

## EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA COMO HERRAMIENTA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### Caso práctico – Cal hidratada en pasta

Rosario Tovar Alcázar  
**Asociación Nacional de Fabricantes de Cal A.C. - ANFACAL**  
Camino a Santa Teresa # 187 Col. Parques del Pedregal.  
Deleg. Tlalpan, México D.F. C.P. 14010  
Teléfono: +52 (55) 5171 3319  
e-mail: [rtovar@foccal.org](mailto:rtovar@foccal.org) / [anfacalac@prodigy.net.mx](mailto:anfacalac@prodigy.net.mx)

Juan Pablo Chargoy Amador  
**Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable A.C. - CADIS**  
Arboleda de la Hacienda # 150, Fraccionamiento Las Arboledas.  
Municipio de Atizapán de Zaragoza, Estado de México, C.P. 52950  
Teléfono: +52 (55) 2602 9694  
e-mail: [jpchargoy@centroacv.mx](mailto:jpchargoy@centroacv.mx) / [contact@centroacv.mx](mailto:contact@centroacv.mx)

#### RESUMEN

Toda edificación genera impactos durante su construcción y a lo largo de su vida útil. Sin embargo, el mayor impacto ambiental se encuentra en la etapa de uso, lo cual está totalmente relacionado con el sistema constructivo y la selección de los materiales/equipo a utilizar. Por ello, es importante investigar el impacto ambiental de los materiales a lo largo de su ciclo de vida.

La correcta selección de los materiales disminuye considerablemente el impacto ambiental de las construcciones; como podremos constatarlo con el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la cal, cuyo objetivo es evaluar el Impacto Ambiental del Ciclo de Vida (IACV) de la cal en pasta a través del aplanado de 1 m<sup>2</sup> de muro.

El ACV de la cal en pasta consideró el ciclo de vida completo del producto, desde la extracción y adquisición de la materia prima, pasando por la producción de energía / materia y la fabricación, hasta el uso y el tratamiento al final de la vida útil.

La unidad funcional asignada fue: Recubrir y proteger de manera natural y saludable 1 m<sup>2</sup> de muro con cal en pasta + agregado calizo, durante 10 años en óptimas condiciones.

La recopilación de datos relacionados con la producción de cal hidratada en polvo se hizo mediante el apoyo de una de las empresas productoras de cal más grandes del país, Grupo Calidra. Sin embargo, para efectos del presente ejercicio se hizo una estimación de las cifras (debidamente fundamentada) con la intención de tener las referencias más aproximadas a la producción de cal hidratada en pasta, ya que en la actualidad esta producción no se realiza en México de manera industrializada.

El software empleado para evaluar los impactos ambientales de la cal hidratada en pasta con un enfoque de ciclo de vida fue SimaPro.

El método de evaluación seleccionado fue el ReCiPe –Midpoint-.

En la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV) se apreció que en la producción o manufactura, la clasificación granulométrica no tiene mayor impacto ambiental, pero la hidratación, así como el envasado y la consecuente distribución son de las actividades que generan mayor afectación al ambiente. Por ende, se podría asumir que son de las más críticas a lo largo del proceso de producción de cal hidratada en pasta.

Con los resultados obtenidos, se concluyó que la cal hidratada en pasta es un producto de origen natural que si bien tiene un bajo impacto ambiental, también genera afectaciones; situación que la propia Industria Calera desconocía -por lo menos de manera parcial-. Sin embargo, con el ACV realizado no sólo se han podido documentar dichos impactos (para ser consultados), sino que también se ha determinado la relevancia de la carbonatación de los aplanados con cal y su consecuente mitigación del cambio climático, al absorber CO<sub>2</sub> del ambiente.

Además, se demostró que las cargas evitadas fueron realmente significativas en varias categorías de impacto ambiental, gracias a que la cal hidratada en pasta es un material que ofrece varios beneficios entre los que se destaca la reutilización, una vez que ha cumplido con su tiempo de vida útil.

## **ABSTRACT**

All buildings generate impacts during construction and throughout its life. However, the biggest environmental impact is in the use stage, which is completely related to the construction system and the selection of materials/equipment to be used. It is therefore important to research the environmental impact of materials throughout their life cycle.

The correct selection of materials, considerably reduces the environmental impact of buildings; as we can verify with the Life Cycle Assessment (LCA) of lime, which objective is to evaluate the Environmental Impact Life Cycle (EILC) of lime putty through the plaster of 1 m<sup>2</sup> of wall.

The LCA of lime putty considered the entire life cycle of the product, from extraction and acquisition of raw materials, through the production of energy and materials and manufacturing, until use and treatment at the end of the useful life.

The functional unit assigned was: To resurface and protect in a natural and healthy way 1 m<sup>2</sup> of wall with lime putty + added limestone, during 10 years under optimal conditions.

Data collection related to the production of hydrated lime powder was made by supporting of one of the largest producers of lime in the country, Grupo Calidra. However, for purposes of this exercise, it was made an estimate of the quantity (duly justified) with the intention of getting the most approximate references to the production of hydrated lime putty, because nowadays this production is not done in Mexico in an industrialized way.

