

PERFIL AMBIENTAL DEL CEMENTO PÓRTLAND PRODUCIDO EN LA REGIÓN OESTE ARGENTINA, SEGÚN LA METODOLOGÍA DEL IPCC.

Arena, A.P., Correa, E.N., de Rosa, C.
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. INCIHUSA. Cricyt (CONICET)
Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. 5500 Mendoza. Tel 0261 4287370. Fax: 0261 4287370.
E-mail: aparena@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN: El cemento es uno de los materiales más empleados en la industria de la construcción, y se espera que su demanda crezca aún más, si los países en vías de desarrollo con un gran déficit habitacional y de infraestructuras, logran incrementar su bienestar económico. La fabricación del cemento tiene importantes implicaciones ambientales, dado que es una actividad energéticamente intensiva, y este impacto ambiental “se incorpora” en los productos del sector edilicio que utilizan este componente. Por este motivo, es necesario conocer el perfil ambiental del cemento que se utiliza en un determinado producto si se desea conocer su impacto, en particular en estudios como el Análisis de Ciclo de Vida. En este trabajo se realiza un estudio del perfil ambiental del cemento Pórtland producido en la región centro-oeste de la Argentina, utilizando la metodología del IPCC (panel intergubernamental sobre el cambio climático), incluyendo las categorías de impacto de mayor relevancia actual. Además, el estudio muestra la influencia que cada uno de los procesos involucrados tiene sobre ese impacto, lo que da indicaciones sobre las posibilidades para mejorar el perfil ambiental del cemento.

Palabras clave: cemento, impacto ambiental, Análisis del Ciclo de Vida.

INTRODUCCIÓN

El cemento, inventado a principios del siglo XIX en Inglaterra, es un elemento clave en la industria de la construcción. Su participación como elemento de liga de los agregados que constituyen el concreto, determina su presencia en una amplia mayoría de las construcciones modernas. La determinación del impacto ambiental derivado de la producción del cemento es una tarea compleja, no sólo por la cantidad de procesos involucrados, sino también por la dificultad de encontrar datos atendibles. En el ámbito local y regional es muy poca la información que se puede encontrar, y es necesario dedicar mucho tiempo y esfuerzo para recopilar la información requerida. No obstante estas dificultades, la gran importancia que tiene este elemento en la sociedad moderna, ampliamente utilizado para la fabricación de elementos de concreto, por ejemplo para edificios, carreteras o puentes, sumado a las importantes implicancias ambientales de los procesos involucrados durante su fabricación, hacen indispensable emprender esta tarea. En efecto, el cemento es producido en muchos países (más de 80), entre ellos la Argentina, una industria que es energéticamente muy intensiva, y por lo tanto contribuye fuertemente al efecto invernadero, fundamentalmente por las emisiones de CO₂. En países en desarrollo, donde existe un gran déficit habitacional y necesidad de construcción de infraestructura importante, la demanda de cemento es creciente, en función del crecimiento económico.

OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo del estudio es obtener información acerca del perfil ambiental del cemento Pórtland producido en la región centro-oeste de la Argentina, información de sumo valor al momento de realizar estudios como el Análisis de Ciclo de Vida de productos del sector edilicio, que utilizan este material entre sus componentes. No se incluye en el estudio los recursos consumidos y las emisiones liberadas asociadas a la construcción de la planta de fabricación del cemento ni a la maquinaria e insumos involucrados. Si se ha considerado el impacto asociado al transporte de la materia prima hasta la planta. Para llevar a cabo el estudio se ha utilizado la metodología del IPCC.

PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CEMENTO

La producción de cemento requiere dos materiales fundamentales: uno es el calcio, y el otro el silicio. Estos materiales, junto con pequeñas cantidades de aditivos que le confieren propiedades específicas, son molidos y mezclados finamente antes de ingresar al horno de cocción, donde alcanza temperaturas cercanas a los 1500 °C. Esta cocción a alta temperatura produce la fusión de la materia prima, lo que produce cambios físicos y químicos en ella y que al enfriarse solidifica constituyendo el clinker, capaz de reaccionar en presencia de agua. La fabricación del cemento implica por lo tanto tres procesos principales: obtención de materia prima, producción de clinker, y trituración y mezclado del clinker con yeso. La materia prima que provee los materiales citados son comúnmente caliza, yeso, esquistos y puzzolana.

