se coloca la primera capa de adhesivo al dorso (Maker), el dorso con Maker se pasa por un túnel de secado para posteriormente colocar el abrasivo a través de un método electromagnético, una vez que el dorso tiene el abrasivo unido se coloca el segundo

II – ANTECEDENTES

adhesivo o (Sizer). El dorso con adhesivo fresco es transportado a un segundo túnel de secado. Las entradas, salidas y materias primas se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 – Descripción del proceso productivo analizado – Producción del abrasivo revestido.

Entradas	Proceso	Salidas
Tela terminada* Gas Natural Electricidad Agua Adhesivos Abrasivo	Maker	Residuos peligrosos Residuos no peligrosos Emisiones a la atmósfera
Gas Natural Electricidad	Túnel	Emisiones a la atmósfera
Gas Natural Electricidad Adhesivos Relleno Colorante Tensoactivos Catalizador	Sizer	Residuos peligrosos Residuos no peligrosos Emisiones a la atmósfera
Gas Natural Electricidad	Túnel para enrollar	Abrasivo revestido*

*Corrientes principales

El abrasivo revestido saliente de la etapa anterior se encuentra en forma de rollos gigantes llamados Jumbos, el producto estudiado se requiere en presentación de hoja. En la tercera y última etapa “Producto terminado” los jumbos se someten a un proceso de flexado para dar manejabilidad al producto, después se procede a cortar el jumbo para formar las hojas, las cuales ya están listas para ser empacadas y enviadas al cliente. La Tabla 5 describe los flujos de la etapa de producto terminado.

Tabla 5 – Descripción del proceso productivo analizado – Producto terminado.

Entradas	Proceso	Salidas
Abrasivo revestido* Electricidad Tinta Cartón Fajillas plástico	Flexado y corte	Residuos no peligrosos Abrasivo revestido*

*Corrientes principales

Los flujos que intervienen en el uso del producto se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6 – Descripción del proceso productivo analizado – Uso.

Entradas	Proceso	Salidas
Abrasivo revestido*	Uso	Polvos de desbaste Polvos de desgrane Residuos no peligrosos*

*Corrientes principales

2.2.1 - Particularidades del caso estudiado

Por cuestiones de confidencialidad, este trabajo no presenta ningún nombre o referencia del producto analizado, así como la empresa donde se ha desarrollado el estudio.

Si bien, en las tablas que se presentan en esta tesis describiendo el proceso analizado, muchas de las materias primas utilizadas son mencionadas con nombres genéricos tales como: Adhesivo, Catalizador, Tensoactivo, etc., es importante aclarar que la empresa proporcionó toda la información necesaria para la realización de este estudio; los nombres de las materias primas (por ejemplo, sustancias químicas), energéticos e insumos, así como las cantidades utilizadas en la fabricación de los abrasivos revestidos no serán dadas a conocer para asegurar que las especificaciones técnicas del producto no sean reveladas.

Este estudio de ACV se enfocó a evaluar el desempeño ambiental de un producto manufacturado en las instalaciones de una empresa localizada en el Estado de México denominado (Producto ACV 2007-2008) antes y después de un cambio en la formulación (Producto ACV 2008-2009). Las modificaciones al producto se realizaron en Noviembre de 2008, y consistieron en:

1. Aumento de catalizador en “Dorsos L2”
2. Aumento de adhesivo y agua en “Maker”
3. Reducción de relleno en “Sizer”
4. Reducción de tensoactivos en “Sizer”

3 - METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio se basó en los principios, requerimientos y guías establecidos en las normas ISO para ACV:

- ISO 14040:2006 → Life cycle assessment – Principles and framework.
- ISO 14044:2006 → Life cycle assessment – Requirements and guidelines.

Como se mencionó anteriormente, dentro de ellas se consideran cuatro fases interrelacionadas (Figura 4).

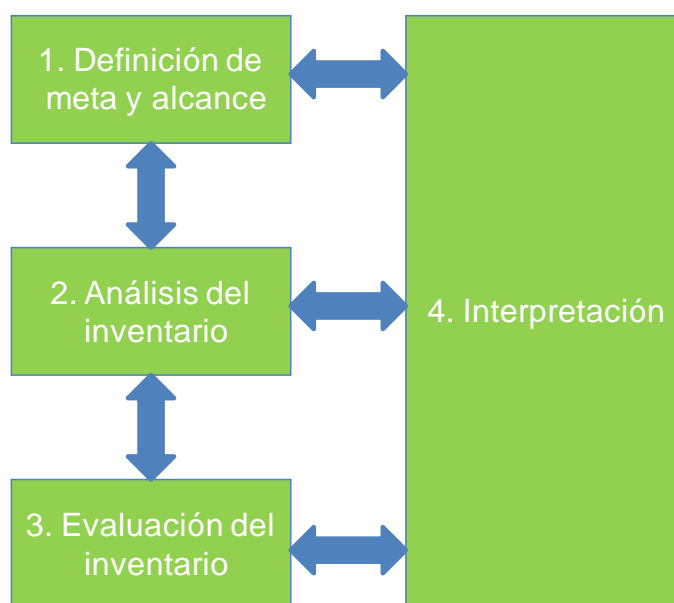


Figura 4 – Metodología de Análisis de Ciclo de Vida.

La información recolectada se procesó, analizó y evaluó utilizando el software² TEAM™ y sus bases de datos para ACV llamadas DEAM™.

² Detalles del software se encuentran en el Anexo B

Para desarrollar cada una de las fases del estudio se contemplaron las actividades listadas a continuación:

3. 1 - Definición de la meta y alcance del estudio

El alcance del estudio, se definió por personal de la empresa, la selección de la metodología de evaluación de impactos ambientales estuvo a cargo del CMP+L.

3.1.1 - Objetivo del estudio

El objetivo del estudio fue evaluar el desempeño ambiental de un producto determinado (Producto ACV 2007-2008) antes y después de un cambio en la formulación (Producto ACV 2008-2009). Las modificaciones al producto se realizaron en Noviembre de 2008, y consistieron en:

1. Aumento de catalizador en “Dorsos L2”
2. Aumento de adhesivo y agua en “Maker”
3. Reducción de relleno en “Sizer”
4. Reducción de tensoactivos en “Sizer”

La empresa definió que el Gerente y el Coordinador de Seguridad e Higiene y Medio Ambiente fueran los contactos entre la empresa y el CMP+L, ellos con ayuda de su equipo de trabajo fueron los encargados de recolectar y consolidar la información.

Se pretende utilizar el estudio internamente, en caso de decidir compartir los resultados, sería con algunos de los clientes que utilizan el producto analizado.

3.1.2 - Alcance del estudio

Este estudio considera la extracción y fabricación de las principales materias primas e insumos utilizados para fabricar el producto analizado. El producto analizado tiene dos presentaciones: Grano fino y Grano grueso.

Se consideraron la totalidad de los flujos que intervienen en la etapa de manufactura.

Debido a la naturaleza del producto y a que su uso es manual, no se requieren combustibles durante su etapa de uso, los únicos flujos que se consideraron en el estudio fueron los polvos de desbaste y desgrane.

Las actividades de disposición final no están contempladas en este estudio, sin embargo, se cuantificaron todos los flujos de residuos en TEAM™.

3.1.3 - Unidad funcional

La unidad funcional utilizada fue: “unidad/m²” ya que de manera general, la empresa gestiona la producción y operación de sus instalaciones y procesos en esa misma unidad, a su vez, esta unidad nos permite comparar el producto estudiado de forma clara y objetiva.

3.1.4 - Limites del sistema

El producto se produce en tres plantas de la compañía, la distancia a la que se encuentran cada una de las plantas no es significativa, de hecho se encuentran sobre la misma calle. Las plantas se ubican en el Estado de México.

El producto estudiado utiliza tres materias primas con origen en el extranjero (China, Suiza y Alemania), el estudio contempla el transporte de esas materias primas. El transporte de las demás materias primas se excluyó del alcance ya que la mayoría provienen de áreas cercanas y son pocas (y en menor volumen) las que provienen del interior de la República Mexicana.

La energía y emisiones asociadas al transporte desde la planta a las instalaciones del cliente quedaron fuera del alcance ya que no representan una distancia significativa.

3.1.5 - Requisitos de calidad de datos

Los datos fueron recopilados por personal de la empresa. Una vez finalizado el proceso de recolección, el CMP+L procedió a realizar un ejercicio de validación de la información recolectada en la que se solicitó información de soporte de los datos presentados para asegurar la completitud y precisión en la información que requiere el estudio.

Los inventarios de ciclo de vida de los flujos de materias primas, energía e insumos utilizados para la EICV se obtuvieron de las bases de datos DEAM™ que utiliza el TEAM™.

3.1.6 - Consideraciones

Muchos de los equipos de la empresa son antiguos, por lo que en ocasiones no se contó con información de placas (principalmente los motores). En esos casos se determinaron valores en función de la edad de los equipos, en conjunto con el departamento de mantenimiento y producción para la asignación de eficiencias y consumos energéticos. El mismo criterio se utilizó en todos los procesos.

3.1.7 - Selección de método de evaluación y categorías de impacto

Una buena práctica para la determinación de las categorías de impacto ambiental a evaluar es un comparación de estudios previos y seleccionar aquellos impactos que hayan sido evaluados con mayor frecuencia, en este caso, no hay estudios de ACV particulares para abrasivos revestidos. Por lo anterior, se optó por aplicar las agrupaciones y categorías de impacto ambiental de la Tabla 7 al ACV realizado.

El método de evaluación que se utilizó para este estudio fueron los factores de caracterización publicados por el Institute of Environmental Sciences (CML) de la Universidad de Leiden, Países Bajos (CML 2000³)

³ Una breve descripción del CML 2000 se incluye en el Anexo D

Tabla 7 – Clasificación y Tipos de Impactos ambientales analizados.

Alcances de afectación	Sigla	Categoría de impacto y unidades	Unidad	Posibles consecuencias y repercusiones
Global	GEI	Gases Invernadero Efecto	$g_{eq}CO_2$	Derretimiento de polos, pérdida de humedad en suelo, cambios en temporadas, cambio/pérdida de bosques, cambios en los patrones de vientos y océanos.
	AOE	Agotamiento de ozono estratosférico	$g_{eq}CFC-11$	Incremento de la radiación ultravioleta.
	ARA	Agotamiento de recursos abióticos	$Kg_{eq}Sb$	Reducción de recursos para generaciones futuras.
Regional	FOx	Formación de foto-oxidantes	$g_{eq}Etileno$	Smog, reducción de visibilidad, irritación de ojos y vías respiratorias, daños a la vegetación.
	AcA	Acidificación del aire	$g_{eq}SO_2$	Corrosión de edificaciones, acidificación de cuerpos de agua, efectos adversos en la vegetación y el suelo.
Local	EU	Eutroficación	$g_{eq}(PO_4)^{3-}$	Aumento de nutrientes en cuerpos de agua como lagos y estuarios provocando un crecimiento excesivo de vegetación y disminución del oxígeno disuelto.
	TxH	Toxicidad Humana	$g_{eq}1,4-DCB$	Aumento de la mortandad y mortalidad.
	TxA	Toxicidad acuática	$g_{eq}1,4-DCB$	Disminución de la producción y biodiversidad de plantas e insectos así como reducción de las actividades comerciales y de recreación.
	TxT	Toxicidad terrestre	$g_{eq}1,4-DCB$	Disminución de la producción y biodiversidad, reducción de vida silvestre.

Tomados de [Guinée, 2002]

En el anexo E se incluyen los listados de los compuestos que se consideraron en este estudio para el cálculo de los impactos ambientales, así como sus factores de equivalencia.

3.2 - Análisis de inventarios de Ciclo de Vida (ICV)

Esta es la parte del estudio que requirió de un mayor esfuerzo, ya que es aquí donde se realizó la identificación de todas las corrientes o flujos de materia y energía que conforman el ciclo de vida del producto de estudio, además se realizó la recolección y consolidación de la información.

Para obtener los datos con los que se construyeron los ICV, se elaboraron cuestionarios de recolección de datos⁴, estos datos fueron recolectados en planta por personal de la empresa, utilizando los cuestionarios de recolección de información que preparó el CMP+L.

La empresa alimentó los cuestionarios y el CMP+L los asesoró en cuanto a la significancia de la información requerida y en ocasiones, la fuente de la misma. Las fuentes de información fueron: bitácoras de operación, órdenes de producción, especificaciones internas, bitácoras y registros de residuos peligrosos y no peligrosos, especificaciones técnicas de equipos y registros de mantenimiento. El personal de la empresa alimentó los cuestionarios considerando exclusivamente los consumos del producto estudiado y se aseguró que los datos no incluyeran los consumos de otras líneas de producción ni de otros productos. La empresa dedicó especial atención para incluir en los cuestionarios los consumos de electricidad de los compresores (asociado a aire comprimido), para lo cual realizaron una revisión de los registros de operación de los compresores, determinaron los consumos horarios y cruzaron los datos contra los registros de producción, para determinar el consumo eléctrico del producto asociado a los compresores.

Los datos registrados en los cuestionarios corresponden exclusivamente a los consumos directos del producto, no se incluyeron los correspondientes a los servicios generales tales como: descargas de agua de servicios, iluminación de áreas comunes, áreas operativas, oficinas, comedores, etc.

El producto estudiado tiene dos presentaciones, a pesar de ello no fue necesario recolectar datos para cada tipo de producto, debido a que la diferencia entre estos dos productos radica en el tamaño del abrasivo, lo que le da al producto la especificación de

⁴ Ejemplo de los cuestionarios utilizados para la recolección de datos en el Anexo A.

fino o grueso. El proceso y materias primas utilizadas para cada tipo de producto son las mismas.

Al final del proceso de recolección de información se realizó una validación de los datos para asegurar la completitud y trazabilidad de la información.

La selección de datos fue de un año antes de la modificación al proceso y un año después, el primer periodo fue de Noviembre de 2007 a Noviembre de 2008 y en segundo periodo de Noviembre de 2008 a Noviembre de 2009, tal como lo indica la nomenclatura de los productos analizados.

Una vez que el CMP+L recibió los cuestionarios de recolección de datos para cada producto: Producto ACV 2007-2008 y Producto ACV 2008- 2009, se procedió a relacionar todos los flujos a la unidad funcional, para posteriormente alimentarlos al TEAM™ y generar un ICV para cada producto.

Como se mencionó anteriormente, los ICV de las materias primas que utiliza el proceso se obtuvieron de las bases de datos DEAM™ que utiliza el TEAM™. Dentro de las principales bases de datos utilizadas tenemos: Producción de electricidad (México), Producción y uso de gas natural, Producción de insumos y materias primas (sustancias químicas) y Transporte. A excepción de la electricidad, las demás bases de datos son de origen Europeo.

Es importante mencionar que los datos recolectados del proceso no incluyen datos de descarga de agua, debido a que las características de las corrientes de agua generadas en el proceso productivo son clasificadas por la normatividad ambiental mexicana como un residuo peligroso. Esos flujos fueron considerados por TEAM™ en el cálculo de ICV.

Para la recolección de datos y cálculo de inventarios de ciclo de vida se contemplaron los principios básicos de las principales guías internacionales utilizadas para el cálculo de inventarios de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) tales como:

- *Greenhouse Gas Protocol: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard* del World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
- *PAS 2050:2008 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services* del British Standards Institution (BSI).

- *Guide to PAS 2050:2008 – How to assess the carbon footprint of goods services* del BSI.
- *Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard* del WRI y WBCSD.

Para la validación y evaluación de la calidad de los inventarios se realizó tomando en cuenta lo establecido en:

- *Guidelines for Assessing the Quality of Life-Cycle Inventory Analysis* de la Environmental Protection Agency (EPA)
- *Life Cycle Assessment: Best Practices of ISO 14010 series* de la (Asia-Pacific Economic Cooperation) APEC

3.3 - Evaluación de Inventarios de Ciclo de Vida (EICV)

El proceso de evaluación de inventarios de ICV fue realizado con el software TEAM™, utilizando los factores de caracterización del CML 2000.

El proceso de evaluación de impactos ambientales que realiza el software se ejemplifica con un caso ficticio en la Figura 5. En ella se aprecia que el software desglosa todas las sustancias (flujos) involucrados en el ICV, para posteriormente asociarlos a un impacto ambiental.

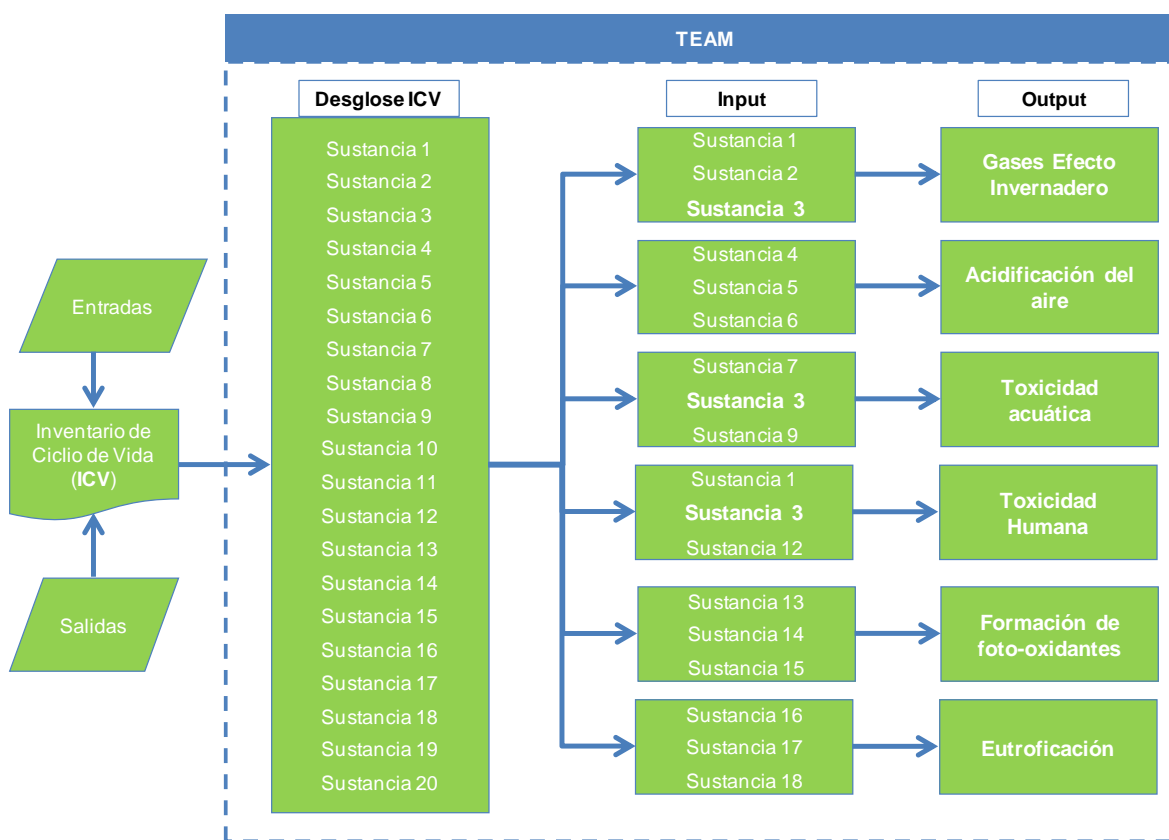


Figura 5 – Análisis de Inventarios de Ciclo de Vida (AICV).

Cada impacto ambiental se calcula multiplicando un factor de caracterización propio del método (en este caso, el CML 2000) por la cantidad de esa sustancia determinada en el ICV. Por ejemplo, el cálculo de la categoría de impacto ambiental llamada “Gases Efecto

Invernadero (GEI) [=] CO_{2eq}”, considera seis gases, en el listado se presenta la equivalencia de 1 tonelada de cada gas a toneladas equivalentes de CO₂:

- Dióxido de carbono (CO₂) → 1 ton CO_{2eq}
- Metano (CH₄) → 21 ton CO_{2eq}
- Óxido nitroso (N₂O) → 310 ton CO_{2eq}
- Hidrofluorocarbonos (HFCs) → 740 ton CO_{2eq}
- Perfluorocarbonos (PFCs) → 1,300 ton CO_{2eq}
- Hexafluoruro de Azufre (SF₆) → 23,900 ton CO_{2eq}

El TEAM™ clasifica automáticamente los flujos que componen al ICV y los multiplica por los factores de caracterización propios de cada categoría de impacto. Considerando el ejemplo de GEI, en caso de que el ICV analizado solo contenga dos de los seis gases considerados por esta categoría de impacto, el software solo considerará estos dos flujos, sin generar un error por falta de flujos.

Como se observa en la Figura 5, la “Sustancia 3” tiene influencia en más de una categoría de impacto ambiental. El programa considera de manera individual todos los flujos del ICV para el cálculo de cada impacto ambiental, por lo tanto, no se consideran como “doble contabilidad” las situaciones en que un mismo flujo participa en el cálculo de dos o más categorías de impacto.

Cuando un flujo no participa en el cálculo de impactos ambientales (Sustancia 19 y Sustancia 20 de la Figura 5), las cantidades de esos flujos se contemplan únicamente en el ICV, más no en la EICV.

Para facilitar el análisis de los datos, las categorías de impacto ambiental consideradas en este estudio se agrupan en función de sus alcances de afectación: Global, Regional y Local.

3.4 - Interpretación de resultados

La interpretación es la fase del ACV en donde los resultados y hallazgos del ICV y de la EICV se consideran conjuntamente.

En la fase de interpretación se buscaron las respuestas a las cuestiones planteadas en los objetivos y se determinaron las conclusiones del estudio, así como las posibles fallas y limitaciones.