The software used to assess the environmental impacts of hydrated lime putty with a life cycle focus was SimaPro.

The evaluation method selected was the Recipe -Midpoint-.

In the Impact Life Cycle Assessment (ILCA) we could notice that in the production or manufacturing, the granulometric classification has no greater environmental impact, but hydration, as well as packaging and the consequent distribution are activities that most affect the environment. Therefore, one could assume that they are the most critical along the production process of hydrated lime putty.

With the results obtained, we concluded that the hydrated lime putty is a natural product that not only has a low environmental impact, but also generates damages to the environment; situation that lime industry itself unknown-at least partially so.

However, with the performed LCA, not only has been able to document such impacts (to be consulted), but also it was possible to determine the relevance of carbonation of lime flattened and its consequent climatic change mitigation, by absorb CO<sub>2</sub> of environment.

Also, it was demonstrated that the avoided loads were really significant in several categories of environmental impact; thanks to the hydrated lime putty which is a material that offers several benefits including reusing once it has fulfilled its lifetime.

## **PALABRAS CLAVE**

Análisis del Ciclo de Vida, impacto ambiental, materiales de construcción, cal en pasta.

## **KEY WORDS**

Life Cycle Assessment, environmental impact, construction materials, lime putty

## **1.- INTRODUCCIÓN**

Toda edificación genera impactos durante su construcción y a lo largo de su vida útil. Sin embargo, el mayor impacto ambiental se encuentra en la etapa de uso, lo cual está totalmente relacionado con el sistema constructivo y la selección de los materiales/equipos a utilizar.

Por ello, es importante investigar el impacto ambiental de los materiales a lo largo de su **ciclo de vida**; es decir, conocer el impacto de la obtención de las materias primas, la producción, el empaque, el uso, el fin de vida y los transportes asociados.

Según las normas mexicanas NMX-SAA-14040-IMNC-2008 y NMX-SAA-14044-IMNC-2008, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es la recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales del sistema de un producto a través de su ciclo de vida.

La correcta selección de los materiales disminuye considerablemente el impacto ambiental de las construcciones; como podremos constatarlo con el ACV de la cal en pasta.

El ACV considera el ciclo de vida completo de un producto, desde la extracción y adquisición de la materia prima, pasando por la producción de energía / materia y la fabricación, hasta el uso y el tratamiento al final de la vida útil.

A través de esta visión general y perspectiva sistemática, se puede identificar y posiblemente evitar la transferencia del impacto ambiental entre las diversas etapas del ciclo de vida o entre las categorías de impacto.

Es necesario mencionar que un ACV es una metodología integrada de 4 fases plenamente identificables:

1. Definición del objetivo y alcance
2. Análisis del inventario
3. Evaluación del impacto ambiental
4. Interpretación

Sin embargo, debe considerarse que los límites y profundidad de estas fases siempre estarán en función de la aplicación y público previsto.

El proyecto de la cal en pasta se realizó de acuerdo a la Norma NMX-SAA-14040-IMNC-2008 de Gestión Ambiental - Análisis de ciclo de vida – *Principios y marco de referencia*; la cual es la traducción consensuada de la norma internacional ISO 14040:2006

Asimismo, se consideró la Norma NMX-SAA-14044-IMNC-2008 de Gestión Ambiental - Análisis de ciclo de vida – *Requisitos y directrices*; la cual es la traducción consensuada de la norma internacional ISO 14044:2006

Ambas normas tienen como objetivo el establecer y describir los parámetros metodológicos que permitan realizar el ACV de un producto o material.

Se eligió la cal en pasta por considerar que aparte de ser poco conocida y aplicada en México, es un producto de origen natural que debido a su desempeño físico-químico ofrece una amplia gama de posibilidades en la construcción. Al mismo tiempo que hace una aportación de tipo ambiental al tener como materia prima y producto final al carbonato de calcio.

La cal en pasta es un producto que surge de la piedra caliza (carbonato de calcio), la cuál es sometida a calcinación para obtener cal viva (óxido de calcio), este tipo de cal al entrar en contacto con el agua experimenta una reacción química para convertirse en cal hidratada (hidróxido de calcio) pudiendo ser ésta en pasta o bien, el polvo; esto último dependiendo de la cantidad de agua que haya sido suministrada.

A la cal en pasta se le conoce comúnmente como cal apagada y ofrece múltiples beneficios al ser combinada con agregados finos.

Bajo la modalidad de mezcla para acabados, permite crear superficies de gran belleza y durabilidad, eso sin mencionar que al paso del tiempo la capa de recubrimiento de cal en pasta comienza a absorber el dióxido de carbono del ambiente, a este proceso se le denomina carbonatación porque se comienza a constituir morfológicamente como un carbonato de calcio; es decir, como piedra caliza, la misma que le dio origen. Teniendo así, un ciclo de material plenamente identificado.