Durante la producción del clinker se produce la calcinación de la caliza, lo que da como resultado óxido de calcio y dióxido de carbono que es liberado en la atmósfera. El calentamiento a alta temperatura determina que la cocción en el horno sea el proceso que más consume energía, producida a través de la combustión de uno o varios tipos de combustible, lo cual produce más

emisiones de dióxido de carbono. El proceso de producción de cemento es así uno de los mayores consumidores de energía de todos los procesos industriales.

La cantidad de energía y de emisiones de CO₂ producidas están condicionadas fuertemente por el tipo de combustible utilizado en la planta. El horno rotativo de alta temperatura utilizado es apto para la utilización de gran variedad de combustibles, lo que hace que estas plantas utilicen residuos sólidos urbanos, neumáticos viejos, combustibles residuales y hasta residuos patológicos, en general suplementados por otras fuentes convencionales. Otro factor que condiciona la magnitud de los consumos energéticos y de las emisiones es el tipo de proceso utilizado, que puede ser seco o húmedo. El primero es más eficiente, y es el que prevalece en el mercado actual.

Otros factores que influyen en este aspecto son la proporción entre clinker y otras materiales que conforman el cemento: una tendencia moderna es a aumentar la proporción de puzzolanas en el cemento, lo que determina un producto final menos intensivo desde el punto de vista energético, y que libera menor cantidad de CO₂.

En los procesos de trituración, transporte, mezclado y envasado se utiliza en general energía eléctrica. La energía primaria utilizada para su producción y la eficiencia de las plantas eléctricas que alimentan la planta influyen también en la cantidad de emisiones de CO₂ que se asocian al cemento producido.

Por último, la eficiencia de la planta productora influye en los consumos y emisiones producidas, en función de la existencia de elementos para recuperar el calor de escape del horno, en optimizar los trayectos de transporte de materia prima, los procesos de molienda, la presencia de filtros recuperadores de polvo, etc. El calor de escape puede ser recuperado por ejemplo para precalentar la materia prima antes de su ingreso al horno. También se puede utilizar para cogenerar energía eléctrica, por ejemplo con tecnología de lecho fluidizado circulante (Li et al 1999). Esto es particularmente útil cuando la planta está alejada de las líneas de transporte y distribución de energía eléctrica.

EL CASO ANALIZADO

El proceso analizado en este trabajo es del tipo seco, el cual presenta la ventaja de requerir menor energía por cada unidad de cemento producida. Los principales procesos que intervienen durante la fabricación del cemento son representados en modo esquemático en la Figura 1.