Los resultados de esta etapa deben ser lo suficientemente claras para que los tomadores de decisiones exploten todas las ventajas del ACV. Existen dos elementos clave en la etapa de interpretación: Identificación de aspectos significativos y desarrollo de conclusiones.

Identificación de aspectos significativos del proceso productivo

Los resultados de la EICV se analizaron para ver qué material, componente o etapa del ciclo de vida del producto fue la que tuvo una mayor participación en la cuantificación de los impactos ambientales.

Determinación de conclusiones y recomendaciones

En función de los resultados de la etapa anterior, se determinó cuál de las dos formulaciones presenta un mejor desempeño ambiental y funcional.

4 – RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 - Cálculo de Inventarios de Ciclo de Vida (ICV)

Al final de esta etapa, se generaron dos ICV alimentando la información recolectada en el software TEAM™, uno para el producto “ACV 2007-2008” y otro para el producto “ACV 2008-2009”. Los resultados de esos inventarios se muestran en la Tabla 8. En TEAM™ se creó un sistema que consistía de dos grandes bloques⁵: **Producción** y **Uso**. La etapa de producción se desarrolló considerando las etapas y proceso que se mencionaron en las Tablas 3, 4 y 5, resumiendo tenemos:

- **Etapa de producción global:**
A1.Prod_dorso, A2.Prod_AbrasRevestido, A3.Terminado
- **Producción del dorso (A1.Prod_dorso):**
A1.1-DorsosL1, A1.2-DorsosL2, A1.3-DorsosL3, A1.4-Enrollado
- **Producción Abrasivo Revestido (A2.Prod_AbrasRevestido):**
A2.5-Maker, A2.6-Tunel, A2.7-Sizer, A2.8-Tunel_enrolladora
- **Etapa de producto terminado y empaque (A3.Terminado):**
A3.Terminado

La etapa de producto terminado no fue necesario desglosarla debido a que las operaciones unitarias que se realizan son significativamente más sencillas que las etapas de producción del dorso y del abrasivo revestido. Adicionalmente, el porcentaje de los impactos ambientales no es significativo en comparación al resto de la etapa productiva.

La etapa de uso fue sumamente sencilla, ya que en ésta solo se consideraba que entraba 1 m² de abrasivo revestido y como salidas tres flujos: polvos de desbaste, polvos de desgrane y abrasivo revestido usado, este último se manejó en TEAM™ como “Residuo Municipal industrial⁶”, los otros dos polvos no se incluyeron en esta categoría para analizar debido a su compleja composición (mezcla de abrasivo, adhesivos, tensoactivos, etc.), el software no los puede interpretar/manipular como un flujo elemental que pueda ser evaluado de manera directa a través de los factores de caracterización.

⁵ En el anexo C se incluyen impresiones de pantalla que muestran el proceso estudiado en TEAM™

⁶ Las categorías o tipos de residuos son definidas directamente por TEAM™

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

Tabla 8 – Inventario de Ciclo de Vida (ICV) de los productos estudiados.

Tipo	Flujo	Unidad/m ²	ACV 2007-2008	ACV 2008-2009
Entradas	Agua ⁷	L	2.83	2.40
	Electricidad	kWh	1.30	1.32
	Recursos Naturales ⁸	kg	0.8	0.86
	Materias primas e insumos ⁹	kg	4.54E-02	4.03E-02
Salidas	Emisiones al aire ¹⁰	kg	3,632	3,283
	Descargas al agua ¹¹	kg	779	319
	Descargas al suelo ¹²	g	6.89E-02	4.99E-02
	Residuos ¹³	g	645	782

Notas del inventario:

- Las cantidades de la Tabla 8 se encuentran referenciadas a la unidad funcional: unidad/m² de abrasivo revestido y son el resumen de 191 flujos que entran al proceso y 571 compuestos que salen del proceso. En total cada ICV se compone de 762 flujos.
- Este inventario representa los consumos desde la producción y extracción de materias primas, la producción del abrasivo revestido y su uso.
- Las cantidades de Recursos Naturales influye en el cálculo de ARA.
- Las cantidades de Emisiones al Aire influyen en el cálculo de: AcA, TxA, AOE, EU, GEI, TxH, FOx y TxT.
- Las cantidades de Descargas al Agua y de Descargas al Suelo influyen en el cálculo de: TxA, EU, TxH y TxT.

⁷ Agua, se consideran las siguientes fuentes: Subsuelo, lagos, red municipal, ríos, mar, pozos, orígenes no especificados y agua para enfriamiento.

⁸ Se refiere a los recursos naturales generalmente disponibles en el suelo: Gas Natural, Petróleo, Carbón, Minerales, Sales, etc.

⁹ Este rubro lo componen 28 materiales.

¹⁰ Emisiones al aire considera la masa de 171 sustancias emitidas a la atmósfera.

¹¹ Descargas al agua considera la masa de 147 sustancias descargadas en corrientes de agua.

¹² Descargas al suelo considera la masa de 56 sustancias descargadas al suelo.

¹³ Residuos considera 19 tipos de residuos: peligrosos, no peligrosos, industriales, etc.

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Figura 6 se observa el consumo desglosado de agua de la Tabla 8 para cada una de las etapas de la producción. En ambos casos, la etapa A.2.Prod_AbrasRevestido es la más intensiva en uso de agua, a pesar de que el consumo total de agua disminuyó para el nuevo producto, este aumentó en el subproceso que tiene un mayor consumo de agua. Lo anterior, debido a que la nueva formulación del producto contempla una nueva proporción de materias primas, en este ejemplo podemos apreciar cómo se ven afectadas la distribución del uso de agua en función de la nueva formulación.

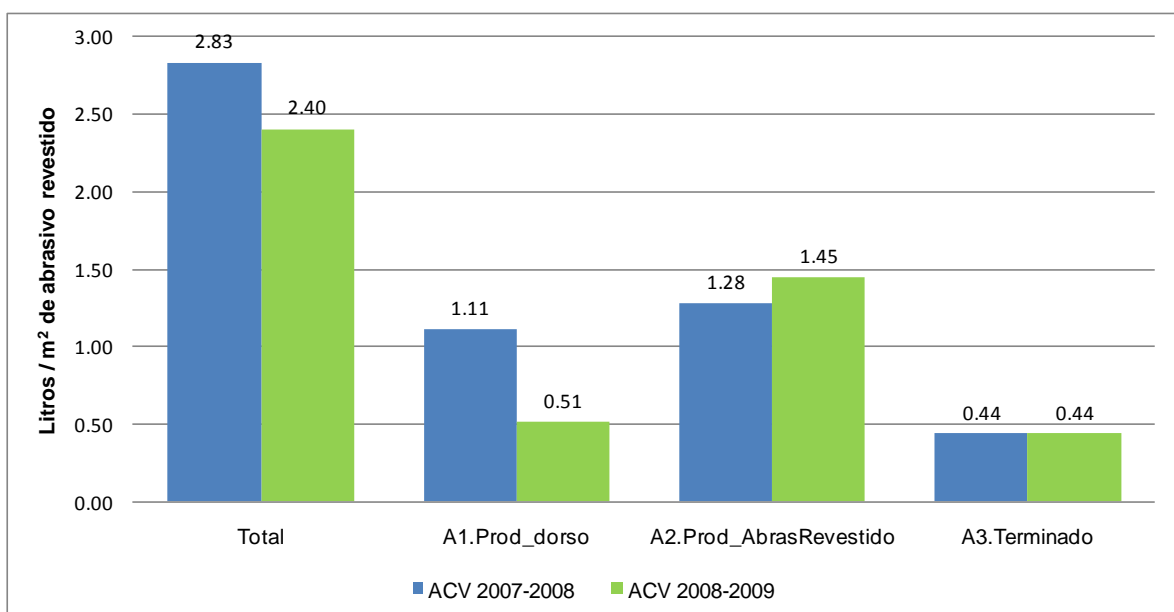


Figura 6 – Distribución del consumo de agua total y por etapa de producción.

El consumo de electricidad es un aspecto que en caso de ser gestionado se traduce en fuertes ahorros económicos para la empresa. En la Figura 7 se distingue como el mayor consumo de electricidad está en la etapa de producción del dorso.

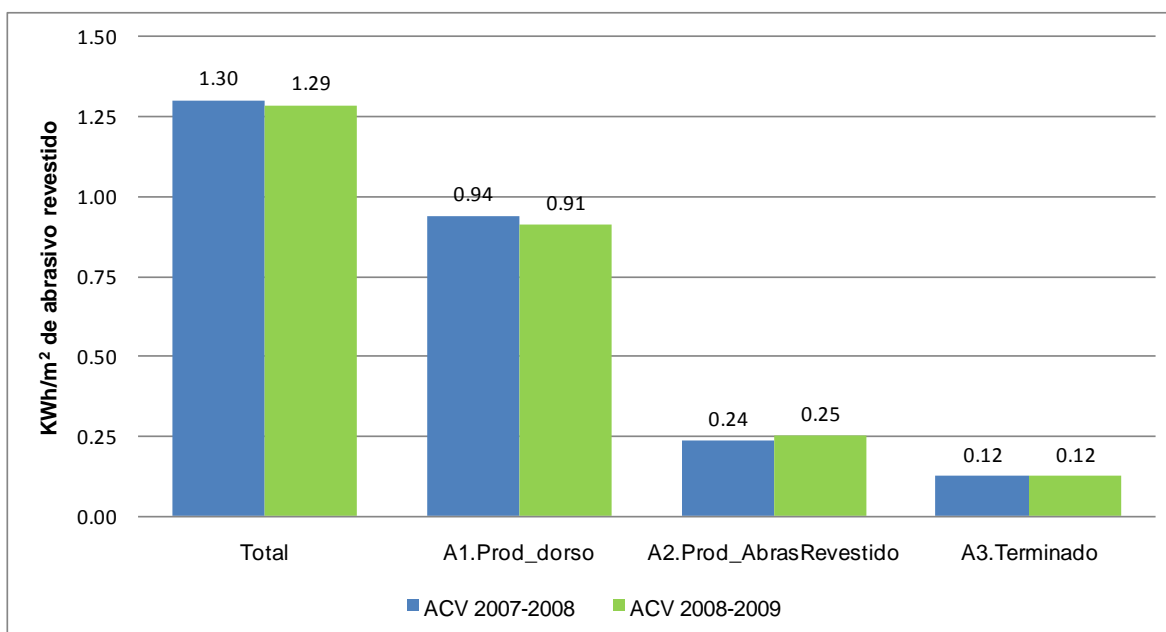


Figura 7 – Distribución del consumo de electricidad en las etapas de producción.

En las figuras anteriores se desglosaron por proceso los consumos tanto de agua como de electricidad, ya que este tipo de flujos no son considerados para el cálculo de impactos ambientales en la EICV por el software TEAM™ debido a que no se les puede asignar un factor de caracterización del CML 2000. Para tener un mejor entendimiento de la participación que tuvieron los demás componentes de los ICV en el cálculo de impactos ambientales es preferible presentar los porcentajes de aquellos compuestos que se encontraron en mayor volumen.

En la Figura 8 se muestran los principales recursos naturales que se utilizan en el proceso estudiado, destacando el uso de Gas Natural, petróleo y carbón. En el producto ACV 2008-2009 se presenta un fuerte aumento del uso de Bauxita (Al_2O_3), la cual se considera en el cálculo de ARA, sin embargo, este aumento no representó un factor significativo para el desempeño ambiental del producto estudiado, ya que el factor de caracterización de este compuesto es menor que los otros compuestos (Ver tabla 20).

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

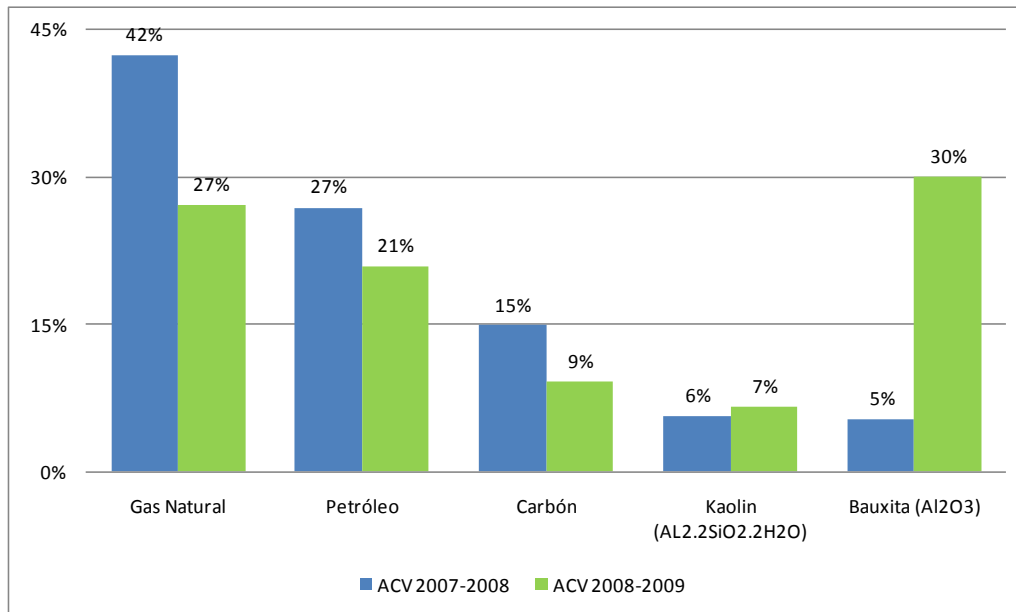


Figura 8 – Porcentaje de los principales Recursos Naturales utilizados en el proceso.

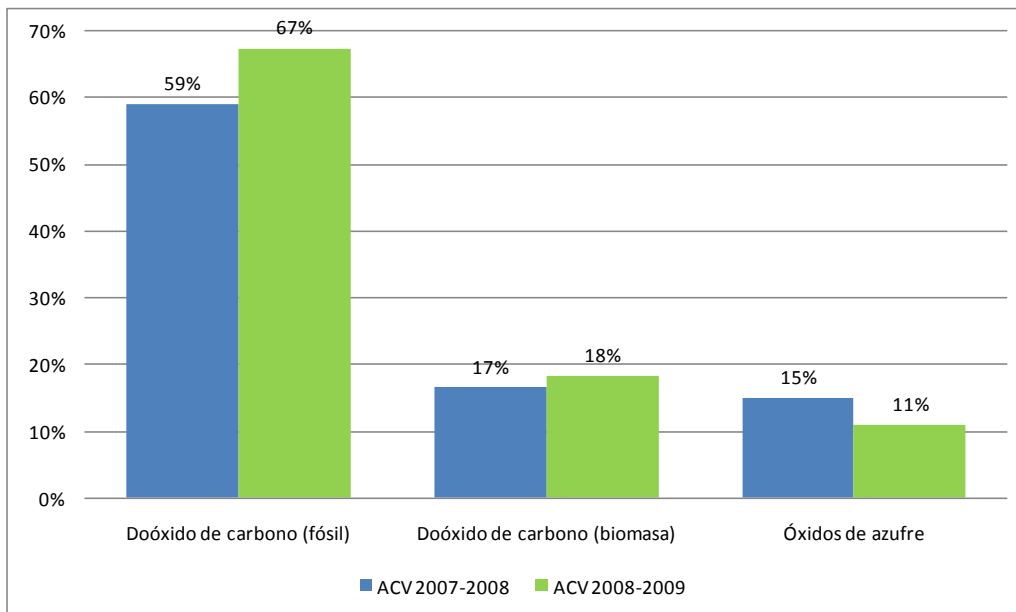


Figura 9 – Porcentaje de los principales tipos de sustancias emitidas al aire.

De los ICV de los productos estudiados podemos observar que la emisión de las tres sustancias que aparecen en la Figura 9 representan más del 90% del volumen de

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

sustancias que se ven involucradas en la fabricación del producto estudiado, es sumamente notorio que el dióxido de carbono (tanto de origen fósil como de biomasa) es un compuesto sobre el cual se deben enfocar los esfuerzos de gestión de la empresa.

Los ICV señalan que los compuestos que se descargan al agua son principalmente cloruros y sodio, el proceso ACV 2008-2009 redujo drásticamente su emisión de sodio y se quedó prácticamente sólo con los cloruros, que representan un 99.9981% de volumen de contaminantes. Lo anterior debido nuevamente a las nuevas proporciones de materias primas e insumos en la nueva formulación del producto estudiado.

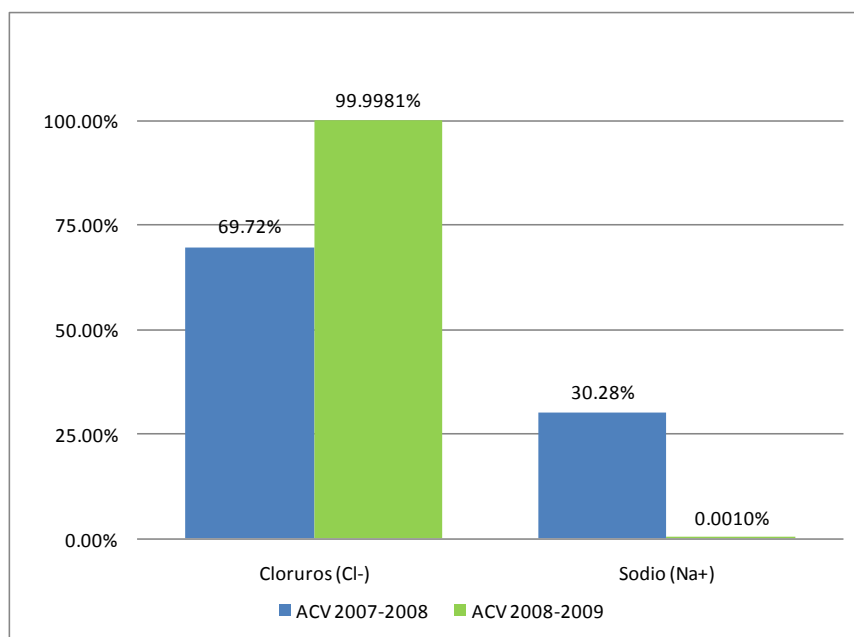


Figura 10 – Porcentaje de los principales compuestos descargados al agua.

En lo que respecta a las descargas al suelo identificadas en los ICV, son 5 los compuestos que integran el 90% del volumen de las sustancias descargadas al suelo. En el producto ACV 2008-2009, el Calcio y el Nitrógeno son los compuestos que deben ser considerados con mayor importancia. Para observar la distribución de los demás compuestos ver la Figura 11.

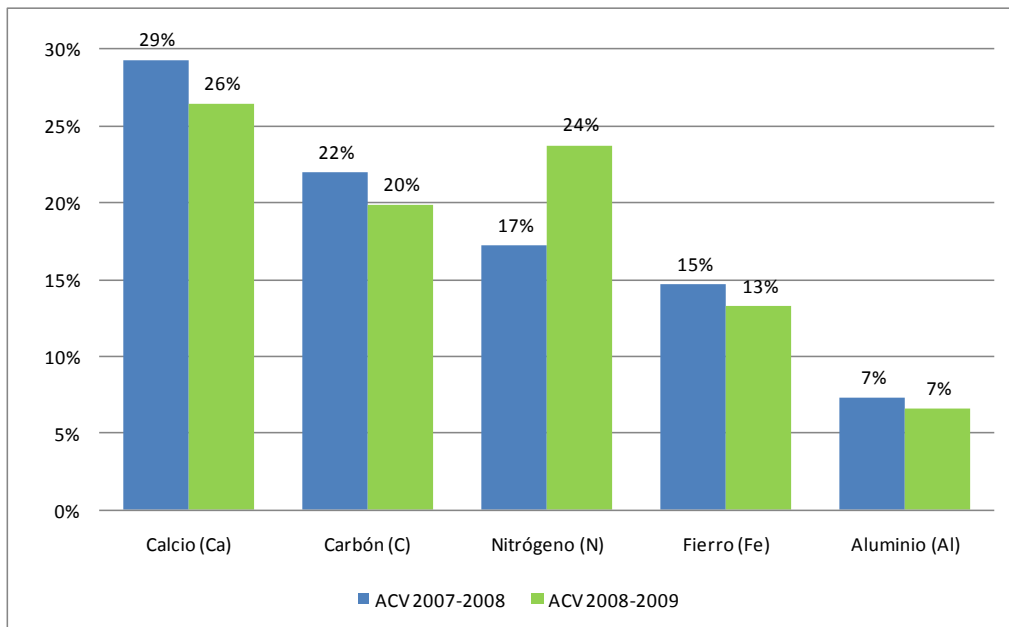


Figura 11 – Porcentaje de los principales compuestos descargados al suelo.

A partir de los ICV, el software TEAM™ identificó un listado de 19 residuos, de los cuales 7 representan el 99% del volumen de residuos que se generan en el proceso (promedios de los ICV tanto para el ACV 2007-2008 y ACV 2008-2009), siendo los residuos de minería los que representan un 35% en volumen, los residuos peligrosos y los municipales industriales son los que representan el segundo lugar en porcentaje de aporte, y son éstos los tipos de residuos que se generan directamente en la planta, por lo tanto, son sobre los que se puede hacer gestión en la empresa. En la Figura 12 se presenta la distribución de los demás residuos, así como el comparativo con el año anterior.