## **2.- DESARROLLO**

El uso de la cal en el ámbito de la edificación ha ido perdiendo fuerza paulatinamente a consecuencia de varios factores; destacando en primer lugar la falta de conocimiento de sus características, comportamiento físico-químico en múltiples aplicaciones y los beneficios que ofrece en cada una ellas, en segundo sitio pero no por ello menos relevante, se debe mencionar la incursión de otros conglomerantes como el cemento, el mortero y el yeso en tareas para las cuales no fueron concebidos.

Con el desarrollo del ACV de la cal en pasta se planeó fundamentar y promover su uso como recubrimiento de origen natural al determinar su impacto ambiental; tomando en consideración que es un producto que no sólo protege a los muros sino que además, propicia la creación de ambientes saludables al interior y exterior de los espacios, ya que por un lado permite la transpirabilidad de los muros y por otro, absorbe dióxido de carbono de la atmósfera.

Existe el antecedente de que en las instituciones de enseñanza superior se predispone al uso de cemento y yeso para el recubrimiento de muros, por considerar que son más resistentes y por ende más duraderos; aspecto que debe ser abordado y definido como parcialmente necesario en un acabado para muros, ya que lo que en realidad se debe buscar en un recubrimiento es la adherencia, la transpirabilidad y nula toxicidad, características que sin duda sólo puede otorgar la cal en pasta.

Las principales ventajas del uso de la cal en pasta son:

- Mayor adherencia
- Mayor plasticidad y por ende trabajabilidad
- Mayor flexibilidad y por ende mayor durabilidad
- Mayor impermeabilidad al agua
- Mayor calidad
- Mayor retención de agua y por ende menor segregación de materiales
- Menor retracción
- Menor número de patologías (como eflorescencias, fisuras o desprendimientos)
- Menor costo

## 2.1 ALCANCE DEL ACV

### a) Unidad funcional

La unidad funcional propuesta fue:

Recubrir y proteger de manera natural y saludable 1 m<sup>2</sup> de muro con cal en pasta + agregado calizo, durante 10 años en óptimas condiciones.

### b) Flujo de referencia

El flujo de referencia considerado fue:

Para recubrir 1 m<sup>2</sup> de muro con un espesor de 5 mm o menos, se requieren de 7 kg de cal en pasta (1 cubeta de galón – 3.7 litros aproximadamente) compuesta de 1 kilogramo de cal viva + 3 litros de agua (cantidad que variará de acuerdo al clima).

- La densidad de la cal viva promedio es de 750 kg/m<sup>3</sup>
- La densidad del agua es de 1000 kg/ m<sup>3</sup>
- La densidad de la cal en pasta es de 500 kg/m<sup>3</sup>

En la etapa de preparación y uso, por cada galón de cal en pasta (1 cubetita) se consideró la adición de lo equivalente a 3 cubetitas de agregado calizo (0.9 mm), siguiendo una proporción estándar de 1:3 aproximadamente (en volúmenes), ésta variable depende de factores como la calidad de los materiales involucrados y la mano de obra.

Asimismo, es viable la inclusión de pigmento mineral en dado caso que se quiera obtener un acabado cromático. La cantidad del mismo, estará regulado por la intensidad o tono del color deseado; esta opción no fue considerada para efectos del presente estudio.

### c) Sistema del producto

Para determinar el sistema del producto (conjunto de procesos unitarios) se tomaron como base las etapas del proceso de producción de la cal aérea en sus dos variantes; viva e hidratada, siendo esta última en su modalidad de pasta la que será analizada y evaluada. (Figura 1)

#### **Etapas 1.- Extracción de materia prima –carbonato de calcio Ca CO<sub>3</sub>-**

Incluye actividades de explotación de cantera y transportación del material.

En esta etapa se tienen:

- Entrada de carbonato de calcio y combustible
- Salida de dióxido de carbono y partículas (cantidad despreciable)

### **Etapa 2.- Producción o manufactura de la cal aérea tanto viva como hidratada**

Incluye actividades de trituración del carbonato de calcio, la clasificación granulométrica, calcinación y clasificación por granulometría pero ahora de cal viva, que es el producto resultante de la calcinación del carbonato inicial. Asimismo, se incluye la molienda de los terrones de cal viva para efectos de canalizarlos hacia la hidratadora, en donde se hará el suministro de agua que permitirá la obtención del hidróxido de calcio; ya sea en pasta o en polvo. Posterior a la hidratación se hace una clasificación del producto previa al envasado.

- Entrada de energía eléctrica
- Salida de partículas (cantidad despreciable)
- Salida de agregados calizos
- Entrada de combustible (gas natural y pet coke)
- Salida de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>
- Entrada de agua
- Salida de vapor de agua

### **Etapa 3.- Envasado**

Incluye la actividad de envasado de la cal hidratada en pasta o en polvo.