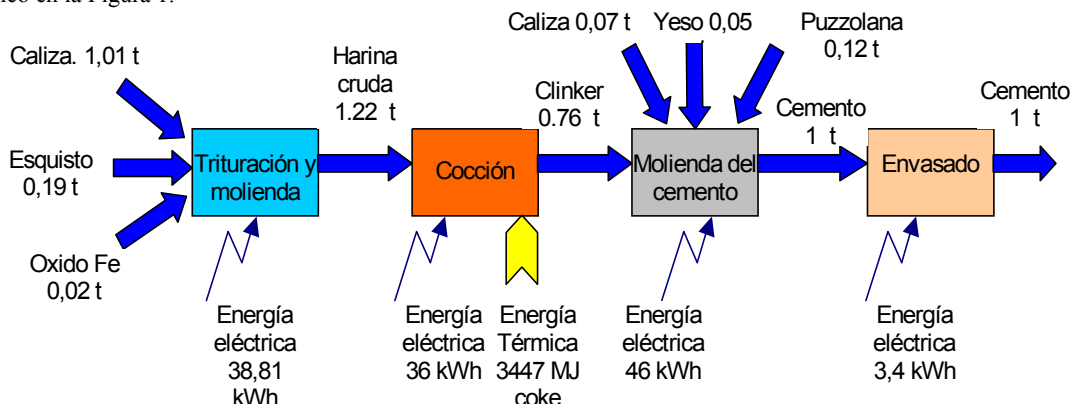


Fig. 1. Esquema de producción del cemento Pórtland

ACV CEMENTO

El esquema de la Figura 1 representa todos los procesos involucrados en la fábrica de cemento. Sin embargo, el ACV del cemento no tiene en cuenta solamente las emisiones directas en la planta de producción del cemento, sino también todas las emisiones indirectas y los consumos de recursos debidos a la extracción y transporte de la materia prima. El consumo de energía eléctrica en la producción no implica emisiones en la planta, sino en la central térmica y en los yacimientos de donde se extrajo el combustible, las que se deben tener en cuenta. Como consecuencia de esto, el resultado del inventario es una lista de cientos de distintas emisiones en el ambiente y de materiales consumidos tomados desde el ambiente.

Por este motivo es necesario tener en cuenta de dónde proviene la materia prima, qué procesos ha sufrido desde su extracción, qué origen tiene la energía eléctrica utilizada (hidroeléctrica, nuclear, gas natural, etc.). Por ejemplo en el caso analizado el óxido de hierro es un subproducto de las acerías, que se encuentran a unos 1000 km de la fábrica de cemento, y para su transporte se utilizan camiones. El combustible utilizado en los hornos de cocción en cambio está constituido por coke de petróleo y de residuos de destilería situada a 50 km.

Dado el grado de sensibilidad de los resultados a los flujos de energía y de materia, en la mayoría de los casos la cuantificación de

los flujos no requiere grados de exactitud muy elevados. Esto permite la utilización de datos correspondientes a procesos similares de otros países, o de datos estimados cuando estos no son disponibles. Sin embargo, en determinadas circunstancias las tecnologías adoptadas en otros países reflejan condiciones muy distintas de las locales, lo que hace imposible su adopción. Estos casos exigen un análisis más profundo para obtener datos atendibles. Uno de los aspectos que hay que considerar al utilizar datos foráneos es el origen de la energía utilizada cuando se quieren asociar cargas ambientales a los consumos energéticos.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

El método del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) goza de gran aceptación entre la comunidad científica para llevar a cabo evaluaciones de impacto ambiental de productos, sistemas o servicios, y permite realizar comparaciones objetivas considerando todas las fases de su ciclo de vida útil. Se consideran todos los flujos de materia y de energía consumidos y emitidos por el sistema desde la extracción de materia prima, el transporte, la puesta en obra, la operación, el mantenimiento, el desmantelamiento y el tratamiento de los residuos al final de la vida útil. La fase de disposición final no ha sido incluida en este estudio, por falta de valores estadísticos locales atendibles. Por este motivo no se ha considerado el eventual reciclado de los materiales, práctica que por otro lado no es adoptada en la región, y que podría traer beneficios ambientales notables. Si bien es cierto que no siempre el reciclado produce beneficios ambientales y económicos, en el caso de los pavimentos muchas veces estos beneficios se obtienen, en particular cuando el material es reusado en el mismo lugar, o en las cercanías, sin requerir grandes desplazamientos.

De acuerdo a la ISO 14040, las etapas de un ACV son Definición; Inventario; Evaluación de Impactos e Interpretación.

Definición del estudio: *el impacto ambiental producido por la fabricación de 1 ton de cemento Pórtland en la región centro-oeste de la Argentina.*

Inventario: Es la recopilación de información sobre todos los recursos y procesos requeridos y las emisiones producidas para la obtención del producto estudiado. Para la recopilación de datos correspondientes a cada proceso se realizó una visita a la planta de fabricación de cemento, y se realizaron encuestas a los ingenieros de planta. Se han considerado además las emisiones liberadas y los recursos consumidos en los procesos energéticos (producción de la energía eléctrica consumida, combustión en el horno, transporte de materia prima). No se incluyó en el estudio la liberación de particulado. La instalación analizada está provista de filtros que evitan en parte su liberación al ambiente, pero la imposibilidad de contrastar la información sobre su eficiencia determinó su exclusión de los cálculos.

