

ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE ECOEficiENCIA DE UNA INDUSTRIA DE CEMENTOS

Danilo Cuzzuol Pedrini (UFRGS)

danilo_cp1@yahoo.com.br

Alejandro Germán Frank (UFRGS)

agerfrank@yahoo.com.ar

Carla Schwengber ten Caten (UFRGS)

tencaten@producao.ufrgs.br



La ecoeficiencia es una filosofía que forma parte del desarrollo sostenible. La misma busca reducir el impacto ambiental de un sistema, sin afectar su competitividad económica. Uno de los sectores industriales que más aplica esta filosofía es la industria de cemento, que es una de las actividades más intensas en relación al uso de recursos naturales y emisión de residuos. Delante de esto, el presente trabajo tiene por objetivo analizar la ecoeficiencia de una importante industria brasileña de cementos, a través de una propuesta de siete indicadores adaptados de la literatura. Estos indicadores fueron evaluados para un período de tres años y fue posible evaluar la evolución del desempeño ambiental de la empresa estudiada respecto a su consumo energético, materias primas y agua, emisiones de gases y partículas en la atmósfera y generación de residuos sólidos. Como resultado, cuatro de los siete indicadores utilizados señalan mejoras significativas en la ecoeficiencia de la empresa.

Palavras-chaves: ecoeficiencia; indicadores; industria de cemento

1.1

1. Introducción

En los últimos años, las exigencias de la sociedad y, en especial, del mercado consumidor, hicieron que las empresas diesen mayor atención a los impactos ambientales de sus actividades, adaptando posturas proactivas, en vez de apenas atender a las exigencias gubernamentales. Así, se pasó a buscar prioritariamente formas de perfeccionar los procesos, de manera de aumentar la eficiencia en el uso de recursos naturales y minimizar la generación de residuos.

En ese contexto, la ecoeficiencia surge como una posible solución, ya que es una filosofía que tiene como principales objetivos la reducción del consumo de insumos y del impacto de la naturaleza, además del aumento del valor del producto o servicio generado (LEHNI, 2000; VERFAILLE y BIDWELL, 2000). El concepto de ecoeficiencia fue originalmente definido por Shalteger y Sturm (1990, p.273) como “la ligación entre actividades empresariales y el desarrollo sostenible, englobando tanto el desempeño económico como el ecológico”.

Lehni (2000) destaca que la ecoeficiencia, además de reducir los impactos ambientales causados por la producción y utilización de los bienes, también busca garantizar la oferta de bienes a precios competitivos, es decir, la ecoeficiencia no se limita a incrementar las eficiencias en las prácticas de producción existentes, sino que busca estimular la creatividad e innovación en las formas de actuar en todos los sectores de la empresa, aumentando la eficiencia del sistema productivo. De acuerdo con Verfaillie y Bidwell (2000), la ecoeficiencia está compuesta por siete elementos-clave: (i) reducción del consumo material; (ii) reducción del consumo energético; (iii) reducción de la dispersión de sustancias tóxicas; (iv) aumento de la reciclabilidad; (v) optimización del uso de materiales renovables; (vi) prolongación del ciclo de vida y; (vii) aumento de la oferta de productos o servicios.

Mickwitz et al. (2006) comenta que la ecoeficiencia puede ser vista de diversas perspectivas, incluyendo los niveles macroeconómicos (impactos en la economía nacional), mesoeconómicos (impactos en regiones geográficas) y microeconómicos (impactos en una empresa). En el nivel microeconómico, la adopción mayoritaria ocurre por grandes empresas de todos los sectores industriales y, en menor medida, para la cadena de suministros de las mismas (LEHNI, 2000; MAXIMÉ et al., 2006).