- Entrada de energía eléctrica y cubeta de plástico de 1 galón
- Salida de residuos

### **Etapa 4.- Distribución**

Incluye la actividad de distribución del producto final para lo que se requiere de un vehículo automotor y la distancia promedio que se considera es de 10 km. de la planta

- Entrada de transporte (combustible y emisiones a la atmósfera)

### **Etapa 5.- Aplicación y uso**

Incluye la actividad de mezclar manualmente la cal en pasta con agregado calizo y pigmento (de ser necesario), así como la aplicación manual de la misma en el muro o superficie a recubrir.

- Entrada de agregado calizo y dióxido de carbono CO<sub>2</sub>
- Salida de residuos y cubeta de plástico

### **Etapa 6.- Fin de vida**

Incluye la actividad de remoción y trituración manual del recubrimiento de cal en pasta para la obtención de carbonato de calcio útil para replicar la aplicación de recubrimiento en muros.

- Entrada de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>
- Salida de carbonato de calcio -Ca CO<sub>3</sub>-

### **d) Criterios de corte**

Se optó por no considerar criterio de corte alguno ya que se quiso hacer el análisis lo más completo y objetivo posible, partiendo de que el presente estudio es auspiciado por la propia industria calera y es ella quien proporcionó la información requerida.

Además, lo que realmente fundamentó este análisis fue el poder demostrar que la cal hidratada es un producto que cierra su ciclo y que puede ser reutilizado en aplicaciones complementarias a la aplicación original. Por esa razón, el presente estudio se llevó de la cuna a la cuna.

Sin embargo, es importante indicar que no se consideraron algunos procesos como el almacenaje y traslado de las cubetas de plástico tanto vacías como llenas; esto en virtud de tener un impacto poco significativo.

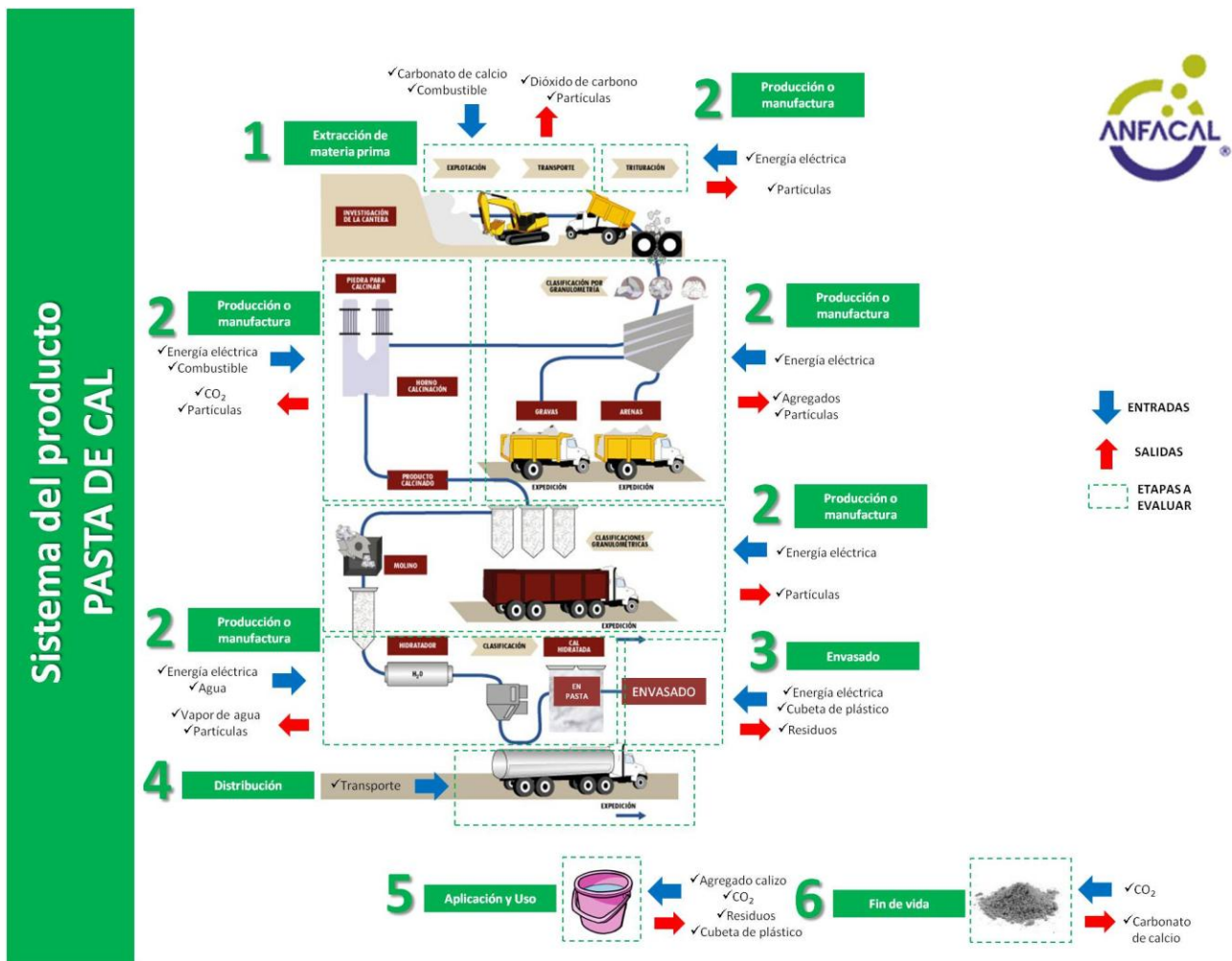


Figura 1.- Sistema del producto.