Para la cuantificación de las emisiones se ha utilizado la metodología propuesta por las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Libro de trabajo (IPCC,1996)

En la producción del cemento intervienen tanto procesos energéticos como la quema de combustibles como transformaciones químicas, la metodología general empleada para estimar las emisiones asociadas a cada proceso industrial se obtienen teniendo en cuenta datos a nivel de la actividad o del producto por ej. Cantidad de material producido o consumido, y un factor de emisión asociado por unidad de consumo/ producción de acuerdo al siguiente método :

$$TOTAL I_j = A_j \times EF_{ij} \quad (1)$$

donde:

TOTAL ij = toneladas del gas i emitido desde el proceso del sector industrial j

A j = cantidad de actividad o producción del material en el sector j (ton/ año)

EF ij = factor de emisión asociado con el gas i por unidad de actividad en el sector industrial j (ton/ton).

Evaluación de Impactos: Los resultados obtenidos de la etapa de Inventario del análisis constituyen una gran masa de datos sobre materiales y energía consumida y efluentes producidos, cuya magnitud hace difícil la interpretación. Por este motivo estos resultados se elaboran, asociando cada sustancia consumida o liberada a una categoría de impacto. Este proceso se conoce como Categorización de los impactos, y constituye la primera actividad de la fase de Evaluación de Impactos. En este trabajo se ha adoptado el método del Eco- Indicador 95 (Mark Goedkoop,1995).Las categorías de impacto consideradas son: Efecto invernadero (GWP), destrucción de la capa de ozono (ODP); Acidificación (AP); Eutrofización (NP); Formación smog de invierno y de verano, liberación de metales pesados y de sustancias cancerígenas.

Interpretación: es el análisis de los resultados a la luz de los objetivos planteados para el estudio.

RESULTADOS OBTENIDOS DEL INVENTARIO

La Tabla N° 1 resume los resultados obtenidos del inventario

RECURSOS			EMISIONES				
caliza	1080,00	Kg	CO2	819,9637562	kg		
esquisto	190,00	Kg	CO	0,419496096	kg		
oxido de hierro	20,00	Kg	CH4	0,394852661	kg		
energía kWh	124,21	recursos energía	Nox	2,210608947	kg		
		carbón antracita	0,032517	kg	N2O	0,004750301	kg
		Gas natural	3,537004	kg	COVDM	0,795688084	kg
		petróleo crudo	0,008049	kg	SO2	5,482713357	kg
		madera, 0% agua	22,46959	kg	Sox	1,220995584	kg
		Central atómica	58,13028	MJ	NH3	5,16484E-05	kg

		Energía Hidráulica	156,5046	MJ	Cd (cadmio)	5,65609E-06	kg
		Gas natural	160,9762	MJ	Cu (cobre)	1,3157E-05	kg
yeso			50,00	kg	Cr (cromo)	4,02401E-06	kg
puzzolana			120,00	kg	Ni (níquel)	0,000165634	kg
diesel transporte kg	2,41	recursos prod G.Oil			Se (selenio)	4,21136E-06	kg
		Crudo	2,683677	kg	Zn (zinc)	2,92602E-05	kg
		carb(ón antracita	0,051629	kg	Arsénico (As)	3,18144E-06	kg
		agua (energía)	29,20441	kg	Mercurio (Hg)	7,27301E-07	kg
		Lignito	0,042972	kg	Plomo (Pb)	1,60275E-05	kg
		Gas natural	110,8725	kg	CN-	1,40542E-07	kg
		Uraniu(o as pure U)	3,13E-06	kg	Dioxin	1,09331E-11	kg
		madera, 0% agua	0,002639	kg	H2S	2,85207E-05	kg
combustible MJ			3447,00	MJ	HCl	0,001137911	kg
					HF	0,000143406	kg
					MatParticulado	0,032845076	kg
					Benzene	0,000736195	kg
					PAHs	5,08842E-07	kg
					CFCs	1,36865E-06	kg
					HCFCs	8,8236E-07	kg
					HFCs	8,32803E-20	kg
					CxHy aromatic	4,46129E-06	kg
					CxHy alifatic	0,026238476	kg
					CxHy Cloro	2,21949E-07	kg

Tabla N° 1. Inventario de recursos consumidos y emisiones producidas durante la fabricación de 1 ton de cemento