La evaluación de la ecoeficiencia en cada una de estas perspectivas puede ser realizada con el uso de indicadores de ecoeficiencia, cuya base fue desarrollada principalmente por Verfaillie y Bidwell (2000), Müller y Sturm (2001) y Sturm et al. (2002). Aunque los indicadores presenten la misma lógica de cálculo, pueden haber diferencias de acuerdo con el sistema analizado y, de esta manera, muchos estudios se concentran en proponer indicadores para analizar la ecoeficiencia de un sistema específico. Como ejemplos de algunas propuestas y aplicaciones de indicadores de ecoeficiencia en una única empresa o en varias empresas de un mismo sector industrial, se recomiendan los siguientes autores: Korhonen y Luptacik (2004), Maxime et al. (2006), Kharel y Charmondusit (2007), Vandecasteele et al. (2007), Thant e Charmondusit (2009), Caneghen et al. (2010).

Según Oss y Padovani (2002), la industria de cemento requiere una importante atención en lo que se refiere a la preservación ambiental, ya que los procesos para la producción de sus productos presentan elevados índices de consumo de energía y materias primas y emisiones atmosféricas, principalmente CO₂, además de importantes emisiones de SO₂, óxidos de nitrógeno (NO_x) y elementos en partículas.

De esta forma, el presente trabajo tiene por objetivo analizar la ecoeficiencia de una industria

brasileña de cementos, a partir del cálculo de sus indicadores de ecoeficiencia y acompañamiento de esos valores en un período de tres años. Para esto, se presenta una breve revisión de la literatura sobre indicadores de ecoeficiencia y, seguidamente, se propone un método para el cálculo de los indicadores para la empresa estudiada.

2. Indicadores de Ecoeficiencia

Siguiendo el concepto de ecoeficiencia, los principales indicadores encontrados en la literatura relacionan impactos ambientales con resultados económicos del sistema analizado. Un posible indicador de ecoeficiencia se obtiene mediante la división entre el desempeño ambiental (DA) y el desempeño económico (DE) generados por el sistema (MÜLLER e STURM, 2001).

$$i_e = \frac{DA}{DE} \quad (1)$$

El desempeño ambiental utilizado para el cálculo de los indicadores se mide por los impactos ambientales del sistema en la realización de sus actividades. Según Verfaille y Bidwell (2000), Müller y Sturm (2001) y Sturm et al. (2002) estos impactos ambientales son representados por el consumo de insumos – agua, recursos energéticos y materias primas – y por las emisiones del sistema – gases del efecto invernadero (GEI), sustancias deterioradoras de la capa de ozono, emisiones gaseosas acidificantes y generación de residuos líquidos y sólidos.

Para el desempeño económico generado, Verfaille y Bidwell (2000) sugieren el uso de una cantidad de bienes producidos o servicios ofrecidos a los clientes o las ventas líquidas del sistema. Por otro lado, Müller y Sturm (2001) y Sturm et al. (2002) consideran el valor adicionado o el valor líquido adicionado, o sea, también consideran los costos de producción. Verfaille y Bidwell (2000) afirman que la elección de estos términos y la importancia atribuida a cada indicador dependen de la estrategia adoptada por cada empresa. De acuerdo con Salgado (2004), a partir de un conjunto de esos indicadores, se puede evaluar efectivamente la ecoeficiencia de una determinada organización, sirviendo también como elementos de toma de decisión para dirigir acciones focalizadas en la búsqueda del desarrollo sostenible.

Los indicadores de ecoeficiencia son reportados a las unidades físicas de producción analizadas y posibilitan la comparación de los procesos de empresas del mismo sector, en determinado periodo de análisis. Por medio del análisis de la ecuación (1), se observa que la ecoeficiencia puede ser alcanzada a través de la reducción de los impactos ambientales causados por la actividad y por el aumento del valor económico generado (ERKKO et al., 2005; MAXIME et al., 2006).

Maxime et al. (2006) recomiendan cinco pasos para el desarrollo de los indicadores: (i) identificación del objetivo del indicador; (ii) selección de las fronteras del sistema cuyas entradas y salidas serán analizadas; (iii) elección del periodo de análisis; (iv) identificación y cuantificación de las entradas y salidas relevantes y; (v) cálculo del indicador.