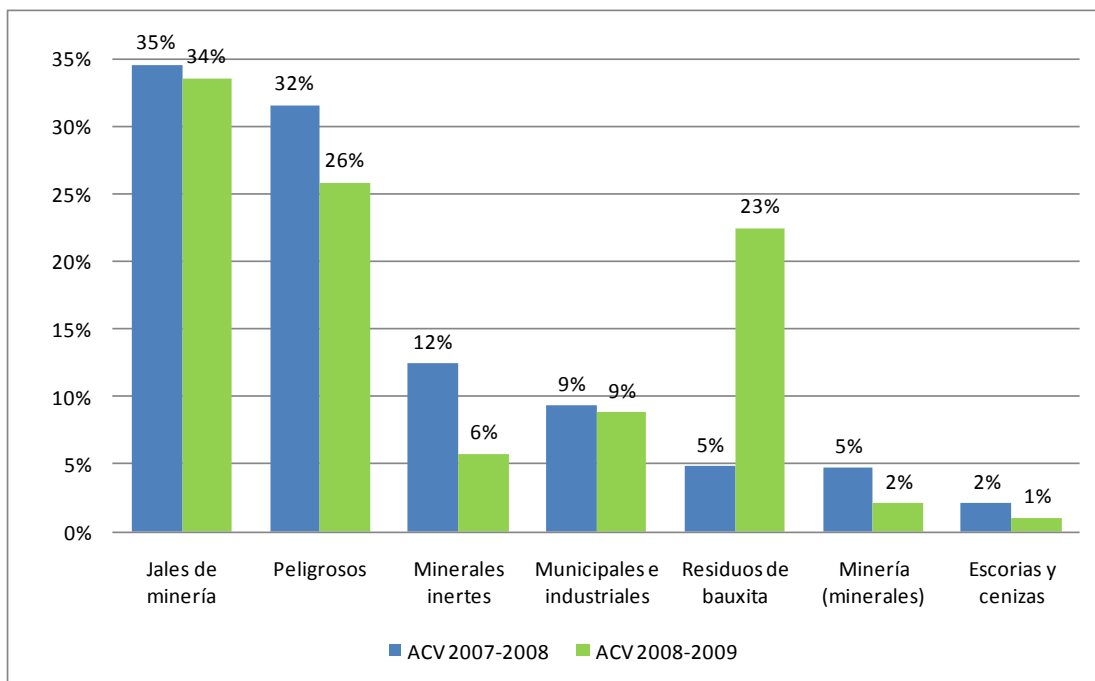


Figura 12 – Porcentaje de los principales tipos de residuos generados.

4.2 - Evaluación de Inventarios de Ciclo de Vida (EICV)

Para el desarrollo de esta etapa del proyecto se utilizó el TEAM™, el cual correlacionó los flujos del ICV a las categorías de impacto ambiental que se decidieron evaluar en la Tabla 7 y calculó los impactos ambientales utilizando como metodología al CML 2000. Los resultados de esa evaluación aparecen en la Tabla 9. En la última columna se presenta la relación de cambio del Producto ACV 2007-2008 al Producto ACV 2008-2009.

Tabla 9 – Resultados de la EICV de los productos estudiados.

Alcances de afectación	Sigla	Categoría de impacto ambiental	Unidad	ACV 2007-2008	ACV 2008-2009	Relación de cambio ¹⁴
Global	GEI	Gases Efecto Invernadero*	$g_{eq}CO_2$	1,559.89	1,161.87	0.74
	AOE	Agotamiento de ozono estratosférico	$g_{eq}CFC-11$	3.29E-04	2.01E-04	0.61
	ARA	Agotamiento de recursos abióticos	$Kg_{eq}Sb$	1.23E-02	9.14E-03	0.74
Regional	FOx	Formación de foto-oxidantes*	$g_{eq}Etileno$	0.29	0.22	0.76
	AcA	Acidificación del aire*	$g_{eq}SO_2$	11.82	9.68	0.82
Local	EU	Eutroficación	$g_{eq}(PO_4)^{3-}$	0.41	0.34	0.85
	TxH	Toxicidad Humana	$g_{eq}1,4-DCB$	334.65	206.82	0.62
	TxA	Toxicidad acuática	$g_{eq}1,4-DCB$	35.37	21.77	0.62
	TxT	Toxicidad terrestre	$g_{eq}1,4-DCB$	10.23	6.24	0.61

* Categorías de impacto ambiental identificadas como aspectos ambientales significativos, en las secciones posteriores se detalla el proceso de selección.

Una de las cualidades del ACV es que permite identificar aquellas etapas de los procesos analizados para determinar cuáles son las que tienen un mayor aporte de contaminantes y así poder tomar decisiones sobre los procesos o actividades en las que se enfocarán los

¹⁴ La relación de cambio se calculó dividiendo el resultado de la categoría de impacto del producto ACV 2008-2009 entre el resultado del producto ACV 2007-2008. Si el resultado es menor a 1, se considera que hay menos presión al ambiente.

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

esfuerzos de las empresas para mejorar el desempeño ambiental de sus productos. En las Tablas 10 y 11 se presentan los resultados a través de las tres grandes fases: producción del dorso, producción del abrasivo revestido y producto terminado. Las Tablas 12 y 13 desglosan los resultados en todos los subprocesos de la fabricación del producto estudiado. La etapa de terminado consta de procesos físicos y mecánicos que no involucran el uso de químicos, el cambio realizado en la formulación del producto analizado no tiene efecto en este proceso, debido a ello, esta etapa fue excluida de análisis posteriores.

Tabla 10 – Resultados de la EICV del Producto ACV 2007-2008 para las tres etapas de producción.

Tipo de impacto y Unidad		ACV 2007-2008	A1.Prod_dorso	A2.Prod_Abras Revestido	A3.Terminado
GEI	$g_{eq}CO_2$	1,559.89	991.25	370.61	198.02
AOE	$g_{eq}CFC-11$	3.29E-04	2.33E-04	6.46E-05	3.20E-05
ARA	$Kg_{eq}Sb$	1.23E-02	8.04E-03	2.83E-03	1.45E-03
FOx	$g_{eq}Etileno$	0.29	0.14E-01	1.31E-01	2.51E-02
AcA	$g_{eq}SO_2$	11.82	7.44	3.06	1.32
EU	$g_{eq}(PO_4)^{3-}$	0.41	2.37E-01	1.03E-01	6.43E-02
TxH	$g_{eq}1,4-DCB$	334.65	235.74	63.75	35.16
TxA	$g_{eq}1,4-DCB$	35.37	24.85	7.05	3.47
TxT	$g_{eq}1,4-DCB$	10.23	7.28	1.99	0.95

Tabla 11 – Resultados de la EICV del Producto ACV 2008-2009 para las tres etapas de producción.

Tipo de impacto y Unidad		ACV 2008-2009	A1.Prod_dorso	A2.Prod_Abras Revestido	A3.Terminado
GEI	$g_{eq}CO_2$	1,161.87	437.76	526.09	198.02
AOE	$g_{eq}CFC-11$	2.01E-04	8.53E-05	8.38E-05	3.20E-05
ARA	$Kg_{eq}Sb$	9.14E-03	3.74E-03	3.95E-03	1.45E-03
FOx	$g_{eq}Etileno$	0.22	6.15E-02	1.37E-01	2.51E-02
AcA	$g_{eq}SO_2$	9.68	2.93	5.43	1.32
EU	$g_{eq}(PO_4)^{3-}$	0.34	1.08E-01	1.72E-01	6.43E-02
TxH	$g_{eq}1,4-DCB$	206.82	88.58	83.09	35.16
TxA	$g_{eq}1,4-DCB$	21.77	9.31	8.99	3.47
TxT	$g_{eq}1,4-DCB$	6.24	2.73	2.56	0.95

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

Tabla 12 – Resultados de la EICV Producto ACV 2007-2008 para todos los subprocessos.

Tipo de impacto y Unidad		TOTAL	A1.1-DorsosL1	A1.2-DorsosL2	A1.3-DorsosL3	A1.4-Enrollado	A2.5-Maker	A2.6-Tunel	A2.7-Sizer	A2.8-Tunel_en rolladora	A3.Terminado
GEI	$g_{eq}CO_2$	1,559.89	32.13	233.28	692.65	33.19	195.73	10.84	135.64	28.41	198.02
AOE	$g_{eq}CFC-11$	3.29E-04	9.91E-06	2.97E-05	1.83E-04	1.02E-05	3.53E-05	2.06E-06	2.46E-05	2.75E-06	3.20E-05
ARA	$Kg_{eq}Sb$	1.23E-02	2.25E-04	2.31E-03	5.27E-03	2.32E-04	1.50E-03	7.83E-05	1.04E-03	2.10E-04	1.45E-03
FOx	g_{eq} Etileno	2.92E-01	4.49E-03	2.63E-02	1.01E-01	4.63E-03	6.78E-02	1.90E-03	5.55E-02	5.78E-03	2.51E-02
AcA	$g_{eq}SO_2$	11.82	0.28	1.35	5.51	0.29	1.83	0.06	1.09	0.09	1.32
EU	$g_{eq}(PO_4)^{3-}$	4.05E-01	6.66E-03	6.34E-02	1.60E-01	6.88E-03	5.95E-02	1.86E-03	3.78E-02	4.08E-03	6.43E-02
TxH	$g_{eq}1,4-DCB$	334.65	9.68	36.51	179.54	10.01	34.77	2.05	24.03	2.89	35.16
TxA	$g_{eq}1,4-DCB$	35.37	1.02	3.49	19.28	1.06	3.86	0.21	2.71	0.28	3.47
TxT	$g_{eq}1,4-DCB$	10.23	0.30	1.11	5.56	0.31	1.08	0.06	0.76	0.09	0.95

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

Tabla 13 – Resultados de la EICV Producto ACV 2008-2009 para todos los subprocesos.

Tipo de impacto y Unidad		TOTAL	A1.1-DorsosL1	A1.2-DorsosL2	A1.3-DorsosL3	A1.4-Enrollado	A2.5-Maker	A2.6-Tunel	A2.7-Sizer	A2.8-Tunel_en rolladora	A3.Terminado
GEI	$g_{eq}CO_2$	1,161.87	32.13	178.38	218.68	8.57	271.14	111.03	57.27	86.65	198.02
AOE	$g_{eq}CFC-11$	2.01E-04	9.91E-06	2.76E-05	4.51E-05	2.65E-06	2.86E-05	2.86E-05	5.82E-06	2.07E-05	3.20E-05
ARA	$Kg_{eq}Sb$	9.14E-03	2.25E-04	1.66E-03	1.79E-03	6.00E-05	2.06E-03	7.88E-04	4.81E-04	6.18E-04	1.45E-03
FOx	g_{eq} Etileno	2.23E-01	4.49E-03	2.17E-02	3.42E-02	1.20E-03	6.28E-02	1.72E-02	4.26E-02	1.39E-02	2.51E-02
AcA	$g_{eq}SO_2$	9.68	0.28	1.09	1.48	0.08	3.47	0.82	0.54	0.60	1.32
EU	$g_{eq}(PO_4)^{3-}$	3.44E-01	6.66E-03	4.55E-02	5.43E-02	1.78E-03	1.11E-01	2.13E-02	2.29E-02	1.62E-02	6.43E-02
TxH	$g_{eq}1,4-DCB$	206.82	9.68	31.58	44.73	2.59	28.95	28.14	5.54	20.46	35.16
TxA	$g_{eq}1,4-DCB$	21.77	1.02	3.10	4.91	0.27	3.14	2.94	0.78	2.13	3.47
TxT	$g_{eq}1,4-DCB$	6.24	0.30	0.96	1.39	0.08	0.87	0.87	0.19	0.63	0.95

4.3 - Interpretación de resultados

4.3.1 - Identificación de aspectos significativos del proceso productivo

De acuerdo a los cambios en los ICV del producto ACV2008-2009 respecto al producto ACV 2007-2008 que se muestran en la Tabla 8, los aspectos significativos cualitativos del producto estudiado y su orden de importancia son:

- **Primero:** Emisiones al aire y las emisiones al agua.
- **Segundo:** Residuos
- **Tercero:** Consumos de agua y electricidad

Emisiones al aire:

El producto ACV 2008-2009 presenta una reducción de 10.6% en este rubro. El Dióxido de carbono es el compuesto sobre el cual se deben enfocar los esfuerzos de gestión de la empresa ya que representa el 86% del volumen de emisiones de contaminantes al aire.

Descargas al agua:

En este rubro se logró una reducción de 144% del volumen de sustancias descargadas al agua. Son solo dos las sustancias que representan el mayor volumen de contaminantes: los cloruros y el sodio. Para el producto ACV 2008-2009, los cloruros participan con más de 99.99%

Residuos:

Los residuos peligrosos y los municipales e industriales son los que se generan directamente en el proceso productivo, para el producto ACV 2008-2009 representan el 26% y 9% respectivamente, los residuos de bauxita representan el 23% del volumen de residuos, si bien esta cantidad aumentó 18% respecto al año anterior, como lo vemos en el apartado de recursos naturales, este compuesto no se traduce en un impacto ambiental significativo. El mayor porcentaje de residuos identificados en el ICV fueron los de minería, debido a que la empresa no tiene influencia sobre la gestión de esos residuos, y

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

si fuera la intención de reducir la cantidad de residuos generados durante el ciclo de vida de su producto, es más conveniente que la empresa busque proveedores de materias primas que ofrezcan productos asociados a una generación menor de residuos.

Consumo de agua:

Se redujo un 17.7% el consumo de agua. Actualmente, el 60% del consumo de agua se realiza en la producción del abrasivo revestido, se pensaría que los esfuerzos de reducción de agua se deberían apuntar a ese proceso, sin embargo, no se debe de perder de vista que los volúmenes de agua del ICV consideran el agua utilizada por los procesos de extracción y producción de las materias primas. Dado que en la planta el mayor consumo de agua está asociado a la producción del dorso, es ahí donde se deben enfocar las acciones para minimizar la huella de agua¹⁵ del producto estudiado, pero cabe destacar que se logró una reducción muy favorable de agua en este proceso ya que el consumo bajó un 54%.

Consumo de electricidad:

Si bien el consumo eléctrico no se consideró como un aspecto significativo debido a sus magnitudes, este presentó una reducción del 1.2% entre un producto y otro. El principal consumo de electricidad se encuentra en la etapa de producción del dorso y es ahí donde claramente se deben realizar los esfuerzos de reducción del consumo eléctrico.

¹⁵ La huella de agua es la medición cuantitativa de la cantidad de agua que utiliza un producto a lo largo de su ciclo de vida.

Recursos Naturales:

A pesar de que aumenta la cantidad de recursos naturales utilizados para la fabricación del producto ACV 2008-2009, el desempeño ambiental, respecto al agotamiento de recursos abióticos no se ve afectado debido a la combinación de sustancias que participan en su cálculo (ver la tabla de agotamiento de recursos abióticos del Anexo D).

Destaca el uso de gas natural, petróleo y carbón y en el producto ACV 2008-2009 se presenta un fuerte aumento del uso de Bauxita (Al_2O_3), la cual se considera en el cálculo de agotamiento de recursos abióticos, sin embargo, este aumento no representa un factor significativo para el desempeño ambiental del producto estudiado, ya que no tuvo efecto sobre la cifra final.

Descargas al suelo:

Son 5 los compuestos que integran el 90% del volumen de las sustancias descargadas al suelo. En el producto ACV 2008-2009, los compuestos de Calcio y Nitrógeno son los que deben ser considerados con mayor importancia. Cabe aclarar que estas descargas al suelo no se realizan directamente por el proceso productivo de la empresa en donde se realizó esta tesis, esas descargas al suelo son consecuencia de la extracción y fabricación de materias primas e insumos que integran los ICV de estudio.

Ya que se han identificado cualitativamente los aspectos significativos del proceso, se prosigue a determinar si los resultados de la EICV para el Producto ACV 2008-2009 de la Tabla 12 son altos o bajos, en otras palabras, aceptables. Para ello se pueden comparar los resultados de la EICV contra una línea base, que pueden ser los resultados de estudios previos, el promedio para ese mismo producto, o la media del sector. Debido a que en este caso no se cuenta con ninguna de las anteriores, se procedió a relacionar los resultados de nuestra EICV y asociarlos a la problemática ambiental local y las iniciativas ambientales de empresas del mismo ramo para determinar que categorías de impacto serían consideradas como clave.

Gases Efecto Invernadero (GEI)

Actualmente, el cambio climático es un aspecto que ha tomado mucha fuerza e importancia entre todos los grupos de interés, así como en los objetivos, políticas y planes de acción de las grandes empresas. Considerando que del total de las emisiones al aire, el CO₂ representa el 86% del volumen total de las sustancias del ICV, nos hace clasificar a los GEI como un tipo de impacto ambiental significativo.

Agotamiento de ozono estratosférico (AOE)

Este fenómeno está directamente relacionado con el cambio climático, de las 8 sustancias del ICV del producto analizado, seis se contemplaron para el cálculo de GEI y solo dos no fueron contempladas: el Halon 1211 (CF₂ClBr) y el Cloruro de Metilo (CH₃Cl) con un aporte de 0.029% y 0.114%, respectivamente, para el total de AOE, por lo tanto esta categoría de impacto no se considerará como un aspecto ambiental significativo.

Agotamiento de recursos abióticos (ARA)

Este impacto ambiental tiene el objetivo de determinar la medida en la que los recursos son utilizados por el proceso analizado y cómo se reducirá la disponibilidad para generaciones futuras. Como se mencionó anteriormente, el gas natural, petróleo y carbón representan el 48%, 39% y 11% en el cálculo de este indicador, debido a que un porcentaje de estos consumos está asociado a los consumos de energía de los procesos de producción de las materias primas del producto, así como por la generación de electricidad y aunado al hecho de que la magnitud no es significativa, es decir 0.86 Kg por m², esta categoría de impacto no se considerará como un aspecto ambiental significativo.

Formación de foto-oxidantes (FOx)

Esta categoría de impacto ambiental se relaciona directamente a la emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's), los cuales son precursores de la formación de foto-oxidantes y smog. Debido a que a nivel regional, según el Inventario de emisiones contaminantes criterio de la ZMVM [SMA-GDF, 2008], éste es un problema característico de la zona y que las empresas similares¹⁶ lo toman como un punto de control, se clasifica a la FOx como un tipo de impacto ambiental significativo.

Acidificación del aire (AcA)

Esta categoría de impacto ambiental se expresa en $g_{eq}SO_2$. Tres sustancias se consideraron en el cálculo de este indicador, siendo el SO_2 y el NO_2 las más representativas con 88% y 12% de las emisiones, debido a que ambos compuestos están regulados por la normatividad ambiental mexicana, y a que el efecto de la acidificación de aire es un problema ambiental característico de la zona, se clasifica a la AcA como un tipo de impacto ambiental significativo.

Eutroficación (EU)

La EU es un tipo de impacto ambiental que se enfoca a los impactos adversos sobre cuerpos de agua. El proceso estudiado no tiene descargas de agua residual, por lo tanto, la gestión sobre este indicador no está dentro del alcance de la empresa, debido a ello esta categoría de impacto no se considerará como un aspecto ambiental significativo.

Toxicidad Humana (TxH), Toxicidad acuática (TxA) y Toxicidad terrestre (TxT)

Son muchos los compuestos del ICV que se consideraron para el cálculo de estas categorías de impacto ambiental; 103 para TxH, 99 para TxA y 99 para TxT. De las cuales, vanadio y níquel son los que aparecen en las tres categorías con mayores porcentajes. En primer plano, TxA no se considerará como un aspecto ambiental significativo, por las mismas razones que la EU. La TxT no se considerará como un

¹⁶ Ver iniciativas de 3M, empresa internacional dedicada a la fabricación de abrasivos http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/3M-Sustainability/Global/Environment/AirEmissions/

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

aspecto ambiental significativo debido a que el volumen de sustancias descargadas al suelo no es considerable, aunado al hecho de que las operaciones directas de la empresa no tienen contacto con terrenos de suelo natural. Por último, la TxH no se considerará como un aspecto ambiental significativo ya que no existen registros de enfermedades ni denuncias entre los pobladores o trabajadores relacionados a la exposición al vanadio o níquel, además de que las materias primas y sustancias manipuladas en el proceso no contienen este tipo de compuestos.

De acuerdo a la Tabla 8 y a la Figura 10, se hubiera esperado que los impactos ambientales relacionados con el agua fueran significativos y que entre éstos, se identificaran sustancias con cloro como principales precursores de este indicador, sin embargo, fueron otras las sustancias que dieron un mayor aporte al cálculo de impactos ambientales, por ejemplo, las consideradas en GEI o FOx.

En resumen, los **impactos significativos para el proceso estudiado** son:

- *Gases Efecto Invernadero (GEI)*
- *Formación de foto-oxidantes (FOx)*
- *Acidificación del aire (AcA)*

La determinación de estas categorías de impacto ambiental es coherente con los resultados de la Tabla 8 y de la Figura 9, en donde se identifica al dióxido de carbono y a los óxidos de azufre como los compuestos que en mayor volumen se emiten al aire, los cuales se relacionan a GEI y AcA respectivamente. Los compuestos que participan en la FOx, no aparecieron dentro de los porcentajes de emisión de la Figura 9 ya que como se explica en la Figura 5, un menor volumen de estos compuestos tiene la cualidad de generar un mayor aporte al cálculo de esa categoría de impacto, por ejemplo, algunos CFC's.