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS

En las Figuras 2 a 9 se han representado los resultados obtenidos acerca del impacto ambiental producido en cada categoría considerada para la producción de una tonelada de cemento. Se observa que el proceso de cocción del clinker es el que tiene más influencia sobre casi todas las categorías analizadas, con excepción de la liberación de metales pesados y de sustancias cancerígenas, donde prevalecen los procesos de molienda y trituración por el consumo de energía eléctrica. Cada categoría de impacto analizada se mide en una unidad diferente (por ejemplo kg de CO₂ para la categoría GWP, o kg de SO₂ para AP), y también las magnitudes de cada categoría son notablemente diferentes, lo que imposibilita la representación de los resultados en un único gráfico. Para obviar esta dificultad cada categoría se ha representado en forma porcentual, donde el 100 % es el valor máximo alcanzado en cada categoría. Los obtenidos se han representado en la Figura 9. En ella se observa en forma inmediata la preponderancia del proceso de cocción sobre el impacto ambiental.

Un inconveniente que tiene este modo de representación es que no es posible determinar la magnitud relativa entre impactos, ya que todos están referidos al 100 % de cada categoría. Para obtener las distintas categorías en valores comparables se normalizan los resultados, refiriéndolos a las emisiones promedio por habitante que afectan esa categoría a nivel mundial, regional o local. Dado que no existen datos sobre emisiones por habitante para la Argentina, se han utilizado factores de normalización correspondientes a la situación europea para 1995, 497 millones de habitantes, (Mark Goedkoop,1995). Los resultados normalizados se han representado en la Figura 10. Se observa que hay tres categorías de impacto que tienen la mayor relevancia: el calentamiento global, la acidificación y la formación de smog de invierno, todas ellas producidas por el proceso de cocción, con alguna participación de la trituración y molienda de la materia prima en el potencial de acidificación. Se observa que los efectos de emisión de sustancias cancerígenas y de metales pesados, que son producidos por el consumo de energía eléctrica en los procesos de molienda y trituración, no tienen prácticamente relevancia comparados con estos efectos que dominan el cuadro.