Para que las informaciones obtenidas a través de los indicadores de desempeño ambiental resulten en acciones efectivas, los indicadores de ecoeficiencia deben ser incorporados, primeramente a los informes ambientales de la propia empresa y, entonces, tornarlos parte de los demostrativos financieros (ERKKO et al., 2003). Solamente así representarán

efectivamente la combinación de variables económicas y ambientales, resultando en un instrumento de auxilio a la toma de decisiones que traerá ganancias reales a la empresa.

3. Método

Primeramente, se define la venta líquida del cemento (VLC) como el valor de desempeño económico a ser utilizado en todos los indicadores, conforme es sugerido por Verfaille y Bidwell (2000). El valor líquido adicionado, sugerido por Müller y Sturm (2001) y Sturm et al. (2002), es preferido debido a que el precio del cemento varía de acuerdo a la cotización del mercado, pudiendo dejar de representar las alteraciones de ecoeficiencia que suceden en la empresa. La justificación para esta elección también se debe a la existencia de variaciones cambiarias y del precio del cemento, que alterarían el valor económico generado por la empresa, sin, necesariamente, representar una modificación en la productividad de la empresa.

Los ítems de desempeño ambiental a ser considerados en los indicadores son: consumo de materias primas, agua y energía; generación de residuos sólidos; emisiones de gases de efecto invernadero, de gases acidificantes y elementos de partículas en la atmósfera. Los indicadores estudiados se presentan a continuación.

Como primer indicador se considera el consumo de materia prima del sistema, ya que, de acuerdo con Verfaille y Bidwell (2000), la reducción de la intensidad de uso de materiales es uno de los siete principales elementos de la ecoeficiencia. Se destaca que el agua y combustibles energéticos no son considerados en este análisis, ya que poseen indicadores propios. El indicador de ecoeficiencia para el consumo de materia prima (ICMP) se presenta en la ecuación (2).

$$ICMP = \frac{\sum_{i=1}^n MP_i}{VLC} \quad (1)$$

donde: VLC es la venta líquida de cemento del período analizado (en toneladas)
MP_i es el consumo total de la materia prima i (en toneladas).

El agua es uno de los insumos de mayor importancia en los procesos industriales y su uso racional se constituye en una necesidad, debido al crecimiento de los consumos industriales y poblacionales (INGARAMO et al., 2009). De acuerdo con Verfaille y Bidwell (2000), el consumo de agua es representado por todo el agua de abastecimiento comprado o obtenido a partir de fuentes superficiales o subterráneas. El indicador de ecoeficiencia para el consumo de agua (ICA) se presenta en la ecuación (3):

$$ICA = \frac{\sum_{j=1}^n AC_j}{VLC} \quad (2)$$

donde: AC_j es el volumen de agua consumida en el proceso j (en m³).

El tercer indicador analizado contempla el consumo de recursos energéticos de la empresa, conforme recomiendan Verfaille y Bidwell (2000), Müller y Sturm (2001) y Sturm et al. (2002). En este indicador se analiza el consumo total de energía del sistema, que es compuesto por el consumo de energía eléctrica y la energía proveniente del consumo de combustibles. El indicador de ecoeficiencia del consumo de energía (ICE) utilizado se presenta en la ecuación (4).

$$ICE = \frac{EE + \sum_{j=1}^n RE_j \cdot FC_j}{VLC} \quad (3)$$

donde: RE_j es la masa del recurso energético j consumido (en toneladas)

FC_j es el factor de conversión de masa del combustible j para energía

EE es la cantidad de energía eléctrica comprada por la empresa (en GJ)

Los factores de conversión de masa (FC_j) en equivalentes de energía de los combustibles utilizados, son presentados por Sturm et al. (2002). Se destaca que el sector de producción de cementos es un gran consumidor de recursos energéticos. Esto se debe a las altas temperaturas (superiores a 1400°C) requeridas para las reacciones químicas para la producción del clinker, haciendo que los costos de adquisición de recursos energéticos representen de 15 a 20% de los costos de producción (WBCSD, 2005). De acuerdo con Oss e Padovani (2003), en la producción de apenas una tonelada de clinker son requeridos de 3,2 a 6,3 GJ de energía.