El hecho de que los demás impactos ambientales no hayan sido considerados como significativos, no tiene la intención de restarles importancia desde el punto de vista

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

ambiental. No debemos perder de vista que la intención del ACV es que los resultados de este estudio sean utilizados como una herramienta de gestión, o que se traduzcan en un fuerte apoyo con bases científicas sólidas para que los tomadores de decisiones de las empresas definan e implementen sus políticas, estrategias y líneas de acción. El considerar como significativos a algún otro de los demás impactos ambientales puede representar una disminución de recursos para enfrentar a aquellos aspectos que tienen un impacto mayor sobre el desempeño ambiental de la organización, en otras palabras, la intención del ACV es ayudar a las empresas a enfocar sus esfuerzos a los aspectos que representarán mayores beneficios realizando menos acciones.

No debemos perder de vista que los cambios en la formulación del producto se realizaron en los subprocesos:

- A1.2-DorsosL2
- A2.5-Maker y
- A2.7-Sizer

La etapa de producto terminado no tuvo cambios en su forma de operación, por lo tanto, tampoco en su desempeño ambiental. En la Tabla 14 se presentan los resultados de la EICV divididas por cada subproceso para todas las categorías de impacto ambiental evaluadas. También se presentan porcentajes de mejora, es decir, el porcentaje en que cada uno de los impactos cambió del Producto 2007-2008 al Producto 2008-2009.

A nivel global, el desempeño ambiental del Producto ACV 2008-2009 mejoró en todas las categorías de impacto ambiental evaluadas, sin embargo, cuando se analizan las variaciones de las categorías de impacto por subprocesos en la Tabla 14, en particular para A2.5-Maker, se puede ver que en cuatro ocasiones, el desempeño ambiental empeora y en dos de las ocasiones es sobre los impactos ambientales identificados como significativos para el producto estudiado.

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

Tabla 14 – Resultados de la EICV de los subprocesos modificados.

Alcances de afectación	Categoría de impacto ambiental Unidad		Producto	TOTAL	Subproceso			Porcentaje de cambio		
					A1.2-DorsosL2	A2.5-Maker	A2.7-Sizer	A1.2-DorsosL2	A2.5-Maker	A2.7-Sizer
Global	GEI	g _{eq} CO ₂	ACV 2007-2008	1,560	233	196	136	24%	-39%	58%
			ACV 2008-2009	1,162	178	271	57			
	AOE	g _{eq} CFC-11	ACV 2007-2008	3.29E-04	2.97E-05	3.53E-05	2.46E-05	7%	19%	76%
			ACV 2008-2009	2.01E-04	2.76E-05	2.86E-05	5.82E-06			
	ARA	Kg _{eq} Sb	ACV 2007-2008	1.23E-02	2.31E-03	1.50E-03	1.04E-03	28%	-38%	54%
			ACV 2008-2009	9.14E-03	1.66E-03	2.06E-03	4.81E-04			
Regional	FOx	g _{eq} Etileno	ACV 2007-2008	2.92E-01	2.63E-02	6.78E-02	5.55E-02	18%	7%	23%
			ACV 2008-2009	2.23E-01	2.17E-02	6.28E-02	4.26E-02			
	AcA	g _{eq} SO ₂	ACV 2007-2008	11.82	1.35	1.83	1.09	19%	-90%	50%
			ACV 2008-2009	9.68	1.09	3.47	0.54			
Local	EU	g _{eq} (PO ₄) ³⁻	ACV 2007-2008	4.05E-01	6.34E-02	5.95E-02	3.78E-02	28%	-87%	39%
			ACV 2008-2009	3.44E-01	4.55E-02	1.11E-01	2.29E-02			
	TxH	g _{eq} 1,4-DCB	ACV 2007-2008	335	37	35	24	14%	17%	77%
			ACV 2008-2009	207	32	29	6			
	TxA	g _{eq} 1,4-DCB	ACV 2007-2008	35.37	3.49	3.86	2.71	11%	19%	71%
			ACV 2008-2009	21.77	3.10	3.14	0.78			
	TxT	g _{eq} 1,4-DCB	ACV 2007-2008	10.23	1.11	1.08	0.76	13%	20%	75%
			ACV 2008-2009	6.24	0.96	0.87	0.19			

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

Otro enfoque para identificar los subprocesos sobre los que la empresa debería actuar para mejorar el desempeño ambiental del producto, es identificar de la Tabla 13 como se distribuye el aporte que cada uno tiene a las categorías de impacto ambiental, al realizarlo identificamos los promedios de aporte al total de las categorías de impacto y el orden de prioridad con el que convendría efectuar modificaciones al proceso, los resultados se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15 – Subprocesos identificados como prioritarios para gestionar el desempeño ambiental.

Prioridad	Subproceso	Promedio de aporte (%)
1	A2.5-Maker	22%
2	A1.3-DorsosL3	19%
3	A3. Terminado	16%
4	A1.2-DorsosL2	14%
TOTAL		71%

La Tabla 15 indica que enfocando los esfuerzos de la empresa a realizar mejoras en los 4 procesos mencionados, representaría actuar sobre la mitigación del 70% de los impactos ambientales asociados al producto.

La metodología del ACV de las normas ISO recomienda hacer un *análisis de sensibilidad* para identificar el efecto de las variaciones en las cantidades de sustancias, tales como materias primas, insumos o energéticos sobre el desempeño ambiental, en esta etapa también se puede manipular el ICV haciendo sustituciones de materiales o conjugar escenarios de uso del producto o hasta de disposición. Un análisis de sensibilidad es sumamente útil cuando la realización de un ACV se efectúa antes o en conjunto con la etapa de diseño de un producto ya que permite identificar los materiales y sus proporciones en las que se obtiene un mejor desempeño ambiental, aunado a los criterios técnicos y el conocimiento y experiencia del personal técnico de las empresas se logran desarrollar productos que cumplen con los más altos estándares de calidad operativa y ambiental.

IV – RESULTADOS Y ANÁLISIS

En nuestro caso de estudio, no es conveniente realizar un análisis de sensibilidad ya que actualmente el producto tuvo mejoras significativas en su desempeño ambiental, sin embargo, si la empresa lo decide se podrían enfocar los esfuerzos de mejora sobre la formulación del producto en el subproceso “A2.5-Maker” optando por una mezcla de sustancias o una selección de materias primas que ayuden a la reducción de GEI y AcA ya que para el producto estudiado, éstos son los impactos ambientales significativos, en segundo término se pueden considerar los aspectos referentes a ARA y por último la EU.

4.4 - Desempeño operativo del producto

Como se mencionó, el cambio de la formulación del producto se realizó debido a un requerimiento del cliente, ya que éste detectó que el producto se desgastaba muy rápido, es decir, que su tiempo de vida era muy corto. Esa variable se monitorea a través del desgrane, el cual indica la medida en que el abrasivo adherido al dorso se va perdiendo a través del uso del abrasivo revestido. En la empresa se realizan mediciones del desbaste y del desgrane a cada lote de producto producido. En la Tabla 16 se resumen los resultados promedios de dichas mediciones realizadas en periodos de un año, y se incluye el porcentaje de variación de un año a otro. En esa tabla podemos ver como en todos los casos se consiguió reducir tanto el desbaste como el desgrane. Debido a que el producto tiene un menor desgrane, significa que la vida útil del producto se aumentó, además, el desbaste de piezas también se redujo.

Tabla 16 – Resultados de las pruebas de desbaste y desgrane y, porcentajes de cambio.

Pérdidas (Kg/m²)	ACV 2007-2008	ACV 2008-2009	Porcentaje de cambio
Desbaste FIN	0.0341	0.0245	-39%
Desgrane FIN	0.0583	0.0168	-247%
Desbaste MED	0.0368	0.0224	-65%
Desgrane MED	0.0126	0.0124	-2%

5 - CONCLUSIONES

La totalidad de los impactos ambientales evaluados se redujeron de un producto a otro. Las tasas de reducción que presentó el Producto ACV 2008-2009 son sin duda bastante satisfactorias. Los objetivos de reducción que generalmente establecen las empresas oscilan en valores de aproximadamente 10%, en casos donde las metas son más ambiciosas, se establecen metas de aproximadamente 20%. La reducción más pequeña que alcanzó el Producto ACV 2008-2009 fue de 18% en EU, seguida por 22% en AcA, 31% en FOx y 34% en GEI. Los impactos que presentaron mayores reducciones fueron TxH y TxA con 62% y AOE y TxT con 64%. Considerando el último grupo de impactos, en donde se consiguieron reducciones de más del 60% en los niveles de contaminación, es bien sabido por las empresas que a pesar de dedicar esfuerzos y recursos, lograr más reducciones en procesos donde ya se han alcanzado resultados con niveles de reducción tan altos es sumamente complicado. Sin embargo, las categorías de impacto identificadas como significativas son las que menores reducciones obtuvieron, ese es otro factor que soporta el hecho de haber clasificado a estas categorías como los impactos ambientales significativos del proceso, ya que se consideraría conservador si la empresa decidiera enfocar sus esfuerzos de mejora del desempeño ambiental a esas tres categorías.

El hecho de que los valores calculados para los impactos ambientales del proceso A2.5Maker del Producto ACV 2008-2009 hayan aumentado, no significa que el cambio en la formulación fuera negativo, no hay que perder de vista que el ACV es una metodología que como resultado describe el desempeño ambiental de un producto bajo ciertas condiciones en un momento determinado, es decir, que los resultados no se pueden extrapolar a años anteriores ni futuros. El que las proporciones de materias primas e insumos hayan cambiado en la nueva formulación, nos permitió identificar los nuevos procesos a los cuales la empresa debería enfocar su atención para realizar futuras mejoras al desempeño ambiental del producto estudiado, esa cualidad de identificar los puntos hacia donde migran las cargas de contaminante, es una de las principales cualidades del ACV.

La maquinaria y equipo con el que cuenta la empresa están diseñados para trabajar con grandes volúmenes, es decir, que su máxima eficiencia en cuanto a producción y uso de recursos se obtiene cuando éstas operan sin cambios, o a máxima capacidad. Una mejora en el desempeño ambiental de la empresa se puede obtener al realizar una planificación detallada a mediano o largo plazo, con ello se ahorrará agua por concepto de lavado de equipos, así como electricidad y materias primas e insumos. La administración de la empresa expresó que en ocasiones, se prepara una cantidad mayor de adhesivos y tensoactivos de los que se ocupan y en poco tiempo reciben la instrucción de cambiar la producción, estos materiales ya no pueden ser reutilizados en el proceso y deben ser dispuestos como residuo peligroso, lo cual también es un aspecto que representa gastos a la empresa. Resumiendo, un proceso de planeación definido ayudará a la empresa a reducir costos por concepto de: agua, electricidad, residuos y materias primas.

En tema de contaminantes, sustancias, materias primas e insumos:

- El **dióxido de carbono** es el gas que el producto estudiado emite con mayor intensidad. Actualmente no existe una norma ambiental que regule este contaminante, sin embargo, la nueva Ley de Cambio Climático ya ha sido aprobada en México. Esta ley promoverá el desarrollo de políticas y por ende una nueva legislación. Por otro lado, las empresas líderes en temas ambientales realizan la medición de su huella de carbono, así como de sus productos principales, por lo tanto, es recomendable que la empresa comience a adoptar metodologías y a desarrollar infraestructura que la encaminen a desarrollar estrategias de gestión de carbono.
- Los **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's)** son los segundos en importancia para la empresa, tanto por los resultados de este estudio como por presión de las iniciativas de las empresas del mismo ramo. A la fecha no existe una norma ambiental para el Estado de México que obligue a la empresa a monitorear o controlar estos compuestos, sin embargo, el Distrito Federal ya ha publicado una norma local, la cual puede ser adaptada en el corto plazo por la administración del Estado de México, es por ello que es conveniente para la empresa comenzar a hacer gestión sobre este contaminante.

- Los **Óxidos de Azufre** y **Óxidos de Nitrógeno** son las sustancias que la empresa debe monitorear y controlar en tercer orden de prioridad ya que fueron identificadas dentro de uno de los aspectos ambientales significativos de este estudio, además de que se encuentran regulados por la normatividad ambiental mexicana (NOM-085-SEMARNAT-2011), es importante tener en cuenta que a pesar de que la manera en que esta norma establece los límites máximos permisibles de emisión de éstos contaminantes no es compatible con la forma en que esta tesis presenta dichos datos, aún así, la empresa deberá considerarlos como prioritarios en su control.
- Para seguir aumentando la reducción del **consumo de electricidad**, se puede realizar una campaña de mantenimiento a motores o implementando mecanismos de control operacional que permitan eliminar el consumo de electricidad en tiempos muertos. Un primer paso puede ser la realización de auditorías energéticas, en donde se identifican puntualmente los elementos del proceso en donde las operaciones se realizan con una menor eficiencia energética.
La reducción del consumo de electricidad también apoyará en la reducción de emisiones de CO₂, ya que este insumo se considera dentro del cálculo de la huella de carbono como emisiones indirectas Alcance 2 [Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, 2004].
- Las tasas de **generación de residuos** se pueden reducir al implementar corridas de producción más largas.
- El consumo y desperdicio de **materias primas** se pueden reducir a través de una planeación detallada de la producción.

Una vez que se han identificado, tanto los procesos, como los impactos ambientales significativos, la empresa es capaz de determinar los nuevos objetivos y planes de acción para aumentar el desempeño ambiental del producto.

En resumen, los impactos ambientales críticos y los subprocesos sobre los que la empresa deberá hacer gestión para mejorar su desempeño ambiental se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17 – Impactos ambientales y subprocesos críticos.

Impactos ambientales	Subprocesos
Gases Efecto Invernadero (GEI)	A2.5-Maker
Formación de foto-oxidantes (FOx)	A1.3-DorsosL3
Acidificación del aire (AcA)	A3. Terminado
	A1.2-DorsosL2

En caso de que la empresa decida compartir o publicar los resultados del estudio, se deben detallar el alcance y consideraciones utilizadas, con la intención de evitar una doble contabilización de impactos, de igual manera para quien lo vaya a utilizar deberá considerar los impactos ambientales asociados a la disposición, de esa manera se completaría el ciclo de vida entero del producto.

El desarrollo de políticas y estrategias efectivas para cada tipo de empresa requiere de una adecuada base científica, los resultados de este ACV pueden ser utilizados como soporte a esas iniciativas.

Los cambios en la formulación afectaron tanto el desempeño ambiental, como el operativo del producto. Dicho cambio logró cumplir con las exigencias del cliente, el Producto ACV 2008-2009 presenta un mayor tiempo de vida al reducir los niveles de desgrane. Sin embargo, también se redujeron los niveles de desbaste. La empresa deberá determinar si estas nuevas condiciones de desempeño operativo cumplen con los requerimientos esperados del producto.

Este proyecto fue desarrollado por el departamento ambiental de la empresa y el CMP+L, Se recomienda ampliamente que en próximos casos, este tipo de estudios se realicen en conjunto con el departamento de Producción o el de Desarrollo de Nuevos Productos,

esto con la intención de contar con un equipo multidisciplinario que sin duda aportará diferentes puntos de vista al estudio y por ende mayor profundidad.

El ACV puede considerarse como una primera fase para las empresas que desean integrar el concepto de *Life Cycle Management (LCM)* o Gestión del Ciclo de Vida (GCV) como estrategia corporativa de negocios [Cooper y Vigon, 2001]. Como se mencionó al principio, el ACV es una herramienta que considera únicamente aspectos ambientales, los nuevos modelos de negocios basados en la sustentabilidad integran conceptos económicos, sociales y ambientales. Lo que busca este nuevo modelo de negocios es que las empresas tengan una visión holística de todos aquellos factores que tienen influencia directa e indirecta con sus operaciones para poder así considerarlos dentro de sus objetivos y planes de acción permitiéndoles obtener grandes ventajas competitivas al considerar todo el ciclo de vida de los productos, lo que asegura la presencia de la empresa durante todo el proceso permitiéndole generar confianza con sus clientes y diferentes grupos de interés.

6 - BIBLIOGRAFÍA

1. British Standards Institution (BSI), (2008). Guide to PAS 2050:2008 – How to assess the carbon footprint of goods services. Carbon Trust y Defra.
2. British Standards Institution (BSI), (2008). PAS 2050:2008 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. Carbon Trust y Defra.
3. Environmental Protection Agency (EPA), (1994). Emission Factor Documentation for AP-42 Section 11.30, Abrasives Manufacturing - Final Report. EPA
4. Environmental Protection Agency (EPA), (1995). Guidelines for Assessing the Quality of Life-Cycle Inventory Analysis. Solid Waste and Emergency Response.
5. International Standard Organization (ISO), (2006). ISO 14040:2006 Life Cycle Assessment – Principles and framework.
6. International Standard Organization (ISO), (2006). ISO 14044:2006 Life Cycle Assessment – Requirements and guidelines.
7. Jelse Kristian, Eriksson Elin and Einarson Elin, (2009) Life Cycle Assessment of consumer packaging for liquid food: LCA of Tetra Pak and alternative packaging on the Nordic market. Swedish Environmental Research Institute.
8. Jeroen B. Guinée, (2002). Handbook on Life Cycle Assessment. Editorial Kluwer Academic Publishers.
9. Joyce Smith Cooper y Bruce Vigon, (2001). Life Cycle Engineering Guidelines. Battelle Columbus Laboratories, EPA.
10. Kun-Mo Lee y Atsushi Inaba (2004). Life Cycle Assessment: Best Practices of ISO 14040 series. APEC
11. Raymond R. Tan y Alvin B. Culaba (2002). Environmental Life-Cycle Assessment: A tool for public and corporate policy development. De La Salle University, Manila
12. Scientific Applications International Corporation (SAIC), (2006) Life Cycle Assessment: Principles and Practice. EPA.

13. Secretaría del Medio Ambiente (SMA) del Gobierno del Distrito Federal (GDF), (2008). Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM 2008. SMA del GDF.
14. UNEP y SETAC, (2009). Life Cycle Management: How business uses it to decrease footprint, create opportunities and make value chains more sustainable. Life Cycle Initiative.
15. Wenzel, H., Hauschild, M. y Alting, L. (1977). Environmental Assessment of products. Vol. 1: Methodology, Tools and Case Studies in Product Development. Chapman & Hall, London.
16. World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), (2004). Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. WRI y WBCSD
17. World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), (2011). Greenhouse Gas Protocol: Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. WRI y WBCSD.

7 - ANEXOS

ANEXO A - Plantilla de recolección de datos

CMP+ Centro Mexicano para la Producción Más Limpia		Solicitud de información Análisis de Ciclo de Vida		CMP+ Centro Mexicano para la Producción Más Limpia	
Datos generales			Proceso		
Planta		Subproceso			
Dirección		Clave			
Año de colección		Responsable			
			E- Mail		
Características del proceso					
Descripción del proceso		Describir detalladamente en que consiste el proceso, cuidados especiales, detalles de operación, funcionamiento, mantenimiento, personal involucrado en su operación, turnos que opera, etc.			
Producción sem anal	m ³ / semana		Horas de operación del equipo a la semana		
Comentarios adicionales		Indicar cualquier situación adicional o particular del proceso			
Notas		<p>* Las cantidades que se pondrán en la siguiente sección deberán corresponder a la producción semanal y siempre deberán considerar los escenarios de consumos máximos es decir: máximo consumo de electricidad registrado a la semana, máximo consumo de materias primas, etc.</p> <p>* Es muy importante que se verifiquen las unidades que están considerando, en caso, por ejemplo: las materias primas están expresadas en ton / semana, en caso de que el material sea consumido en m³, litros, pacas, etc., se requiere que se especifique un dato que lo relacione a unidades de masa. Anotar la referencia en un comentario sobre la celda en la que se exprese el dato</p> <p>* En caso de que no se tengan los datos de contaminantes generados por el proceso, indicar a que grupo de procesos corresponden los análisis de agua o emisiones a la atmósfera (por ejemplo: descarga de agua residual considera todos los procesos de Dorsos Línea 1)</p>			
Consumo de energía					
Gas natural	m ³ / semana		Diesel	m ³ / semana	
Electricidad	MWh / semana		Gasolina	m ³ / semana	
Propano	m ³ / semana		Otro	m ³ / semana	
Consumo de materias primas e insumos (sustituir la unidad por la que se utiliza regularmente)					
Insumos			Materias primas		
Agua	m ³ / semana		Clave	Nombre	
Aire comprimido	m ³ / semana		DL1 - 1.1	Materia Prima	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
	ton / semana		Clave	Nombre	ton / semana
Generación de contaminantes					
Agua residual	m ³ / año		DBO	ppm	

Figura 13 – Plantilla de recolección de datos.