## 2.2 INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA (ICV)

### a) Procedimiento de recopilación de datos

La recopilación de datos se hizo mediante el apoyo de una de las empresas productoras de cal más grandes del país, Grupo Calidra (específicamente la planta Caleras de la Laguna) ya que ésta proporcionó todos los datos relacionados con la producción de cal hidratada en polvo. Por lo que, para efectos del presente ejercicio se hizo una estimación de las cifras (debidamente fundamentada) con la intención de tener las referencias más aproximadas a la producción de cal hidratada en pasta, ya que en la actualidad esta producción no se realiza en México de manera industrializada.

Asimismo, se tuvo el apoyo de la empresa TEXZIM -Texturizados de Zimapán- para la verificación de los datos relacionados con la proporción de materiales y el envasado de cal en pasta.

Algunos datos de la cal en pasta (lime putty) fueron obtenidos del sitio web de Graymont, empresa productora de cal en Estados Unidos y Canadá.

<http://www.graymont.com/en/products/hydrated-lime/niagara-lime-putty>

**Nota:** Para complementar el Inventario del Ciclo de Vida se utilizó la base de datos Ecoinvent.

**b) Diagrama de flujo de los procesos unitarios evaluados (Figura 2)**

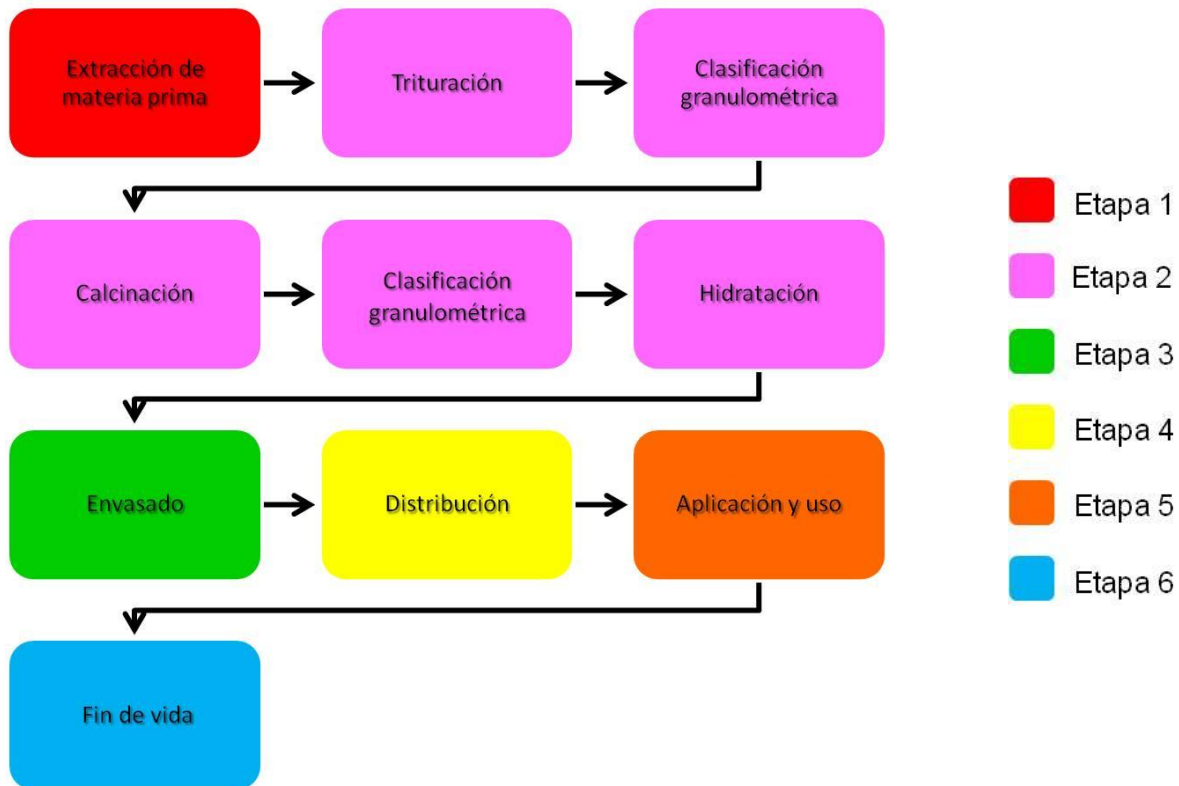


Figura 2.- Procesos unitarios

- La etapa uno corresponde al proceso unitario de extracción de materia prima (carbonato de calcio).
- La etapa dos corresponde al proceso unitario de producción o manufactura e incluye las actividades de trituración, clasificación granulométrica del carbonato de calcio, calcinación, clasificación granulométrica de la cal viva e hidratación.
- La etapa tres corresponde al proceso unitario de envasado de la cal hidratada en pasta.
- La etapa cuatro corresponde al proceso unitario de distribución del producto.
- La etapa cinco corresponde al proceso unitario de aplicación y uso de la pasta.
- La etapa seis corresponde al proceso unitario de fin de vida del acabado (dos escenarios).