El cuarto indicador a ser utilizado contempla la generación total de residuos sólidos de la empresa. Conforme es presentado por Verfaillie y Bidwell (2000) y Sturm et al. (2002), el indicador de ecoeficiencia para la emisión de residuos (IGRS), presentado en la ecuación (5), es adaptado del indicador de desperdicio presentado por Kharel y Charmondusit (2007).

$$IGRS = \frac{\sum_{j=1}^n RS_j}{VLC} \quad (4)$$

donde: RS_j es la masa del residuo sólido j emitido (en toneladas)

El próximo análisis se refiere al indicador de emisiones de gases del efecto invernadero (IGEI). De acuerdo con Lehni (2000), los gases del efecto invernadero que deben ser considerados en este indicador son: CO_2 , N_2O , CH_4 , SH_6 , hidrofluorcarbonetos y perfluorcarbonetos. Siguiendo recomendaciones de Sturm et al. (2002), también se considera la masa total equivalente de CO_2 emitida por la producción de la energía hidroeléctrica del país, adoptando un factor de conversión de 0,01583 toneladas de CO_2 por GJ de energía eléctrica. El indicador para emisiones de gases de efecto invernadero se presenta en la ecuación (6):

$$IGEI = \frac{0,01583EE + \sum_{j=1}^n GEI_j \cdot FC_j}{VLC} \quad (5)$$

donde: GEI_j es la emisión de gas con efecto invernadero j

FC_j es el factor de conversión de masa de gas para equivalente en masa de CO_2 .

La industria de cementos es responsable por cerca del 5% del total de emisiones de CO_2 , siendo la segunda actividad industrial que genera más emisiones de gas. Las dos principales fuentes de generación de CO_2 en la industria de cementos son: (i) reacción de calcinación (retirada de CO_2 del CaCO_3 para la formación de CaO) y (ii) combustión de combustibles fósiles (MOOMAW, 1996; OSS y PADOVANI, 2003; HUNTZINGER y EATMON, 2009).

Para la evaluación de la emisión de gases acidificantes, o sea, gases con potencial de formación de lluvia ácida, se utiliza el IEGA, que considera la generación de las siguientes sustancias: NH_3 , HCl , HF , NO_2 y, principalmente, el SO_2 , proveniente de la combustión de carbón mineral. Para este indicador se convierte todos los gases emitidos en tonelada equivalente de SO_2 utilizando los factores de conversión presentados por Heijungs et al.

(1992). El indicador se presenta en la ecuación (7).

$$IEGA = \frac{\sum_{j=1}^n GA_j \cdot FC_j}{VLC} \quad (6)$$

donde: GA_j es la emisión de gas con efecto acidificante j (en toneladas)

FC_j es el factor de conversión de masa del gas j para equivalente en masa de SO_2 .

El séptimo indicador propuesto es el IEEP, relativo a la emisión de elementos de partículas, que representa el polvo generado por el horno de producción de clinker. A través de este indicador, se evalúa el impacto directo de la empresa en la sociedad, ya que el polvo causa problemas respiratorios en la población en torno a la empresa. El indicador de emisión de elementos de partículas se define en la ecuación (8):

$$IEEP = \frac{EP}{VLC} \quad (7)$$

donde: EP es la emisión total de elementos de partículas en la atmósfera (en kilos)

Una vez que la ecoeficiencia del sistema mejora con la disminución del impacto ambiental causado por el sistema y/o con el aumento del valor económico generado, estos indicadores son del tipo menor-es-mejor. En el presente trabajo no serán analizados los impactos ambientales relacionados al ciclo de vida de los productos, como embalajes, transporte y emisiones durante la utilización y eliminación. Tales análisis pueden ser encontrados en Verfaille y Bidwell (2000) y Sturm (2002). Para detalles sobre los procesos de producción de cemento y los impactos ambientales asociados a cada proceso, se recomienda Oss e Padovani (2002; 2003).