ANEXO B - Software utilizado para realizar el ACV – TEAM™

TEAM™

El análisis de ciclo de vida se basó en la aplicación TEAM™ (Tool for Environmental Analysis and Management), que permite construir y analizar el ciclo de vida de los productos o de los servicios en conformidad con la serie 14040 de las normas, permitiendo:

- Realizar una subdivisión del ciclo de vida en subsistemas
- Calcular el inventario del ciclo de vida
- Calcular los impactos ambientales

TEAM™ es una poderosa herramienta de modelación de cualquier escenario que permite el análisis del ciclo de vida a cualquier nivel de detalle y el análisis de sensibilidad sobre parámetros específicos. Ha demostrado gran versatilidad, permitiendo el aprovechamiento de las bases de datos internacionales ya existentes de inventarios de ciclo de vida como por ejemplo EcoInvent. Se cataloga como un software Completo y actualizado contiene las metodologías de impacto más reconocidas y actualizadas: IPCC, CML 2000 y Eco 99

DEAM™

La base de datos DEAM™ (Data for Environmental Analysis and Managment) es el resultado de años de práctica de ACV por parte de Ecobilan. Comprende cerca de 1500 “módulos” que representan procesos que pueden intervenir en el ciclo de vida de productos o servicios, resultantes de bibliografía o estudios realizados por Ecobilan en todos los sectores de actividad. La base de datos es mantenida continuamente, completada y actualizada cuando nuevos datos son disponibles. Para visualizar la lista de procesos disponibles en la base DEAM, consultar: http://www.ecobalance.com/uk_deam.php

ANEXO C - Diagrama de flujo creado en TEAM™

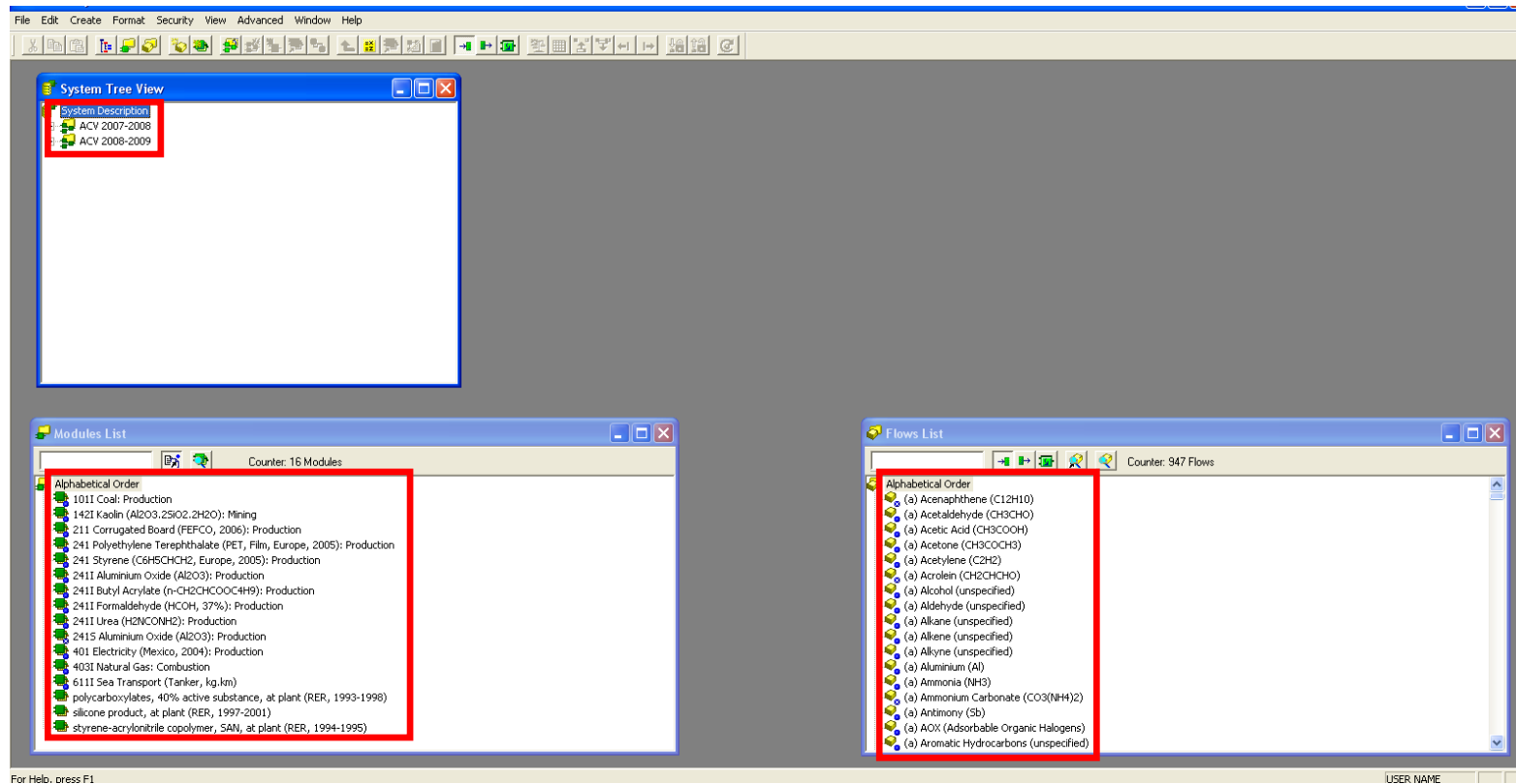


Figura 14 – Espacio de trabajo en TEAM™

Espacio de trabajo de TEAM™ en donde se realizó la modelación del ACV. En la ventana superior izquierda aparecen ambos sistemas analizados; en la ventana inferior izquierda aparecen los módulos utilizados (electricidad, gas, etc.) y en la inferior derecha aparecen los flujos utilizados.

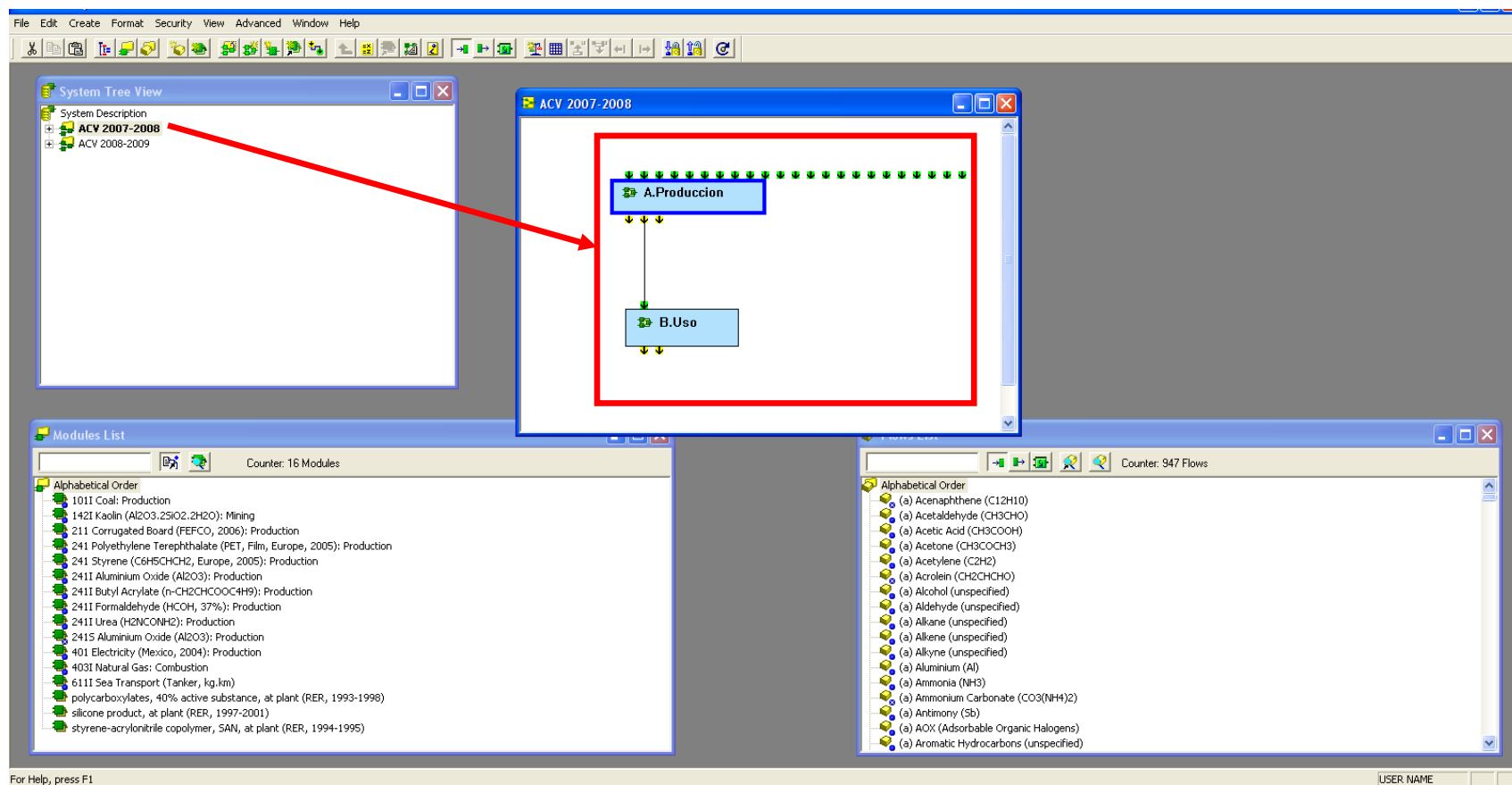


Figura 15 – Principales etapas del ciclo de vida del producto analizado

En el recuadro rojo se amplifica uno de los sistemas analizados y se puede apreciar como solo se consideraron dos etapas: Producción y Uso. Las flechas verdes indican las entradas y las amarillas las salidas

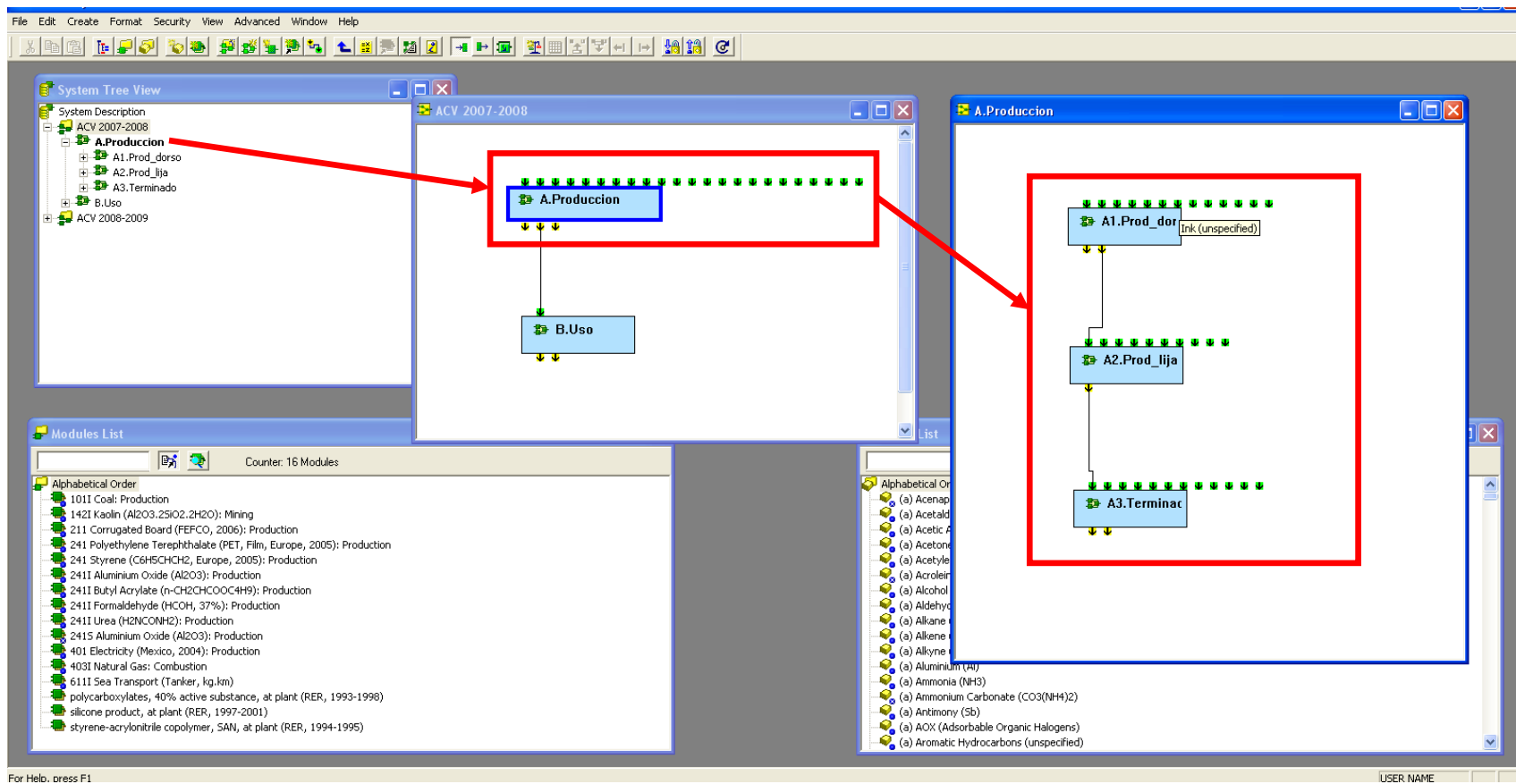


Figura 16 – Procesos considerados en la etapa de Producción (A)

En esta imagen se resaltan las etapas consideradas en la fase de producción (A)

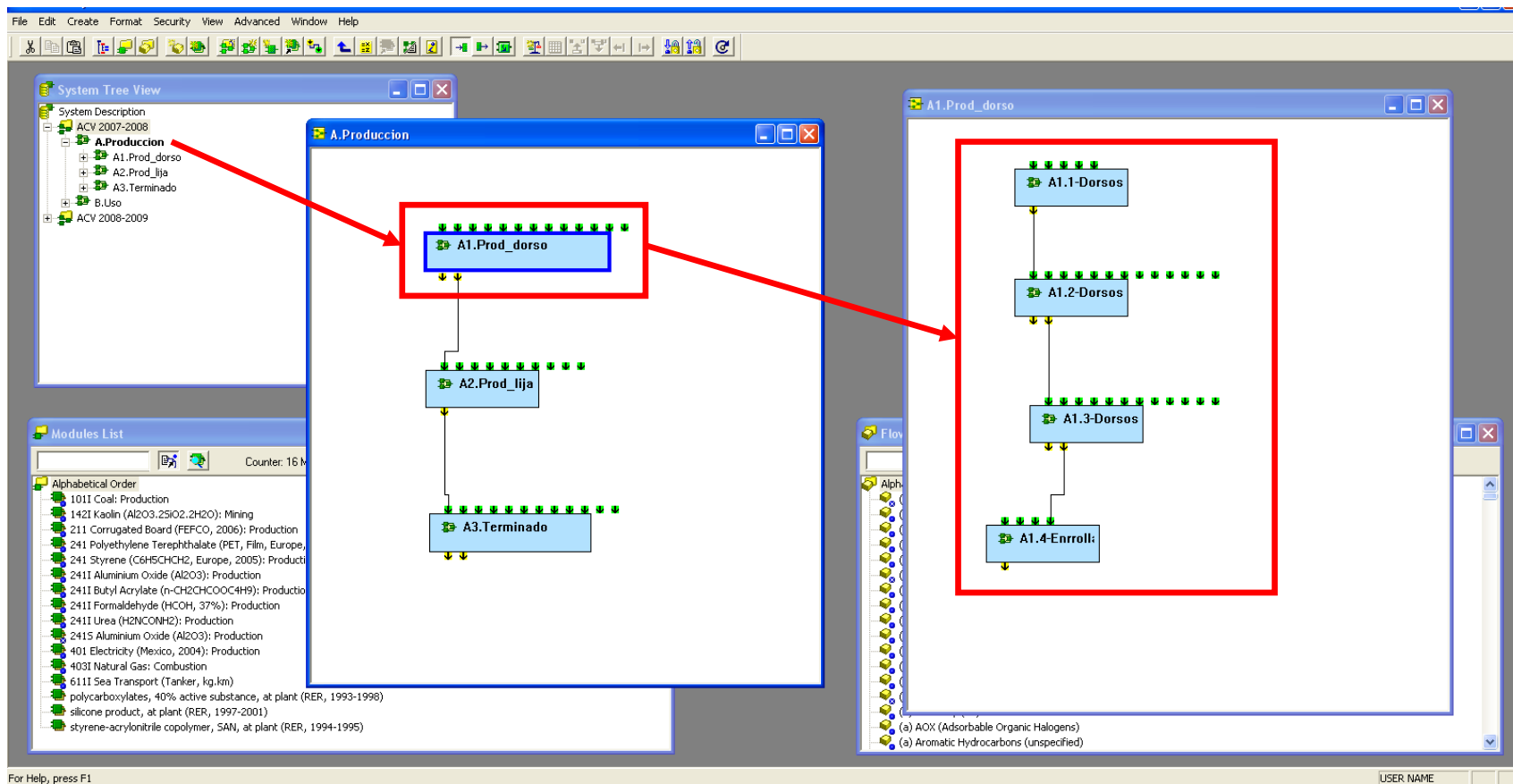


Figura 17 – Subprocesos de la etapa de producción del dorso (A1)

En esta imagen se resaltan las etapas consideradas en la fase de producción (A1)

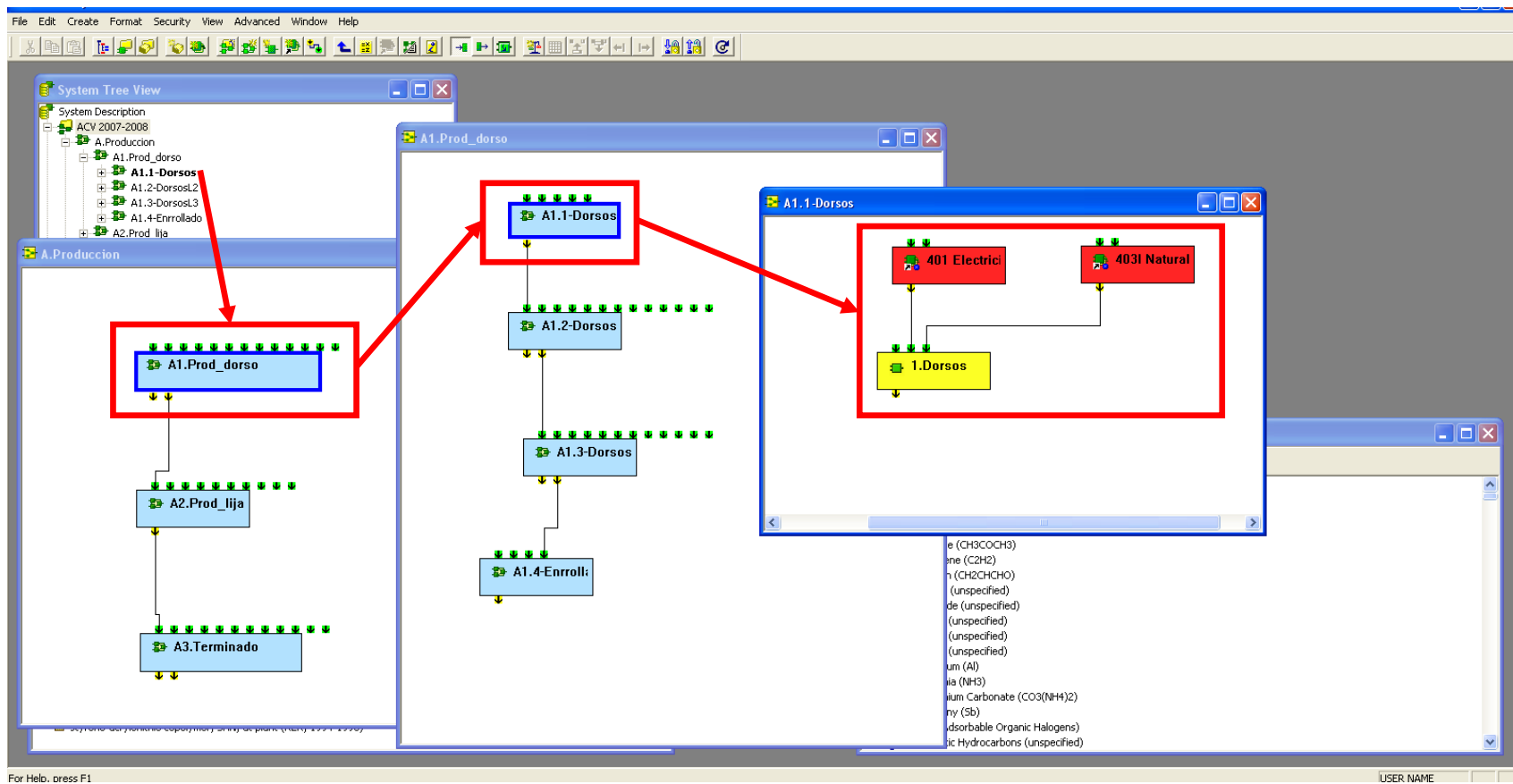


Figura 18 – Módulos del subproceso A1.1 Dorsos

Aquí se explora el interior del subproceso A1.1 Dorsos. Los rectángulos rojos son los módulos considerados para cada subproceso y el amarillo es donde se realiza en cálculo de inventarios