**c) Procedimientos de asignación aplicados y su justificación**

Relativo al procedimiento de asignación, se propuso que fuera por MASA, dado que de los materiales obtenidos durante el proceso de producción, la cal viva e hidratada representan el 60% del volumen total de la materia involucrada en la transformación.

Dicha validación de producto está en función de la variación granulométrica –principalmente-, ya que el 40% de carbonato de calcio restante no cumple con las dimensiones mínimas necesarias para ser ingresado a los hornos (2" a 4").



#### **d) Suposiciones realizadas**

Quizá la suposición de mayor relevancia para efectos del presente estudio, es al mismo tiempo la razón fundamental por la cual se optó por la simulación del proceso de producción de cal hidratada en pasta, ya que la cal hidratada en polvo ha caído en desuso en las últimas décadas, bajo el argumento de que es muy complejo y artesanal su uso para la elaboración de mezclas de albañilería.

Otra suposición fue precisamente la relativa a la disposición final de producto, ya que se asumió que –preferentemente- el recubrimiento retirado del muro (una vez que ha cumplido su tiempo de vida útil), sea reutilizado en la elaboración de una segunda mezcla de albañilería o en alguna otra tarea constructiva. Esto mitigaría de manera significativa el impacto ambiental de un residuo que habitualmente se va a los tiraderos de cascajo o escombro.

El producto árido resultante de la cal en pasta carbonatada es de alta calidad y por obvias razones implicaría un ahorro económico dentro del proyecto.

### **2.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV)**

#### **a) Software empleado para el cálculo de impactos**

El software empleado para evaluar los impactos ambientales de la cal hidratada en pasta con un enfoque de ciclo de vida fue SimaPro, ya que está en línea con la normativa de ACV.

#### **b) Método de evaluación empleado y la explicación de la selección**

El método de evaluación seleccionado fue el ReCiPe –Midpoint- Creado por el Instituto Nacional para la Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM, siglas en Neerlandés), el Centro de Estudios Ambientales (CML), PRé Consultants, Radboud University Nijmegen y CE Delft.

[www.lcia-ReCiPe.net](http://www.lcia-ReCiPe.net)

Además, de que con este método se determina y evalúa el impacto ambiental en puntos intermedios del mecanismo ambiental de 18 categorías a partir de la emisión de una sustancia específica y su contribución a un problema ambiental también específico.

*ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the end point level. Mark Goedkoop, Reinout Heijungs, Mark Huijbregts, An De Schryver, Jaap Struijs and Rosaline van Zelm. 2013.*

### c) Resultados de la EICV

#### La Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (Figuras 3 y 4)

Escenario uno. Cal en pasta / Reutilización del aplanado.

La cal en pasta una vez que ha cumplido su función y es retirada del muro se reutiliza como agregado fino en una segunda mezcla de albañilería; la razón es que el producto resultante es un carbonato de calcio o piedra caliza molida.

Como el carbonato de calcio es un sumidero de carbono (depósito natural) que disminuye la concentración del dióxido de carbono en el ambiente, se optó por indicar una pequeña fracción de dióxido de carbono evitado.

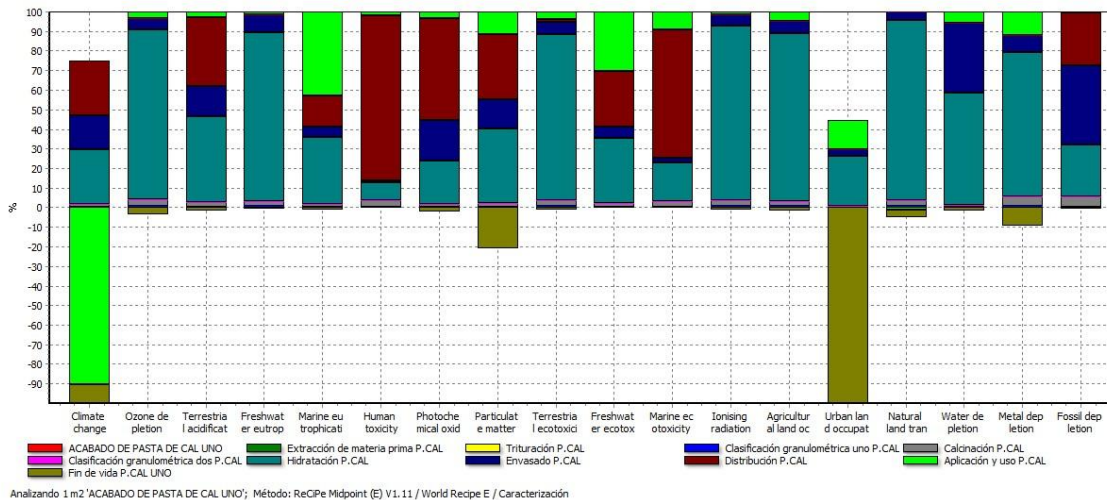


Figura 3.- Reutilización del aplanado.