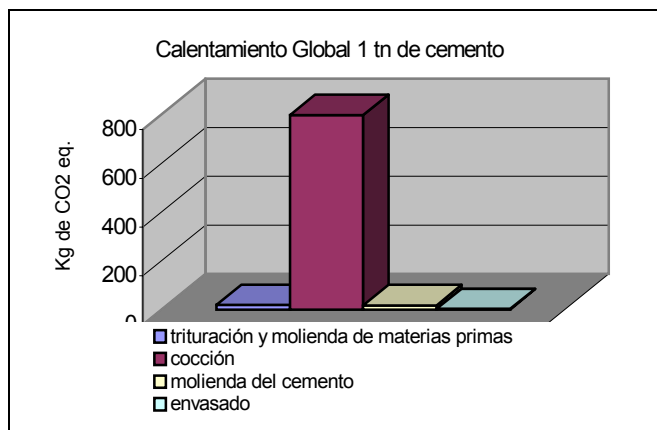


Fig. 2. Contribución de procesos al calentamiento global

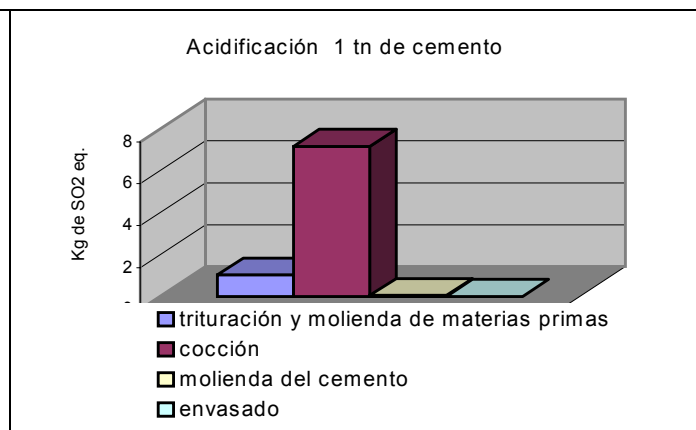


Fig. 3. Contribución de procesos a la acidificación

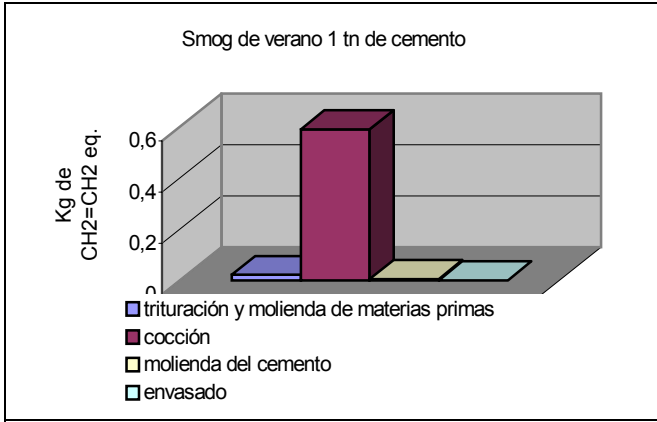


Fig. 4. Contribución de procesos al smog de verano

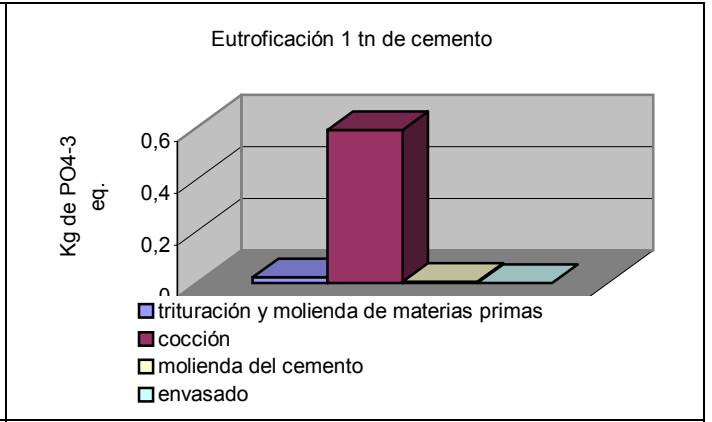


Fig. 5. Contribución procesos a la eutrofización