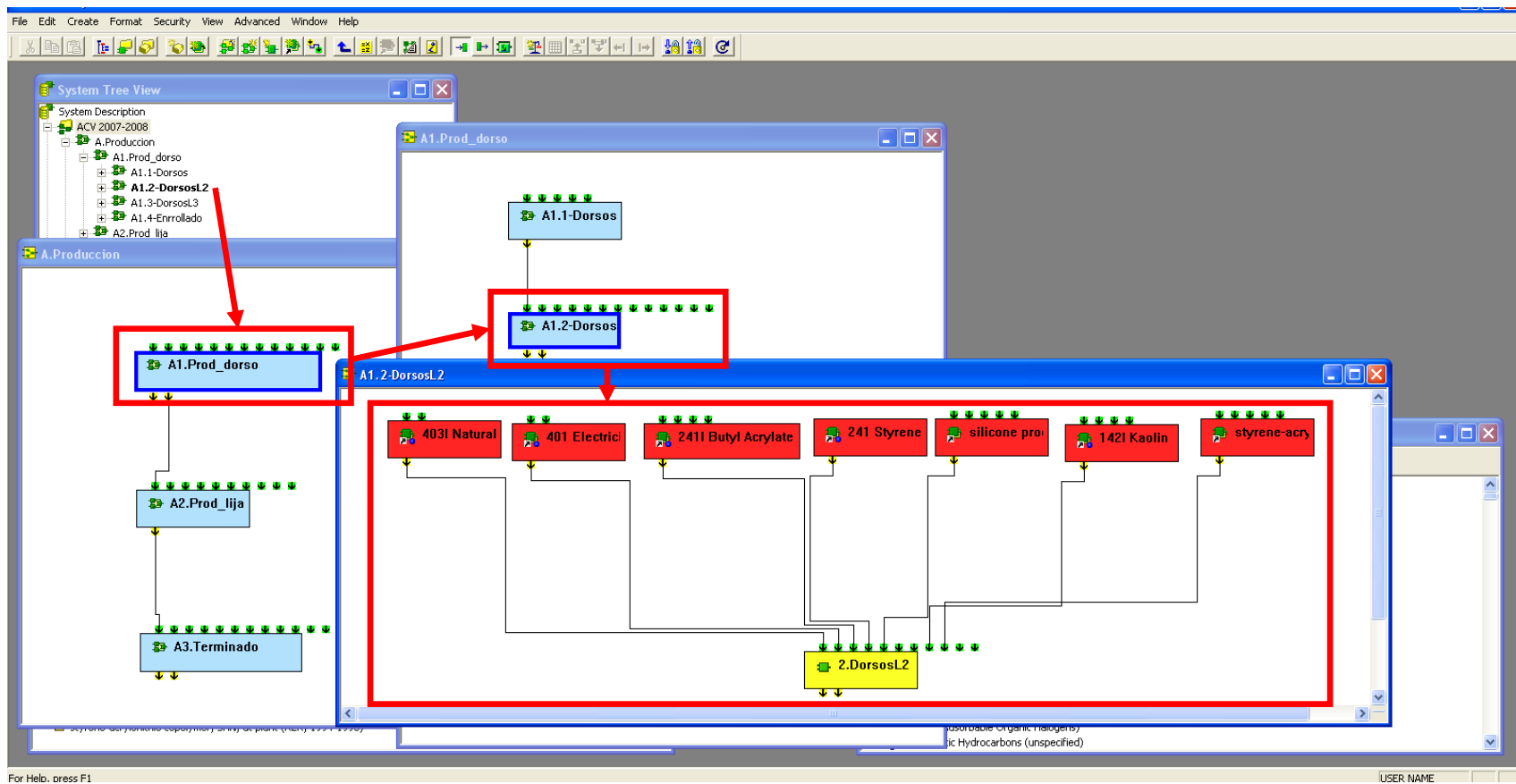


Figura 19 – Módulos del subproceso A1.2 Dorsos

Desglose del subproceso A1.2 Dorsos L2

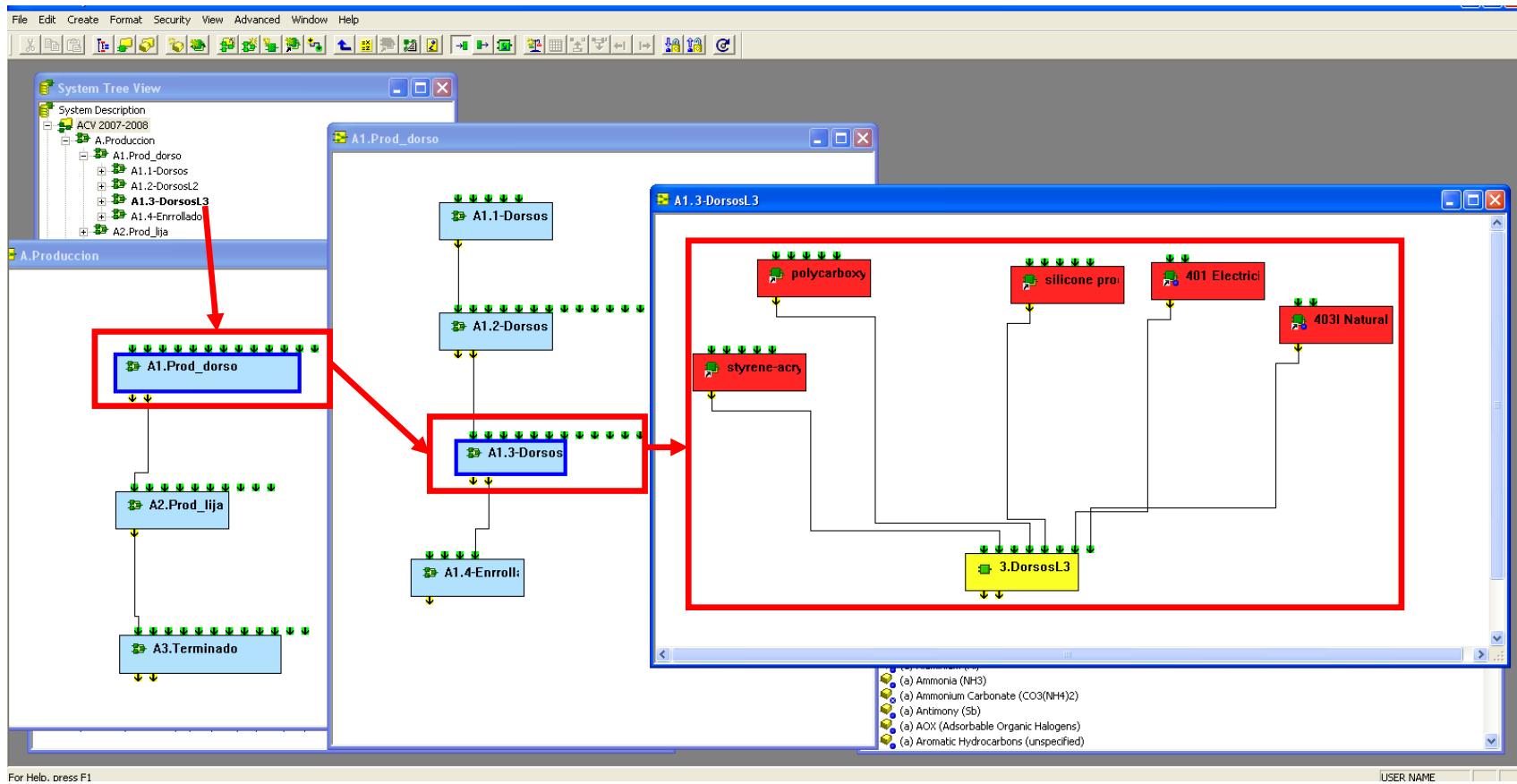


Figura 20 – Módulos del subproceso A1.3 Dorsos

Desglose del Subproceso A1.3 DorsosL3

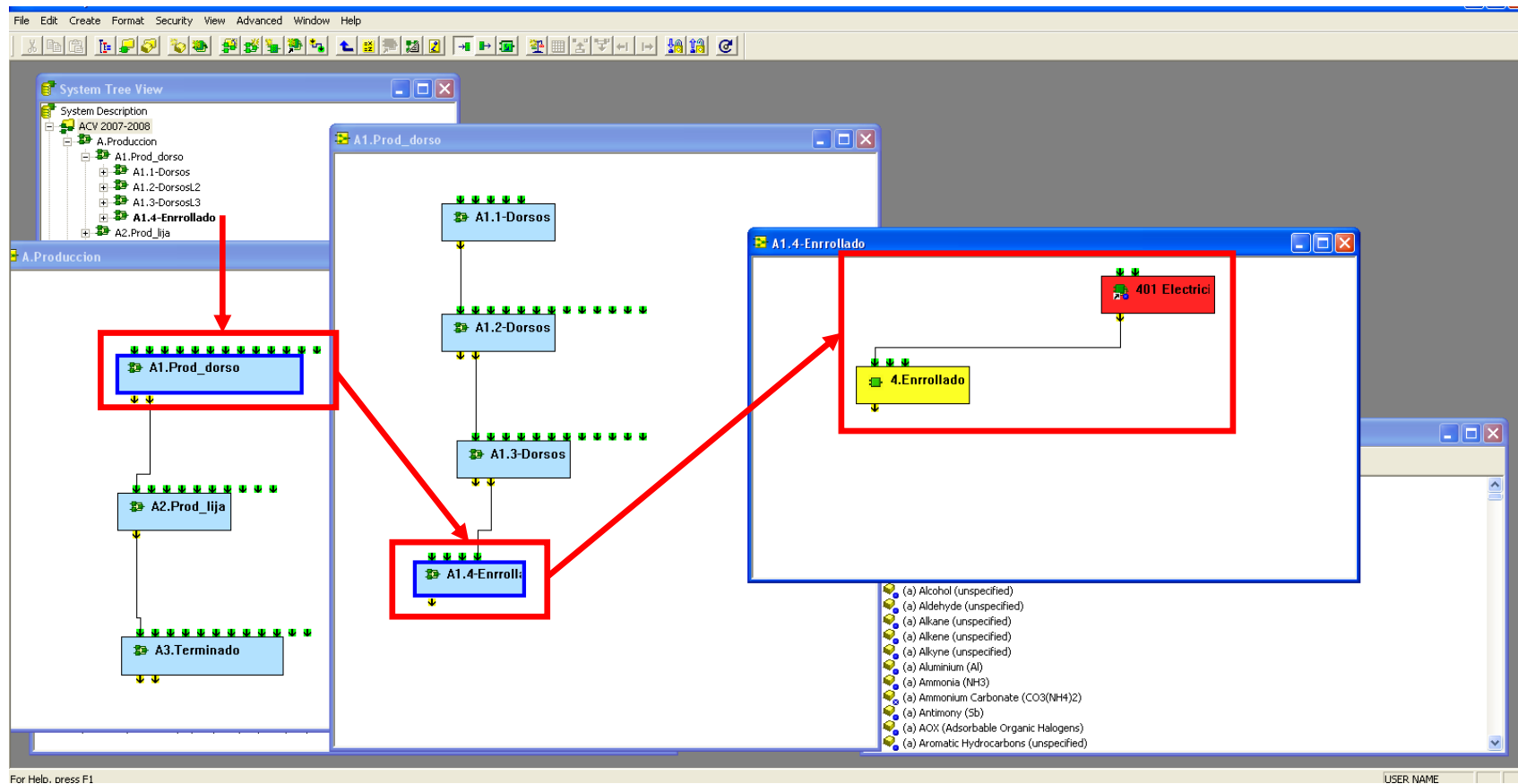


Figura 21 – Módulos del subproceso A1.4 Enrolladora

Desglose del subproceso A1.4 Enrolladora imprenta. Con esta etapa se finaliza la producción del dorso.

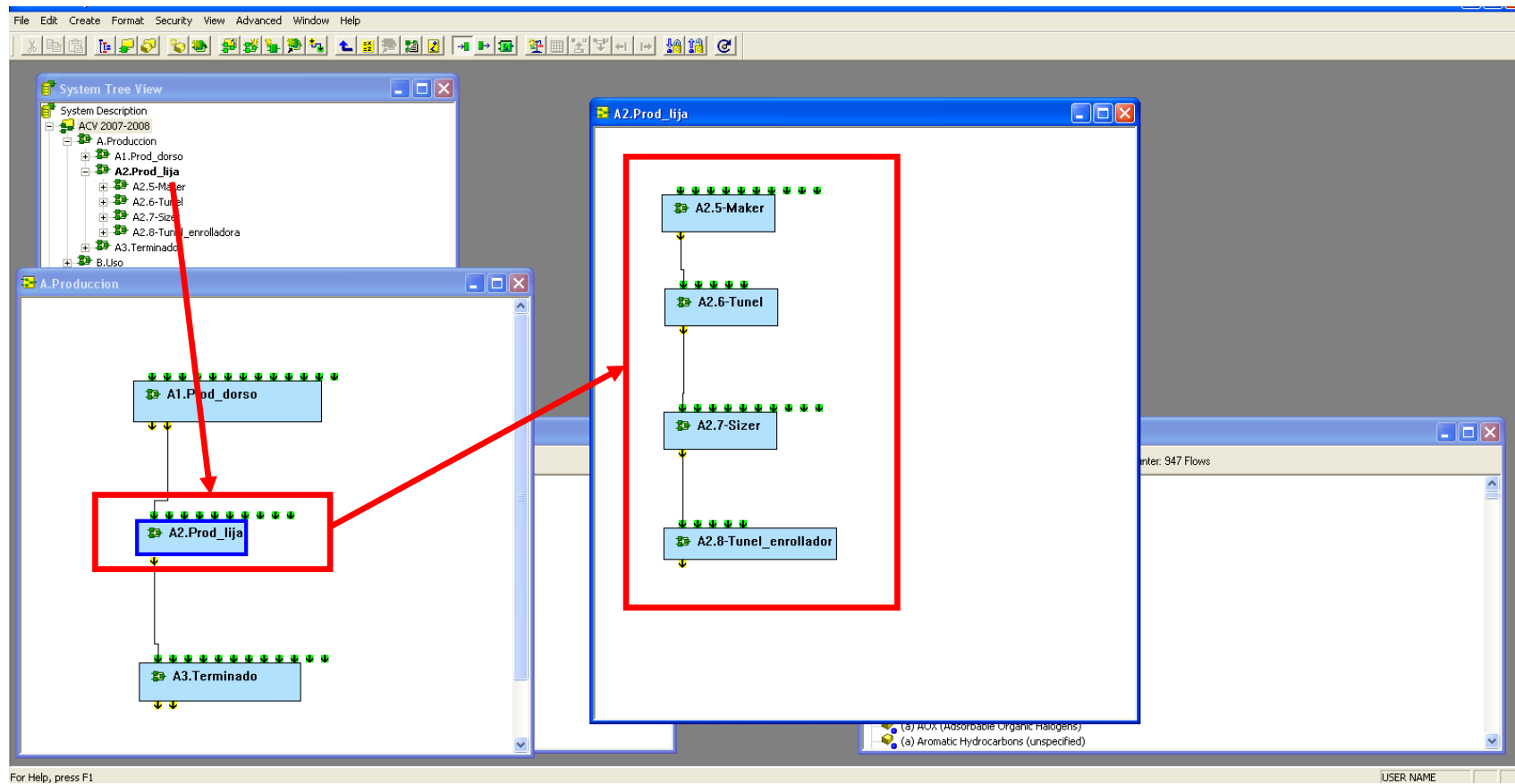


Figura 22 – Subprocesos de la etapa de producción del abrasivo revestido (A2)

Subprocesos considerados en la producción del abrasivo revestido (A2)

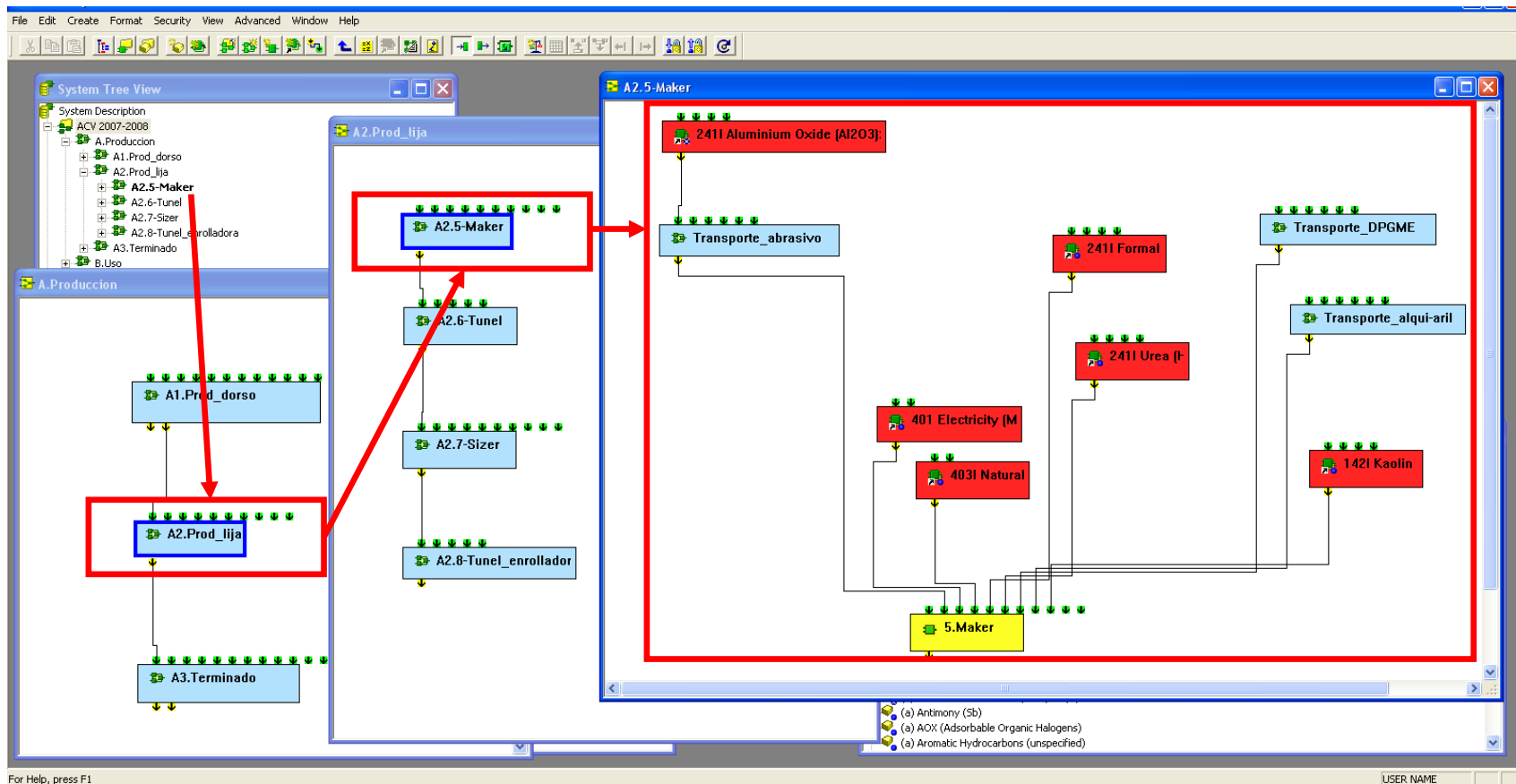


Figura 23 – Módulos del subproceso A2.5 Maker

Aplicación de Maker. En esta etapa es donde se consideró el transporte de aquellas sustancias que no se fabrican en el país.

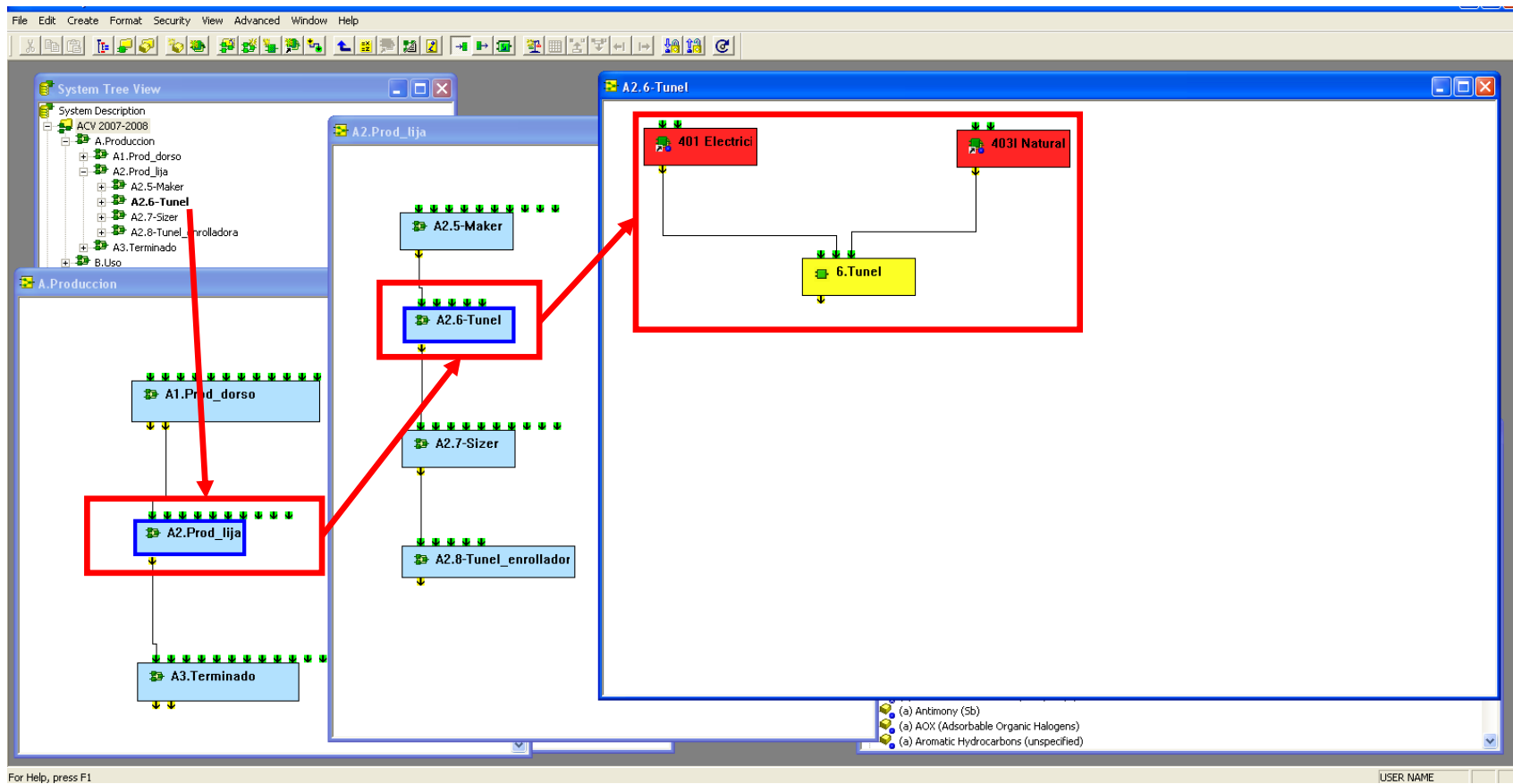


Figura 24 – Módulos del subproceso A2.6 Túnel

Túnel de secado en donde se sella el Maker al dorso.