4. Resultados y Discusiones

La empresa estudiada posee una capacidad instalada de cerca de 3,6 millones de toneladas de cemento por año. La empresa reconoce el gran impacto ambiental de la producción de cementos y, de esta manera, viene implementando diversas medidas para la reducción de este impacto, que será presentado juntamente con el análisis de los indicadores.

El primer indicadores de ecoeficiencia calculado fue el ICMP, que considera los impactos ambientales relativos al consumo de materia prima para los procesos de la empresa. Las principales materias primaras utilizadas por la empresas son: calcáreo (65%), escorias del alto-horno (23%), argila (5,7%), yeso (2,3%), arena (2,3%), minerales de hierro, cenizas, cal y sacarías. Los resultados del ICMP para el periodo de 2007 a 2009 están presentados en la Figura 1.

Como se puede observar en la Figura 1, el valor del ICMP tuvo una caída del 1,5% en el período analizado, demostrando una mejora discreta de la ecoeficiencia de la empresa en relación a la utilización de materias primas. El valor del ICMP en 2008 fue casi 9% superior al de 2007, debido a la ocurrencia de un problema operacional en uno de los hornos más nuevos y eficientes de la empresa.

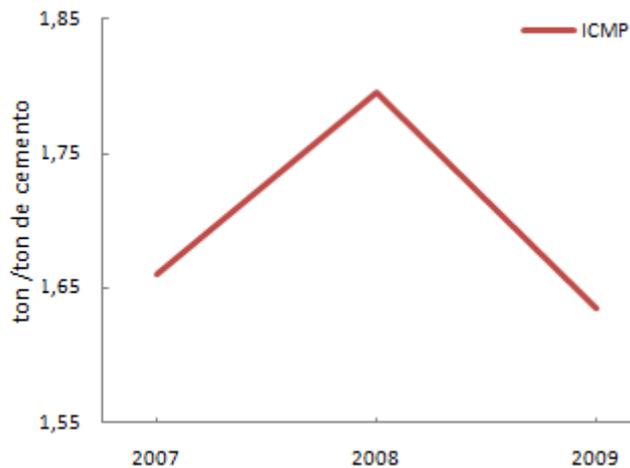


Figura 1 – Resultados del indicador ICMP para los años de 2007 a 2009

También se destaca que el consumo de materias primas está próximo a las 1,7 toneladas por tonelada de cemento, valor medio destacado por Oss y Padovani (2002) para la industria de cemento mundial. Entre las principales medidas utilizadas por la empresa está el uso de escoria de alto-horno como materia prima, factor que reduce la cantidad de clinker de la composición de cemento. Pedrini et al. (2008) destaca que el uso de escoria de alto-horno también beneficia grandemente a la industria siderúrgica, ya que da un destino adecuado a este residuo sólido, además de generar ingresos para la empresa.

El segundo indicador analizado fue el ICA, que mide la ecoeficiencia de la empresa respecto al consumo de agua. El agua no es usado directamente en la producción de cemento, pero es utilizado para el enfriamiento de equipamientos y de flujos gaseosos. Los valores del ICA en el período de 2007 a 2009 se presentan en la Figura 2.