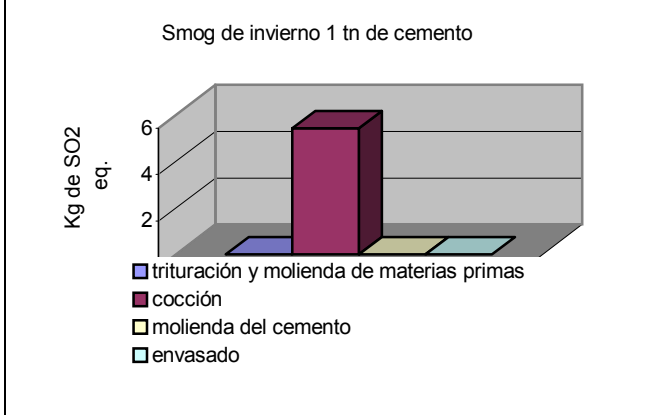


Fig. 6. Contribución procesos al smog de invierno

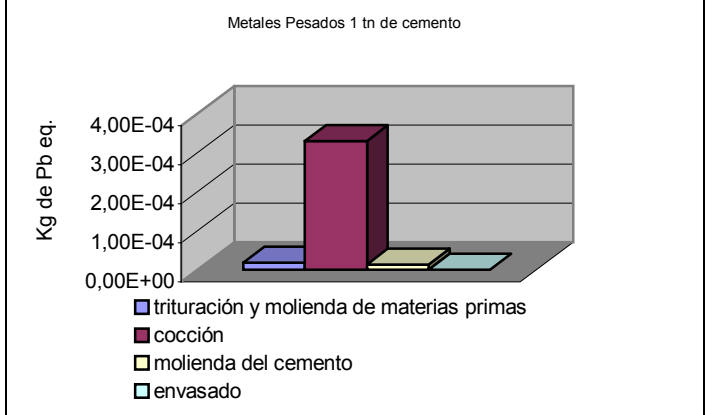


Fig. 7. Contribución procesos a la liberación de metales pesados

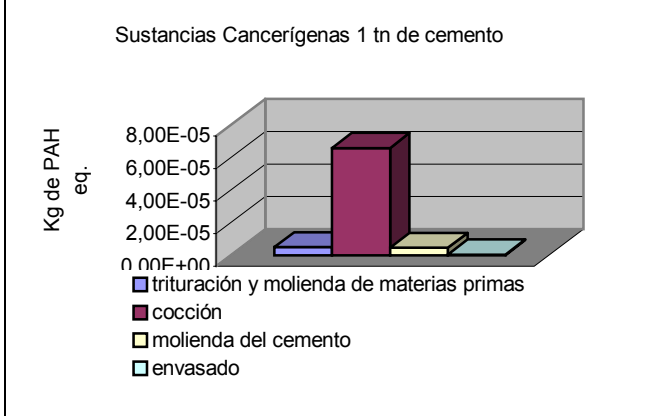


Fig. 7. Contribución procesos a la liberación de sust. cancerígenas

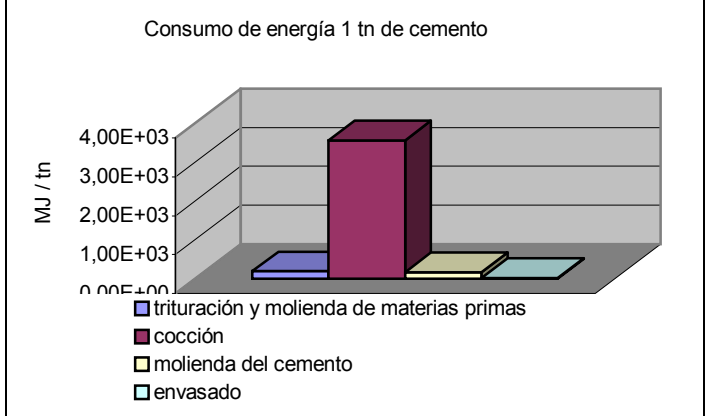


Fig. 8. Consumo de recursos energéticos de cada proceso.