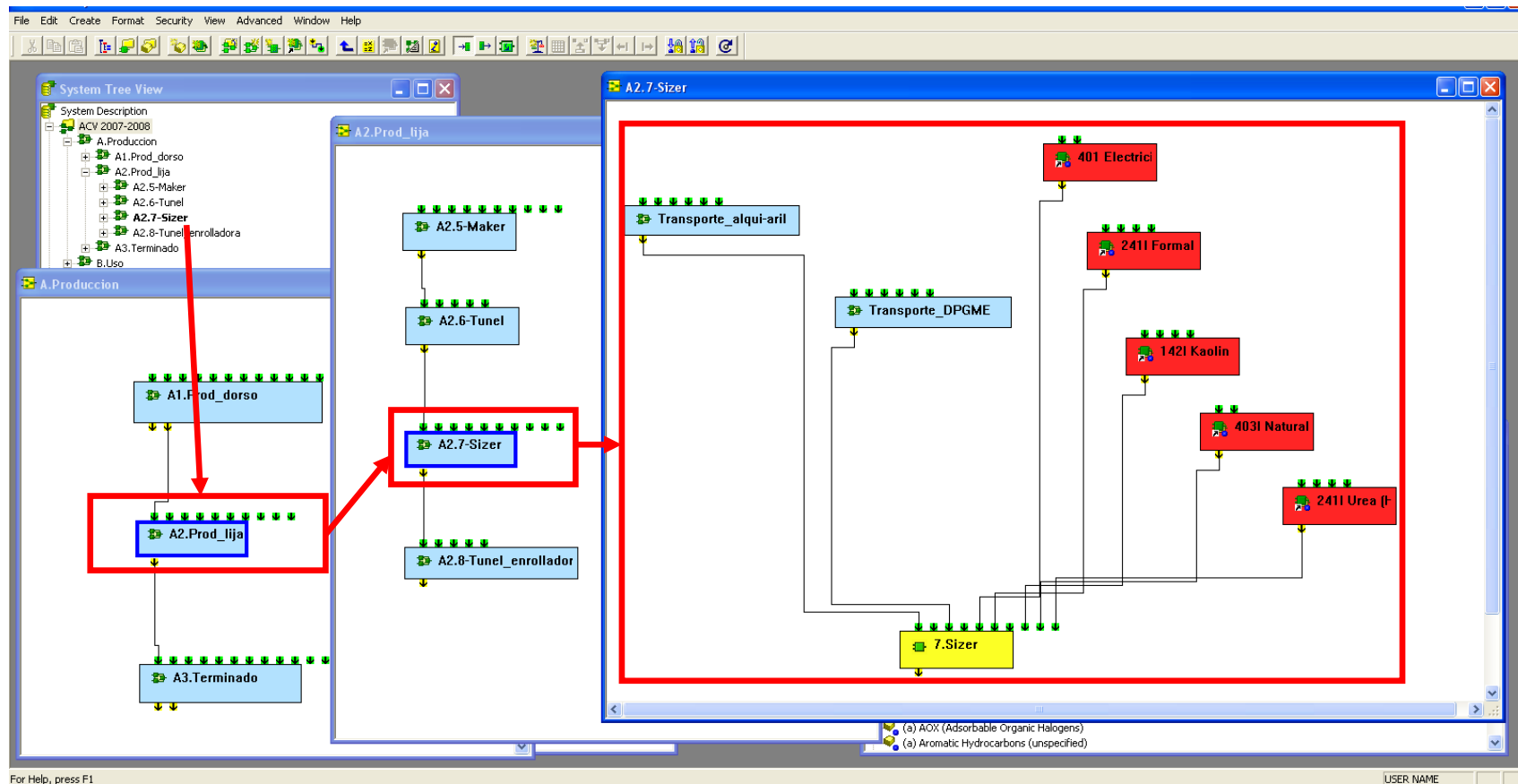


Figura 25 – Módulos del subproceso A2.7 Sizer

Desglose del proceso de aplicación de Sizer, en esta etapa también se considera el transporte de sustancias importadas.

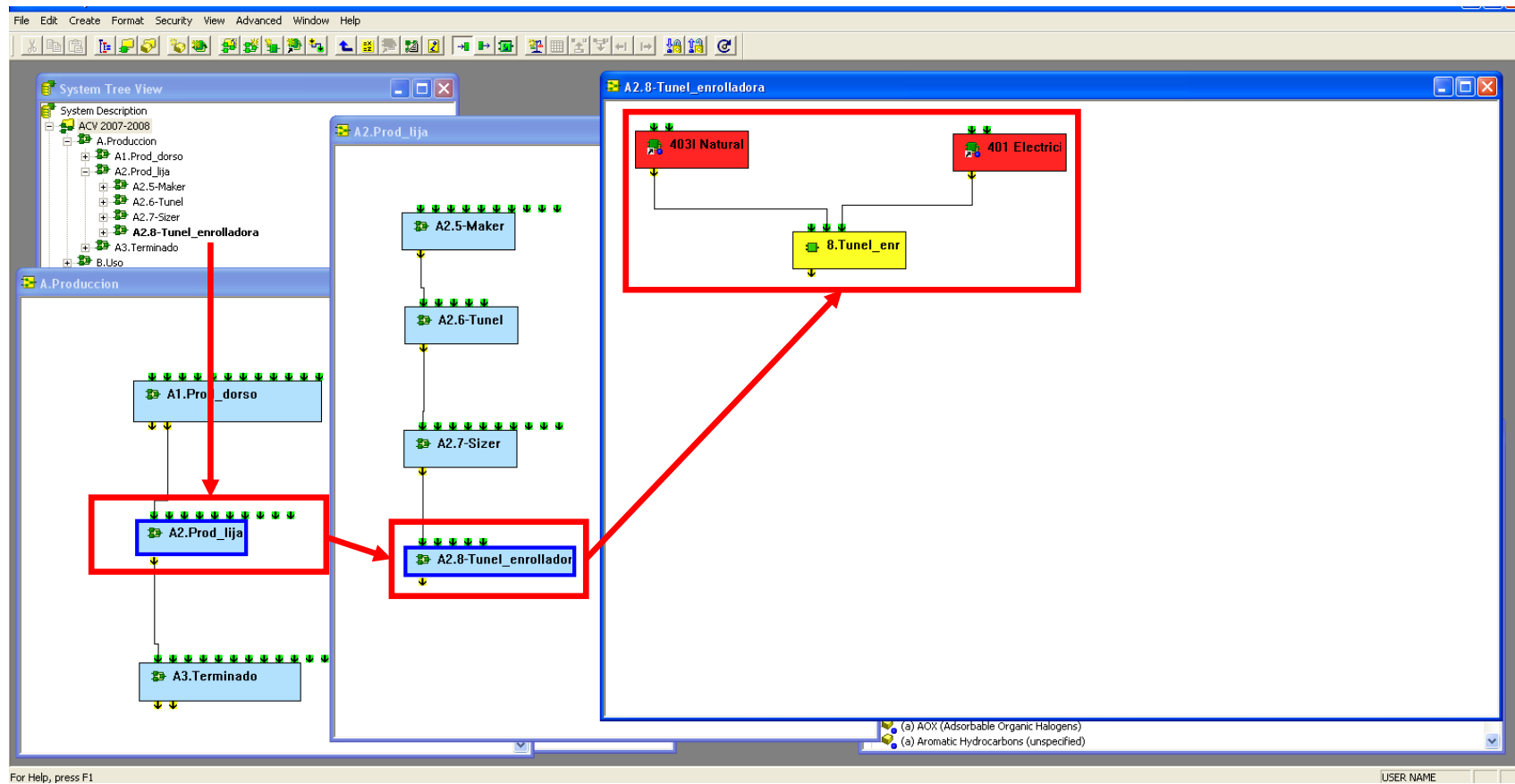


Figura 26 – Módulos del subproceso A2.8 Túnel-Enrolladora

Secado de Sizer en proceso de Túnel y enrollado del abrasivo revestido

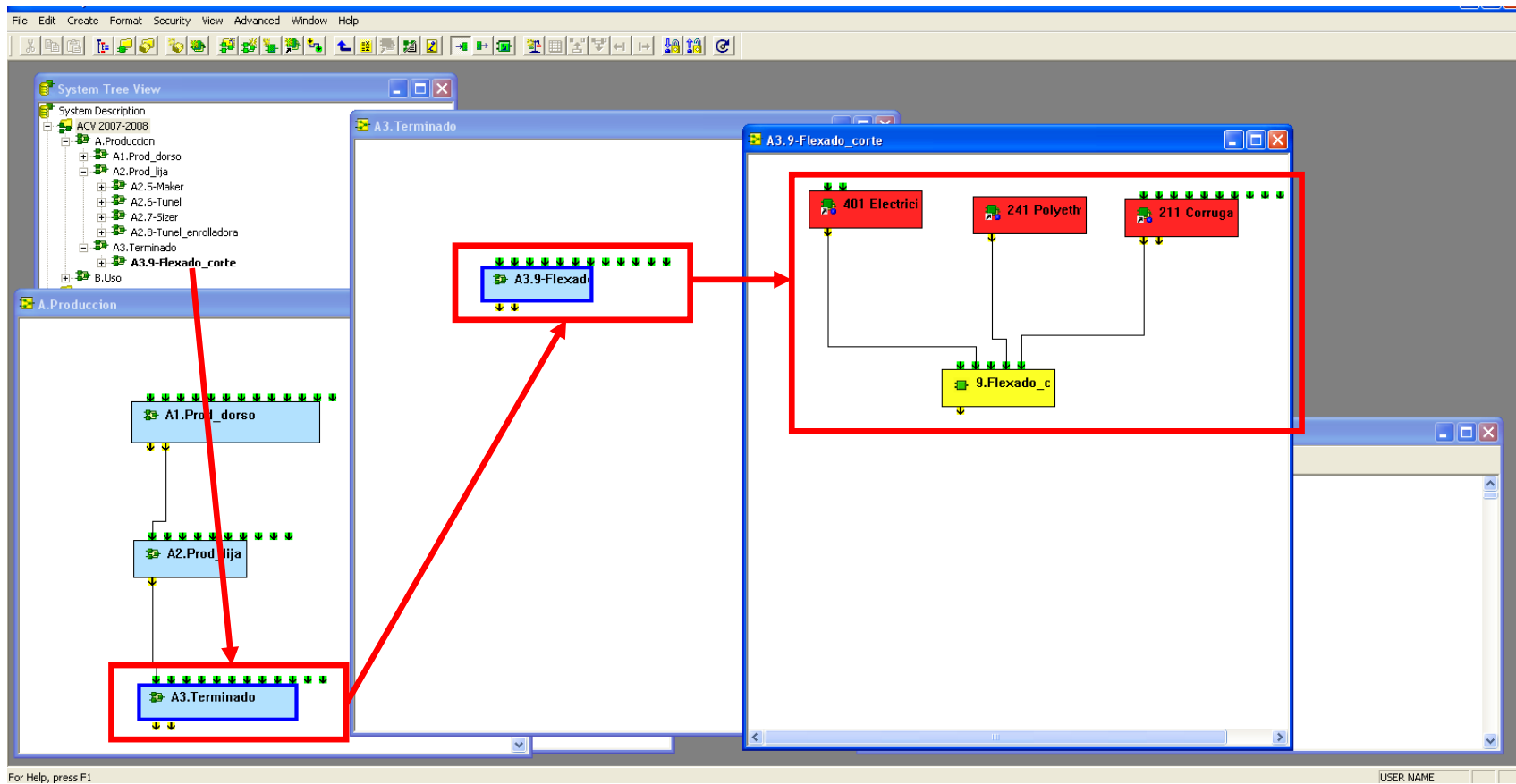


Figura 27 – Subprocesos de la etapa de producto terminado (A3)

Última etapa de la producción en la que se realizan operaciones de flexado a los jumbos y se corta el abrasivo revestido a las medidas que solicite el cliente.

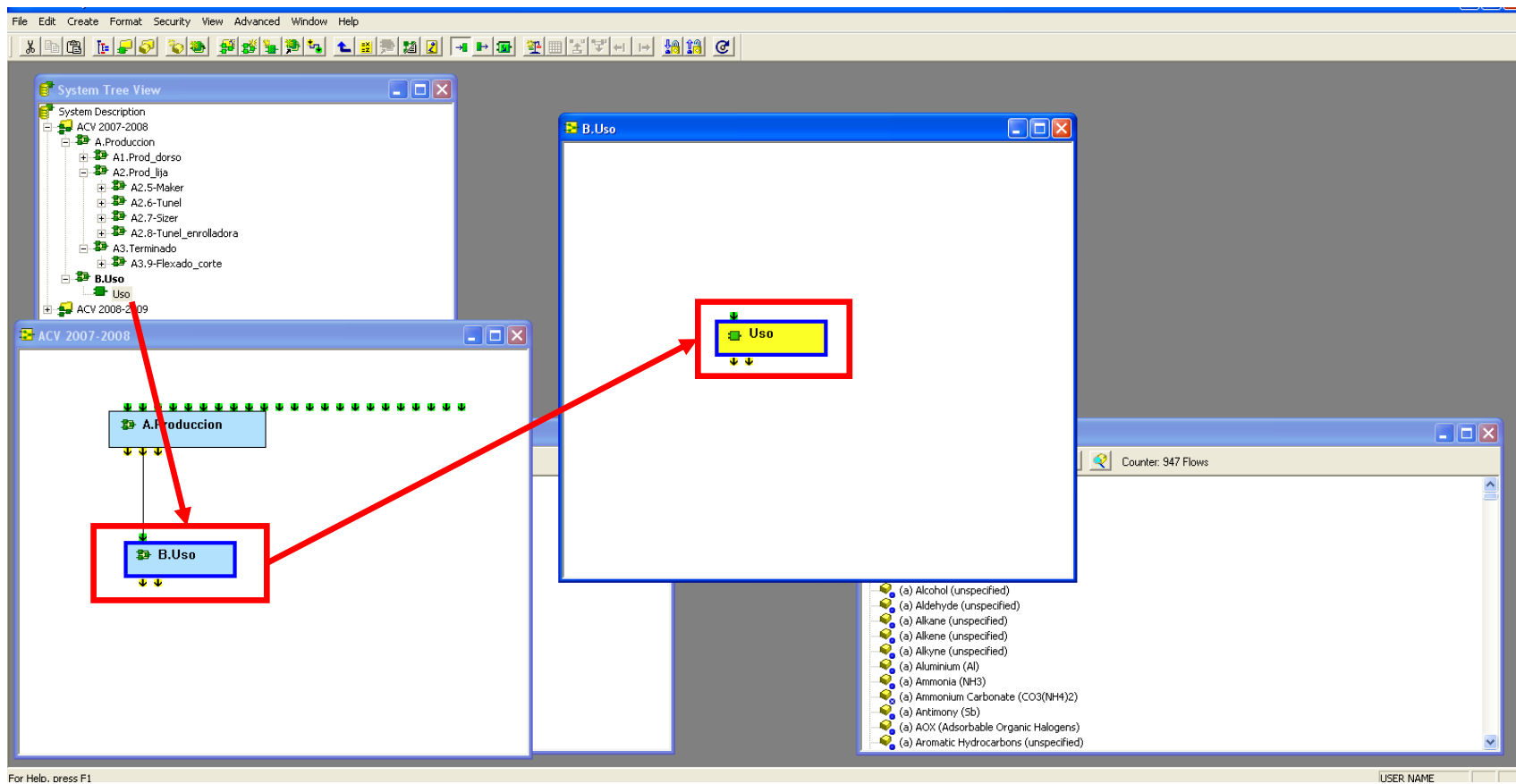


Figura 28 – Procesos considerados en la etapa de Uso (B)

Siguiente etapa del ciclo de vida del producto estudiado. Es una etapa sencilla ya que no se consideran combustible o insumos para el uso del producto y como salidas se obtiene polvos de desbaste y desgrane y como residuos sólidos el abrasivo revestido gastado.

ANEXO D – Descripción del CML 2000

El Institute of Environmental Sciences (CML) de la Universidad de Leiden, Países Bajos ha desarrollado una serie de métodos de evaluación de impactos llamados CML 2000 que establece la modelación cuantitativa de etapas relativamente tempranas de la cadena de causa-efecto delimitando las incertidumbres y agrupando los resultados de ICV en un punto llamado el punto medio de categorías. Los tipos de impactos ambientales evaluados por esta metodología son los mecanismos comunes (por ejemplo, cambio climático) o agrupaciones comúnmente aceptadas (por ejemplo, la ecotoxicidad).

Los datos correspondientes a las categorías de impacto "CML 2000" están de acuerdo con la información del Institute of Environmental Sciences (CML) de la Universidad de Leiden, Países Bajos, publicados en un manual y en base a varios autores. Además una hoja de cálculo presenta factores de caracterización de los flujos de más de 1700 diferentes sustancias. [<http://www.cml.leiden.edu/>]

ANEXO E – Compuestos y factores de caracterización utilizados para el cálculo de impactos ambientales

Tabla 18 – Factores de caracterización CML 2000 – Gases Efecto Invernadero (GEI).

CML2000-Gases Efecto Invernadero (directo, 100 años) [=] $g_{eq}CO_2$	Factor de caracterización
(a) Carbon Dioxide (CO ₂ , fossil)	1
(a) Carbon Tetrachloride (CCl ₄)	1400
(a) CFC 11 (CFCI ₃)	4000
(a) CFC 114 (CF ₂ ClCF ₂ Cl)	9300
(a) CFC 12 (CCl ₂ F ₂)	8500
(a) Chloroform (CHCl ₃ , HC-20)	4
(a) Halon 1301 (CF ₃ Br)	5600
(a) HCFC 22 (CHF ₂ Cl)	1700
(a) HFC 134a (CF ₃ CH ₂ F)	1300
(a) HFC 23 (CHF ₃)	11700
(a) Methane (CH ₄)	21
(a) Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	9
(a) Nitrous Oxide (N ₂ O)	310
(a) Sulphur Hexafluoride (SF ₆)	23900

Tabla 19 – Factores de caracterización CML 2000 – Agotamiento de Ozono Estratosférico (AOE).

CML2000 - Agotamiento de Ozono Estratosférico [=] $g_{eq}CFC-11$	Factor de caracterización
(a) Carbon Tetrachloride (CCl ₄)	1.2
(a) CFC 11 (CFCI ₃)	1
(a) CFC 114 (CF ₂ ClCF ₂ Cl)	0.85
(a) CFC 12 (CCl ₂ F ₂)	0.82
(a) Halon 1211 (CF ₂ ClBr)	5.1
(a) Halon 1301 (CF ₃ Br)	12
(a) HCFC 22 (CHF ₂ Cl)	0.034
(a) Methyl Chloride (CH ₃ Cl)	0.02

Tabla 20 – Factores de caracterización CML 2000 – Agotamiento de recursos abióticos (ARA).

CML2000 - Agotamiento de recursos abióticos [=] Kg _{eq} Sb	Factor de caracterización
(r) Antimony (Sb, ore)	1
(r) Barium Sulphate (BaSO ₄ , in ground)	0.000000000106
(r) Bauxite (Al ₂ O ₃ , ore)	0.0000000021
(r) Calcium Sulphate (CaSO ₄ , ore)	0.000000000708
(r) Chromium (Cr, ore)	0.000858
(r) Coal (in ground)	0.0134
(r) Cobalt (Co, ore)	0.0000262
(r) Copper (Cu, ore)	0.00194
(r) Fluorspar (CaF ₂ , ore)	0.00000296
(r) Iron (Fe, ore)	0.0000000843
(r) Lead (Pb, ore)	0.0135
(r) Lignite (in ground)	0.00671
(r) Magnesium (Mg, ore)	0.00000000373
(r) Manganese (Mn, ore)	0.0000138
(r) Mercury (Hg, ore)	0.495
(r) Molybdenum (Mo, ore)	0.0317
(r) Natural Gas (in ground)	0.0187
(r) Nickel (Ni, ore)	0.000108
(r) Oil (in ground)	0.0201
(r) Palladium (Pd, ore)	0.323
(r) Phosphate Rock (in ground)	0.0000844
(r) Platinum (Pt, ore)	1.29
(r) Rhenium (Re, ore)	0.766
(r) Rhodium (Rh, ore)	32.3
(r) Silver (Ag, ore)	1.84
(r) Sulphur (S, in ground)	0.000358
(r) Tin (Sn, ore)	0.033
(r) Titanium (Ti, ore)	0.000000044
(r) Uranium (U, ore)	0.00287
(r) Zinc (Zn, ore)	0.000992

Tabla 21 – Factores de caracterización CML 2000 – Formación de foto-oxidantes (FOx).