Escenario dos. Cal en pasta / Desecho del aplanado.

El recubrimiento del muro es removido y tirado.

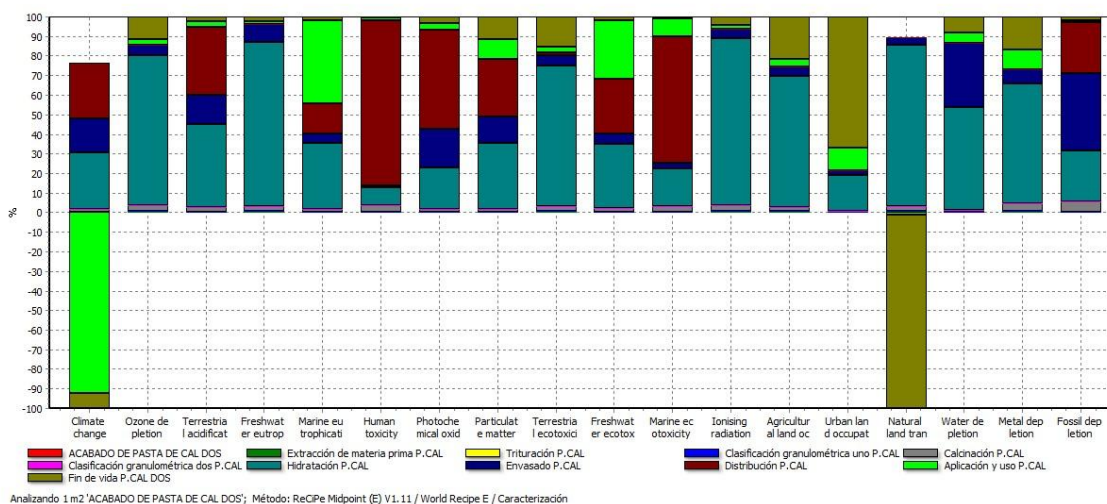


Figura 4.- Desecho del aplanado.

#### **d) Análisis de contribución**

Según los resultados obtenidos se determinó que:

- En la etapa 1 de extracción de materias primas el material que tiene mayor repercusión ambiental (en todas las categorías) es el diesel utilizado. La extracción de la propia materia prima (carbonato de calcio) representa una contribución directa al cambio climático.
- En la etapa 2 de producción o manufactura integrada por 5 actividades distintas, el factor de mayor peso es la electricidad. El empleo de pet coke y gas natural durante la calcinación del carbonato de calcio contribuye directamente (y en gran proporción) al agotamiento de los recursos fósiles, a la ecotoxicidad marina y toxicidad humana y a la emisión de partículas u oxidantes fotoquímicos, por mencionar algunas de las categorías más representativas. El uso de agua durante la hidratación del óxido de calcio favorece el agotamiento de los recursos hídricos. La emisión de partículas durante la trituración y clasificación granulométrica es prácticamente despreciable para efectos de este análisis.
- En la etapa 3 de envase, la electricidad consumida y el plástico requerido para la cubeta tienen una significativa aportación en la mayoría de las categorías. El posible residuo o merma de la pasta durante el envasado tiene menos impactos, aún así deben considerarse.
- En la etapa 4 de distribución lo que impacta en todas las categorías es el transporte, debido a las emisiones generadas por la combustión. Podría funcionar hacer más eficientes los traslados.
- En la etapa 5 de aplicación y uso, el material que tiene una repercusión en todas las categorías es el plástico de la cubeta que se vacía. Asimismo, el agregado calizo utilizado (dada la finura que requiere) representa una afectación directa. Los residuos de material tienen un impacto menor, pero vale la pena considerarlo en la generación de recomendaciones.
- En la etapa 6 de fin de vida, en el escenario uno que indica que la cal en pasta es reutilizada satisfactoriamente en alguna tarea alterna de construcción, se identifican cargas evitadas en todas las categorías. Sin embargo, en el escenario dos, la pasta retirada o más bien el carbonato de calcio que fungió como recubrimiento es desechado sin mayor control; es por eso que tiene un impacto ambiental significativo en la mayoría de las categorías.

## **2.4 INTERPRETACIÓN**

### **a) Identificación de asuntos significativos ICV y EICV**

En las evaluaciones de impacto del ciclo de vida (etapas por separado) se aprecia que en la que corresponde a la producción o manufactura, la clasificación granulométrica no tiene mayor impacto ambiental, pero la hidratación, así como el envasado y la consecuente distribución son de las actividades que generan mayor afectación al ambiente. Por ende, se podría asumir que son de las más críticas a lo largo del proceso de producción de cal hidratada en pasta.