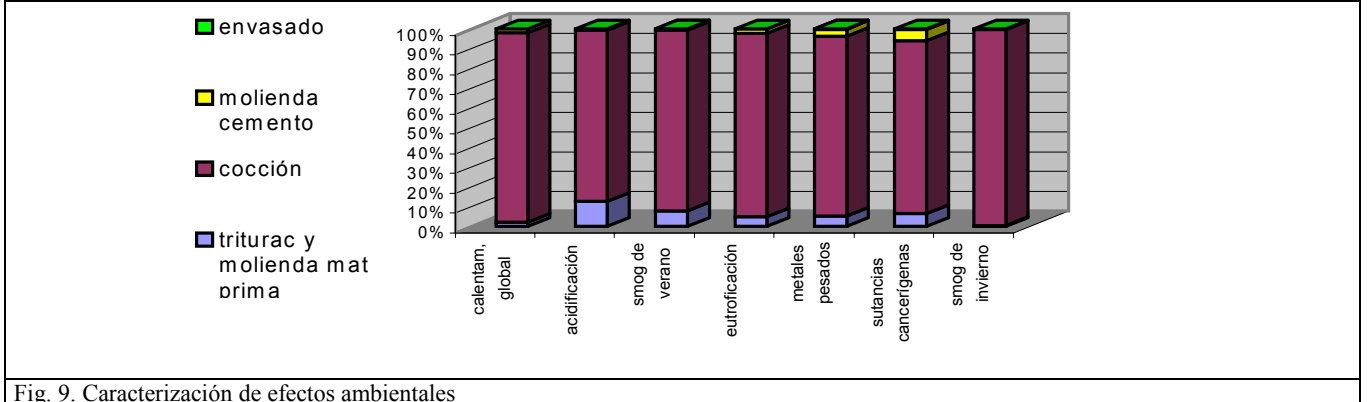


Fig. 9. Caracterización de efectos ambientales

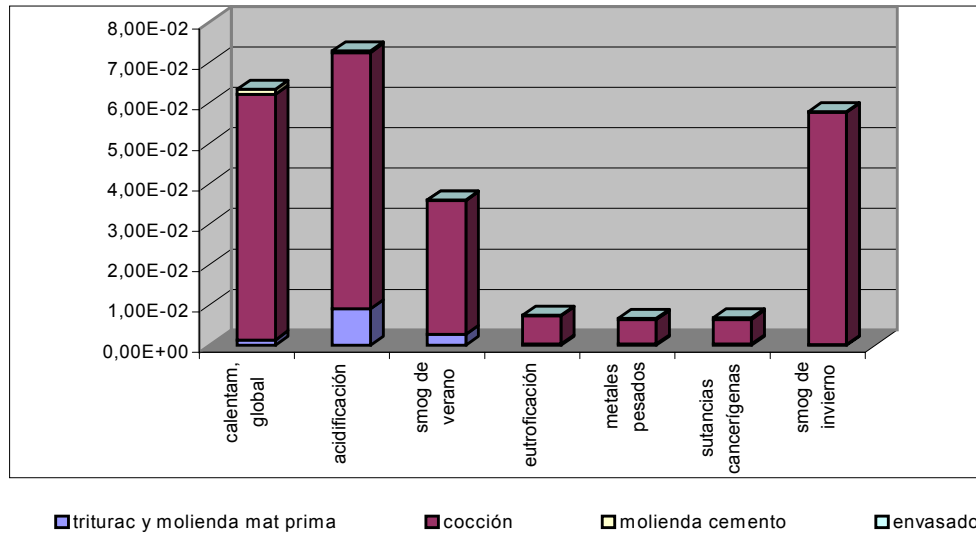


Fig. 10. Efectos ambientales normalizados

CONCLUSIONES

Este estudio muestra el perfil ambiental del cemento Pórtland producido en la región centro oeste de la República Argentina, lo que permite conocer cuál es el consumo de recursos y las emisiones producidas por cada unidad de cemento utilizado en cualquier producto que utilice este material entre sus constituyentes. Esto ha sido además expresado en términos del impacto potencial sobre el ambiente, incluyendo las categorías de impacto de mayor relevancia actual. Esta información es vital para poder efectuar estudios de impacto ambiental de productos que utilizan cemento en su constitución, en particular estudios de Análisis de ciclo de vida. Además, el estudio muestra la influencia que cada uno de los procesos involucrados tiene sobre ese impacto, lo que da indicaciones sobre las posibilidades para mejorar el perfil ambiental del cemento. Resulta obvio que el proceso de cocción es el de mayor preponderancia en cuanto a consumo de energía y a emisiones nocivas. El mejoramiento de la eficiencia de este horno, y la utilización de combustibles limpios como el gas natural, contribuyen a mejorar la situación. La sustitución, en la medida de las posibilidades determinadas por la aplicación que se dará al cemento, de parte del clinker por otro de los constituyentes utilizados en la conformación del cemento Pórtland, como por ejemplo aumentando la presencia de puzzolanas, es una vía para disminuir el impacto asociado a la unidad de cemento. Otra posibilidad para disminuir el impacto de los productos de concreto es la de incrementar la presencia de cenizas de combustión (fly ash) en la composición del concreto, y disminuyendo proporcionalmente la presencia de cemento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Li, J., Kong, J. (1999) A Co-generation Process For Clinker and Electricity in Portland Cement Plants Institute of Cement, China Building Materials Academy, Beijing, P. R. China. R'99 Congress (Recovery, Recycling, Re-integration), February 1.1999.
- IPCC(ed.),(1996), Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual and Workbook.
- Mark Goedkoop (1995), The Eco-indicator 95 Weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale, Final Report.

ABSTRACT

Cement is one of the most intensively used materials in the construction sector, mainly as a key component of concrete products like buildings, roads or bridges, and its use will increase in the coming years if the developing countries with a great housing and transportation infrastructure deficit will manage to improve their economic welfare. The fabrication of cement has heavy environmental consequences, since it is a very energy intensive industry, and this impact is incorporated into the buildings and other products which use this component. Because of this, it is of the utmost importance to know the environmental profile of the cement used as a component of a product, if the environmental impact of this product is to be known, in particular when a Life Cycle Assessment of the product is performed. In this work the environmental profile of the cement produced in the Central-West region of Argentina is studied, using the IPCC methodology.

Key words: cement, environmental impact, Life Cycle Assessment.