CML2000 - Formación de foto-oxidantes [=] g _{eq} Etileno	Factor de caracterización
(a) Acetaldehyde (CH ₃ CHO)	0.641
(a) Acetic Acid (CH ₃ COOH)	0.097
(a) Acetone (CH ₃ COCH ₃)	0.094
(a) Acetylene (C ₂ H ₂)	0.085
(a) Benzaldehyde (C ₆ H ₅ CHO)	-0.092
(a) Benzene (C ₆ H ₆)	0.22
(a) Butadiene (1,3-CH ₂ CHCHCH ₂)	0.85
(a) Butane (C ₄ H ₁₀)	0.352
(a) Butene (1-CH ₃ CH ₂ CHCH ₂)	1.08
(a) Carbon Monoxide (CO)	0.027
(a) Chloroform (CHCl ₃ , HC-20)	0.023
(a) Cumene (C ₉ H ₁₂)	0.5
(a) Ethane (C ₂ H ₆)	0.123
(a) Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	0.399
(a) Ethyl Benzene (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	0.73
(a) Ethylene (C ₂ H ₄)	1
(a) Formaldehyde (CH ₂ O)	0.52
(a) Heptane (C ₇ H ₁₆)	0.494
(a) Hexane (C ₆ H ₁₄)	0.482
(a) Methane (CH ₄)	0.006
(a) Methanol (CH ₃ OH)	0.14
(a) Methyl Chloride (CH ₃ Cl)	0.005
(a) Methyl tert Butyl Ether (MTBE, C ₅ H ₁₂ O)	0.175
(a) Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	0.068
(a) Pentane (C ₅ H ₁₂)	0.395
(a) Propane (C ₃ H ₈)	0.176
(a) Propionaldehyde (CH ₃ CH ₂ CHO)	0.798
(a) Propionic Acid (CH ₃ CH ₂ COOH)	0.15
(a) Propylene (CH ₂ CHCH ₃)	1.12
(a) Styrene (C ₆ H ₅ CHCH ₂)	0.14
(a) Toluene (C ₆ H ₅ CH ₃)	0.64
(a) Xylene (m-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	1.1

Tabla 22 – Factores de caracterización CML 2000 – Acidificación del aire (AcA).

CML2000 - Acidificación del aire [=] g _{eq} SO ₂	Factor de caracterización
(a) Ammonia (NH ₃)	1.6
(a) Nitrogen Oxides (NO _x as NO ₂)	0.5
(a) Sulphur Oxides (SO _x as SO ₂)	1.2

Tabla 23 – Factores de caracterización CML 2000 – Eutroficación (EU).

CML2000 - Eutroficación [=] g _{eq} (PO ₄) ³⁻	Factor de caracterización
(a) Ammonia (NH ₃)	0.35
(a) Nitrate (NO ₃ ⁻)	0.1
(a) Nitrogen Oxides (NO _x as NO ₂)	0.13
(a) Phosphorus (P)	3.06
(s) Nitrogen (N)	0.42
(s) Phosphorus (P)	3.06
(w) Ammonia (NH ₄ ⁺ , NH ₃ , as N)	0.35
(w) COD (Chemical Oxygen Demand)	0.022
(w) Nitrate (NO ₃ ⁻)	0.1
(w) Phosphates (PO ₄ ³⁻ , HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻ , H ₃ PO ₄ , as P)	1
(w) Phosphorus (P)	3.06

Tabla 24 – Factores de caracterización CML 2000 – Toxicidad Humana (TxH).

CML2000 - Toxicidad Humana [=] g _{eq} 1,4-DCB	Factor de caracterización
(a) Acrolein (CH ₂ CHCHO)	57
(a) Ammonia (NH ₃)	0.1
(a) Antimony (Sb)	6700
(a) Arsenic (As)	350000
(a) Barium (Ba)	760
(a) Benzene (C ₆ H ₆)	1900
(a) Beryllium (Be)	230000
(a) Butadiene (1,3-CH ₂ CHCHCH ₂)	2200
(a) Cadmium (Cd)	150000
(a) Carbon Disulphide (CS ₂)	2.4
(a) Carbon Tetrachloride (CCl ₄)	220
(a) Chloroform (CHCl ₃ , HC-20)	13
(a) Chromium (Cr VI)	3400000
(a) Cobalt (Co)	17000

CML2000 - Toxicidad Humana [=] g _{eq} 1,4-DCB	Factor de caracterización
(a) Copper (Cu)	4300
(a) Dichloroethane (1,2-CH ₂ ClCH ₂ Cl)	6.8
(a) Dioxins (unspecified)	1900000000
(a) Ethyl Benzene (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	0.97
(a) Ethylene (C ₂ H ₄)	0.64
(a) Ethylene Oxide (C ₂ H ₄ O)	14000
(a) Formaldehyde (CH ₂ O)	0.83
(a) Hexachlorobenzene (C ₆ Cl ₆)	3200000
(a) Hydrogen Chloride (HCl)	0.5
(a) Hydrogen Fluoride (HF)	2900
(a) Hydrogen Sulphide (H ₂ S)	0.22
(a) Lead (Pb)	470
(a) Mercury (Hg)	6000
(a) Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	2
(a) Molybdenum (Mo)	5400
(a) Nickel (Ni)	35000
(a) Nitrogen Oxides (NO _x as NO ₂)	1.2
(a) Particulates (PM 10)	0.82
(a) Pentachlorobenzene (C ₆ HCl ₅)	410
(a) Pentachlorophenol (PCP, C ₆ Cl ₅ OH)	5.1
(a) Phenol (C ₆ H ₅ OH)	0.52
(a) Propylene Oxide (C ₃ H ₆ O)	1300
(a) Selenium (Se)	48000
(a) Styrene (C ₆ H ₅ CHCH ₂)	0.047
(a) Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂)	1900000000
(a) Thallium (Tl)	430000
(a) Tin (Sn)	1.7
(a) Toluene (C ₆ H ₅ CH ₃)	0.33
(a) Vanadium (V)	6200
(a) Vinyl Chloride (CH ₂ CHCl)	84
(a) Xylene (m-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	0.027
(a) Zinc (Zn)	100
(s) Arsenic (As)	1000
(s) Atrazine (C ₈ H ₁₄ ClN ₅)	0.88
(s) Barium (Ba)	320
(s) Bentazon (C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₃ S)	0.16
(s) Cadmium (Cd)	67
(s) Chlorothalonil (C ₈ Cl ₄ N ₂)	1

CML2000 - Toxicidad Humana [=] g _{eq} 1,4-DCB	Factor de caracterización
(s) Chromium (Cr VI)	500
(s) Cobalt (Co)	59
(s) Copper (Cu)	1.3
(s) Cypermethrin (C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ N ₃ O ₃)	1.8
(s) Dinoseb (DNBP, C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₅)	97
(s) Glyphosate (C ₃ H ₈ NO ₅ P)	0.00065
(s) Lead (Pb)	290
(s) Linuron (C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O ₂)	9.4
(s) Mercury (Hg)	1100
(s) Metolachlor (C ₁₅ H ₂₂ ClNO ₂)	0.11
(s) Molybdenum (Mo)	3100
(s) Nickel (Ni)	200
(s) Pirimicarb (C ₁₁ H ₁₈ N ₄ O ₂)	0.29
(s) Tin (Sn)	0.52
(s) Vanadium (V)	1700
(s) Zinc (Zn)	0.42
(w) Antimony (Sb ⁺⁺)	5100
(w) Arsenic (As ³⁺ , As ⁵⁺)	950
(w) Barium (Ba ⁺⁺)	630
(w) Benzene (C ₆ H ₆)	1800
(w) Beryllium (Be)	14000
(w) Cadmium (Cd ⁺⁺)	23
(w) Chloroform (CHCl ₃ , HC-20)	13
(w) Chromium (Cr III)	2.1
(w) Chromium (Cr VI)	3.4
(w) Cobalt (Co I, Co II, Co III)	97
(w) Copper (Cu ⁺ , Cu ⁺⁺)	1.3
(w) Dichloroethane (1,2-CH ₂ ClCH ₂ Cl)	28
(w) Dioxins (unspecified)	860000000
(w) Ethyl Benzene (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	0.83
(w) Ethylene (C ₂ H ₄)	0.65
(w) Ethylene Oxide (C ₂ H ₄ O)	11000
(w) Formaldehyde (CH ₂ O)	0.037
(w) Lead (Pb ⁺⁺ , Pb ⁴⁺)	12
(w) Mercury (Hg ⁺ , Hg ⁺⁺)	1400
(w) Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	1.8
(w) Molybdenum (Mo II, Mo III, Mo IV, Mo V, Mo VI)	5500
(w) Nickel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	330

CML2000 - Toxicidad Humana [=] g _{eq} 1,4-DCB	Factor de caracterización
(w) Phenol (C ₆ H ₅ OH)	0.049
(w) Propylene Oxide (C ₃ H ₆ O)	2600
(w) Selenium (Se II, Se IV, Se VI)	56000
(w) Tetrachloroethylene (C ₂ Cl ₄)	5.7
(w) Thallium (Tl)	230000
(w) Tin (Sn ⁺⁺ , Sn ⁴⁺)	0.017
(w) Toluene (C ₆ H ₅ CH ₃)	0.3
(w) Tributyltin Oxide	3400
(w) Trichloroethane (1,1,1-CH ₃ CCl ₃)	16
(w) Trichloroethylene (CCl ₂ CHCl)	33
(w) Vanadium (V ³⁺ , V ⁵⁺)	3200
(w) Vinyl Chloride (CH ₂ CHCl)	140
(w) Zinc (Zn ⁺⁺)	0.58

Tabla 25 – Factores de caracterización CML 2000 – Toxicidad acuática (TxA).

CML2000 - Toxicidad acuática [=] g _{eq} 1,4-DCB	Factor de caracterización
(a) Acrolein (CH ₂ CHCHO)	520
(a) Antimony (Sb)	3.7
(a) Arsenic (As)	50
(a) Barium (Ba)	43
(a) Benzene (C ₆ H ₆)	0.000084
(a) Benzo(a)pyrene (C ₂₀ H ₁₂)	88
(a) Beryllium (Be)	17000
(a) Butadiene (1,3-CH ₂ CHCHCH ₂)	0.00000033
(a) Cadmium (Cd)	290
(a) Carbon Disulphide (CS ₂)	0.033
(a) Carbon Tetrachloride (CCl ₄)	0.00025
(a) Chloroform (CHCl ₃ , HC-20)	0.000095
(a) Chromium (Cr VI)	7.7
(a) Cobalt (Co)	640
(a) Copper (Cu)	220
(a) Dichloroethane (1,2-CH ₂ ClCH ₂ Cl)	0.00012
(a) Dioxins (unspecified)	2100000
(a) Ethyl Benzene (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	0.00013
(a) Ethylene (C ₂ H ₄)	0.000000000014
(a) Ethylene Oxide (C ₂ H ₄ O)	0.099

CML2000 - Toxicidad acuática [=] g _{eq} 1,4-DCB	Factor de caracterización
(a) Formaldehyde (CH ₂ O)	8.3
(a) Hexachlorobenzene (C ₆ Cl ₆)	1.3
(a) Hydrogen Fluoride (HF)	4.6
(a) Lead (Pb)	2.4
(a) Mercury (Hg)	320
(a) Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	0.000033
(a) Molybdenum (Mo)	97
(a) Nickel (Ni)	630
(a) Pentachlorobenzene (C ₆ HCl ₅)	0.37
(a) Pentachlorophenol (PCP, C ₆ Cl ₅ OH)	11
(a) Phenol (C ₆ H ₅ OH)	1.5
(a) Propylene Oxide (C ₃ H ₆ O)	0.037
(a) Selenium (Se)	550
(a) Styrene (C ₆ H ₅ CHCH ₂)	0.000051
(a) Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂)	2100000
(a) Thallium (Tl)	1600
(a) Tin (Sn)	2.5
(a) Toluene (C ₆ H ₅ CH ₃)	0.00007
(a) Vanadium (V)	1700
(a) Vinyl Chloride (CH ₂ CHCl)	0.0000029
(a) Xylene (m-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	0.000044
(a) Zinc (Zn)	18
(s) Arsenic (As)	130
(s) Atrazine (C ₈ H ₁₄ ClN ₅)	930
(s) Barium (Ba)	110
(s) Bentazon (C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₃ S)	11
(s) Cadmium (Cd)	780
(s) Chlorothalonil (C ₈ Cl ₄ N ₂)	3.7
(s) Chromium (Cr VI)	21
(s) Cobalt (Co)	1700
(s) Copper (Cu)	590
(s) Cypermethrin (C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ N ₃ O ₃)	690000
(s) Dinoseb (DNBP, C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₅)	58000
(s) Glyphosate (C ₃ H ₈ NO ₅ P)	3.7
(s) Lead (Pb)	6.5
(s) Linuron (C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O ₂)	2400
(s) Mercury (Hg)	850
(s) Metolachlor (C ₁₅ H ₂₂ ClNO ₂)	5800

CML2000 - Toxicidad acuática [=] g _{eq} 1,4-DCB	Factor de caracterización
(s) Molybdenum (Mo)	260
(s) Nickel (Ni)	1700
(s) Pirimicarb (C ₁₁ H ₁₈ N ₄ O ₂)	5200
(s) Tin (Sn)	6.9
(s) Vanadium (V)	4700
(s) Zinc (Zn)	48
(w) Antimony (Sb ⁺⁺)	20
(w) Arsenic (As ³⁺ , As ⁵⁺)	210
(w) Barium (Ba ⁺⁺)	230
(w) Benzene (C ₆ H ₆)	0.091
(w) Beryllium (Be)	91000
(w) Cadmium (Cd ⁺⁺)	1500
(w) Chloroform (CHCl ₃ , HC-20)	0.042
(w) Chromium (Cr III)	6.9
(w) Chromium (Cr VI)	28
(w) Cobalt (Co I, Co II, Co III)	3400
(w) Copper (Cu ⁺ , Cu ⁺⁺)	1200
(w) Dichloroethane (1,2-CH ₂ ClCH ₂ Cl)	0.023
(w) Dioxins (unspecified)	170000000
(w) Ethyl Benzene (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	0.55
(w) Ethylene (C ₂ H ₄)	0.022
(w) Ethylene Oxide (C ₂ H ₄ O)	9.8
(w) Formaldehyde (CH ₂ O)	280
(w) Lead (Pb ⁺⁺ , Pb ⁴⁺)	9.6
(w) Mercury (Hg ⁺ , Hg ⁺⁺)	1700
(w) Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	0.012
(w) Molybdenum (Mo II, Mo III, Mo IV, Mo V, Mo VI)	480
(w) Nickel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	3200
(w) Phenol (C ₆ H ₅ OH)	240
(w) Propylene Oxide (C ₃ H ₆ O)	4
(w) Selenium (Se II, Se IV, Se VI)	2900
(w) Tetrachloroethylene (C ₂ Cl ₄)	0.7
(w) Thallium (Tl)	8000
(w) Tin (Sn ⁺⁺ , Sn ⁴⁺)	10
(w) Toluene (C ₆ H ₅ CH ₃)	0.29
(w) Tributyltin Oxide	450000
(w) Trichloroethane (1,1,1-CH ₃ CCl ₃)	0.11
(w) Trichloroethylene (CCl ₂ CHCl)	0.097
(w) Vanadium (V ³⁺ , V ⁵⁺)	9000

CML2000 - Toxicidad acuática [=] g _{eq} 1,4-DCB	Factor de caracterización
(w) Vinyl Chloride (CH ₂ CHCl)	0.028
(w) Zinc (Zn ⁺⁺)	92

Tabla 26 – Factores de caracterización CML 2000 – Toxicidad terrestre (TxT).

CML2000 - Toxicidad terrestre [=] geq1,4-DCB	Factor de caracterización
(a) Acrolein (CH ₂ CHCHO)	16
(a) Antimony (Sb)	0.61
(a) Arsenic (As)	1600
(a) Barium (Ba)	4.9
(a) Benzene (C ₆ H ₆)	0.000016
(a) Benzo(a)pyrene (C ₂₀ H ₁₂)	0.24
(a) Beryllium (Be)	1800
(a) Butadiene (1,3-CH ₂ CHCH ₂)	0.000000023
(a) Cadmium (Cd)	81
(a) Carbon Disulphide (CS ₂)	0.0051
(a) Carbon Tetrachloride (CCl ₄)	0.00047
(a) Chloroform (CHCl ₃ , HC-20)	0.00004
(a) Chromium (Cr VI)	3000
(a) Cobalt (Co)	110
(a) Copper (Cu)	7
(a) Dichloroethane (1,2-CH ₂ ClCH ₂ Cl)	0.000026
(a) Dioxins (unspecified)	12000
(a) Ethyl Benzene (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	0.0000014
(a) Ethylene (C ₂ H ₄)	0.0000000000013
(a) Ethylene Oxide (C ₂ H ₄ O)	0.0025
(a) Formaldehyde (CH ₂ O)	0.94
(a) Hexachlorobenzene (C ₆ Cl ₆)	0.26
(a) Hydrogen Fluoride (HF)	0.0029
(a) Lead (Pb)	16
(a) Mercury (Hg)	28000
(a) Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	0.0000043
(a) Molybdenum (Mo)	18
(a) Nickel (Ni)	120
(a) Pentachlorobenzene (C ₆ HCl ₅)	0.039
(a) Pentachlorophenol (PCP, C ₆ Cl ₅ OH)	2.3
(a) Phenol (C ₆ H ₅ OH)	0.0033
(a) Propylene Oxide (C ₃ H ₆ O)	0.0015

CML2000 - Toxicidad terrestre [=] geq _{1,4-DCB}	Factor de caracterización
(a) Selenium (Se)	53
(a) Styrene (C ₆ H ₅ CHCH ₂)	0.00000014
(a) Tetrachlorodibenzo p-Dioxin (TCDD, 2,3,7,8-C ₁₂ H ₄ Cl ₄ O ₂)	12000
(a) Thallium (Tl)	340
(a) Tin (Sn)	14
(a) Toluene (C ₆ H ₅ CH ₃)	0.000016
(a) Vanadium (V)	670
(a) Vinyl Chloride (CH ₂ CHCl)	0.00000026
(a) Xylene (m-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	0.00000065
(a) Zinc (Zn)	12
(s) Arsenic (As)	8.8
(s) Atrazine (C ₈ H ₁₄ ClN ₅)	1.3
(s) Barium (Ba)	72
(s) Bentazon (C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₃ S)	10
(s) Cadmium (Cd)	83
(s) Chlorothalonil (C ₈ Cl ₄ N ₂)	0.68
(s) Chromium (Cr VI)	17
(s) Cobalt (Co)	6300
(s) Copper (Cu)	6300
(s) Cypermethrin (C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ NO ₃)	12000
(s) Dinoseb (DNBP, C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₅)	0.62
(s) Glyphosate (C ₃ H ₈ NO ₅ P)	78
(s) Lead (Pb)	0.3
(s) Linuron (C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O ₂)	33
(s) Mercury (Hg)	0.086
(s) Metolachlor (C ₁₅ H ₂₂ ClNO ₂)	56000
(s) Molybdenum (Mo)	0.41
(s) Nickel (Ni)	36
(s) Pirimicarb (C ₁₁ H ₁₈ N ₄ O ₂)	3.8
(s) Tin (Sn)	700
(s) Vanadium (V)	0.0016
(s) Zinc (Zn)	1400
(w) Antimony (Sb ⁺⁺)	1.7E-20
(w) Arsenic (As ³⁺ , As ⁵⁺)	1E-17
(w) Barium (Ba ⁺⁺)	5.1E-19
(w) Benzene (C ₆ H ₆)	0.000014
(w) Beryllium (Be)	3.3E-16
(w) Cadmium (Cd ⁺⁺)	1.4E-20

CML2000 - Toxicidad terrestre [=] geq1,4-DCB	Factor de caracterización
(w) Chloroform (CHCl ₃ , HC-20)	0.000039
(w) Chromium (Cr III)	2.3E-19
(w) Chromium (Cr VI)	2.3E-19
(w) Cobalt (Co I, Co II, Co III)	2.7E-18
(w) Copper (Cu ⁺ , Cu ⁺⁺)	4.1E-21
(w) Dichloroethane (1,2-CH ₂ ClCH ₂ Cl)	0.000026
(w) Dioxins (unspecified)	590
(w) Ethyl Benzene (C ₆ H ₅ C ₂ H ₅)	0.0000012
(w) Ethylene (C ₂ H ₄)	0.00000000000011
(w) Ethylene Oxide (C ₂ H ₄ O)	0.0018
(w) Formaldehyde (CH ₂ O)	0.0016
(w) Lead (Pb ⁺⁺ , Pb ⁴⁺)	4.8E-22
(w) Mercury (Hg ⁺ , Hg ⁺⁺)	930
(w) Methylene Chloride (CH ₂ Cl ₂ , HC-130)	0.0000039
(w) Molybdenum (Mo II, Mo III, Mo IV, Mo V, Mo VI)	2.3E-18
(w) Nickel (Ni ⁺⁺ , Ni ³⁺)	1E-18
(w) Phenol (C ₆ H ₅ OH)	0.0000025
(w) Propylene Oxide (C ₃ H ₆ O)	0.00065
(w) Selenium (Se II, Se IV, Se VI)	1.6E-17
(w) Tetrachloroethylene (C ₂ Cl ₄)	0.0079
(w) Thallium (Tl)	3.1E-17
(w) Tin (Sn ⁺⁺ , Sn ⁴⁺)	7.9E-22
(w) Toluene (C ₆ H ₅ CH ₃)	0.000014
(w) Tributyltin Oxide	0.11
(w) Trichloroethane (1,1,1-CH ₃ CCl ₃)	0.00018
(w) Trichloroethylene (CCl ₂ CHCl)	0.0000046
(w) Vanadium (V ³⁺ , V ⁵⁺)	1E-17
(w) Vinyl Chloride (CH ₂ CHCl)	0.00000026
(w) Zinc (Zn ⁺⁺)	2.5E-21