Después de analizar el gráfico se pensó que los aspectos a cuidar son los relativos a la aplicación y uso; por ser los que mayor afectación representan en las categorías de agotamiento de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, ecotoxicidad y toxicidad humana, así como el agotamiento de recursos hídricos y minerales; situación que sin duda expone la necesidad de revisar cuidadosamente estas actividades para comprender el motivo.

Asimismo, es evidente que el envasado de cubetas de 1 galón de capacidad y 7 kilogramos de pasta indica que la propuesta de comercializar la cal en pasta bajo esta modalidad requiere de un mayor estudio para la eventual sustitución de este contenedor en tamaño y procedencia.

Finalmente, la distribución deberá ser más eficiente, mediante un medio de transporte adecuado; de esta manera se podrá abatir el efecto negativo que refleja.

### 3.- CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos, se concluyó que la cal hidratada en pasta es un producto de origen natural que si bien tiene un bajo impacto ambiental, también genera afectaciones; situación que la propia Industria Calera desconocía -por lo menos de manera parcial-. Sin embargo, con el ACV realizado no sólo se han podido documentar dichos impactos (para ser consultados), sino que también se ha determinado la relevancia de la carbonatación de los aplanados con cal y su consecuente mitigación del cambio climático, al absorber CO<sub>2</sub> del ambiente.

Además, se demostró que las cargas evitadas fueron realmente significativas en varias categorías de impacto ambiental, gracias a que la cal hidratada en pasta es un material que ofrece varios beneficios entre los que se destaca la reutilización, una vez que ha cumplido con su tiempo de vida útil.

La limitación más grande fue el cálculo o estimación de algunos de los datos obtenidos, puesto que éstos fueron los relativos a la producción de cal hidratada en polvo, siendo el objeto de estudio de este proyecto la cal hidratada pero en pasta.

Por otro lado, en el ICV de cada uno de los procesos unitarios se identificó la complejidad de encontrar los datos que se aproximen a la realidad de producción en México. Razón por la que será inminente la generación de un ICV de la gestión de residuos en el país para obtener resultados más representativos, ya que los modelos empleados corresponden a Europa.

Partiendo de que la etapa de fin de vida de la cal en pasta –por lo menos en el segundo escenario- representa una considerable afectación al ambiente, se propone que para disminuir el impacto se promueva la reutilización del aplanado una vez que éste haya cumplido con su tiempo de vida útil. Asimismo, deberán implementarse nuevas o mejores formas de aplicación y uso para contrarrestar los impactos negativos que esto pueda generar.

La recomendación para la realización de futuras evaluaciones, incluso para la posterior complementación y/o modificación del presente análisis, es que se conjunten esfuerzos entre los involucrados en la producción y uso de materiales de construcción afines, con la intención de obtener alternativas para el proceso, que representen una verdadera opción para el mejoramiento del estado que guarda el ambiente.

Finalmente, será necesaria una mayor profundidad en la recopilación de datos para abatir cualquier omisión o estimación fallida (ya que pese a la certeza de algunos datos, siempre es posible un error).

## BIBLIOGRAFÍA

- CCA.- Comisión para la Cooperación Ambiental (2008), **Edificación Sustentable en América del Norte. Oportunidades y Retos**; Canadá.
- E.O. (1998), **Guía Práctica de la Cal y el Estuco**; Editorial de la Oficios, España.
- GÁRATE, I. (1994), **Artes de la Cal**; Editorial de los Oficios, España.
- HOLMES, S. / WINGATE, M. (2002), **Building with Lime**; ITDG Publishing, Inglaterra.
- HORNBOSTEL, C. (2005), **Materiales para Construcción**; Limusa Wiley, México.
- MC DONOUGH W. / BRAUNGART M. (2002), **Cradle to Cradle**; North Point Press, Estados Unidos.
- NLA (1995), **Lime. Handling, Application and Storage**; NATIONAL LIME ASSOCIATION, Estados Unidos.
- Norma NMX-SAA-14040-IMNC-2008 de Gestión Ambiental - **Análisis de ciclo de vida – Principios y marco de referencia**
- Norma NMX-SAA-14044-IMNC-2008 de Gestión Ambiental - **Análisis de ciclo de vida – Requisitos y directrices**
- OATES, J.A.H. (1998), **Lime and Limestone Chemistry and Technology, Production and Uses**; Wiley-VCH, Germany.
- ReCiPe. **A life cycle impact assessment method** [www.Icia-ReCiPe.net](http://www.Icia-ReCiPe.net)
- RINCÓN, A. / ROCHA, A. (1991), **ABC de Física**; Ediciones Humanicia, S.A., México.
- TOVAR, R. (2013), **La Cal. Ciencia, Arte y Técnica**. Grupo Calidra, México.
- TOVAR, R. (et al.) (2009), **Guía Práctica para la Construcción**; Grupo Calidra, México.