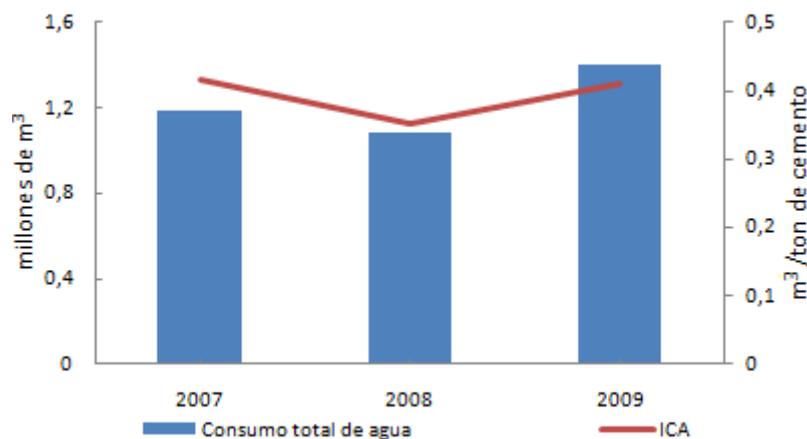


Figura 2 – Resultados del indicador ICA para los años de 2007 a 2009.

Analizando la Figura 2, se observa una pequeña mejora en la ecoeficiencia de consumo de agua para el trienio analizado, reflejada por una caída de aproximadamente 1,5% en el valor del ICA. La empresa adopta un sistema de tratamiento para retirada de aceites y el posterior reaprovechamiento de agua utilizada para el enfriamiento de los equipamientos. El agua utilizada en el enfriamiento de los flujos gaseosos es liberada como vapor no-contaminado.

El tercer indicador analizado fue el ICE, relativo al consumo de energía de la empresa. La

empresa utiliza dos tipos principales de energía: (i) energía eléctrica, proveniente de las concesionarias regionales; y (ii) energía térmica, proveniente de biomasa o de combustibles fósiles. Se destaca que los recursos energéticos representan por lo menos 50% de los costos de producción de la empresa. En la Figura 3 se presentan los resultados del indicador ICE.

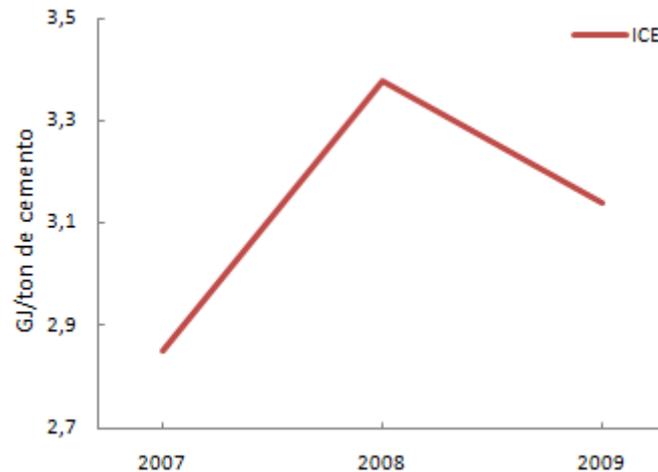


Figura 3 – Resultados del indicador ICE para os años de 2007 a 2009

A través del análisis de la Figura 3, se observa un aumento de aproximadamente 10% en el índice ICE de 2009 respecto al de 2007, señalando una caída significativa de la ecoeficiencia energética de la organización. A pesar de esta caída registrada en el desempeño, el indicador presenta un resultado mejor que el intervalo usual de 3,2 a 6,3 GJ presentado por Oss y Padovani (2003).

Este resultado fue alcanzado debido a la disminución de la demanda y el aumento de los precios del principal combustible alternativo utilizado por la empresa: la molienda de carbón vegetal, proveniente de las industrias de hierro-gusa. Con la escases de este insumo energético, la participación de las energías alternativas en la producción de energía térmica cayó de 73% en 2007, para 25% en 2009. En 2009, el co-procesamiento de residuos fue más eficiente, haciendo que el resultado del ICE mejorase respecto a 2008.

El cuarto indicador analizado fue el IGRS, referente a la generación de residuos sólidos de la empresa. Los resultados del indicador IGRS para el período analizado son presentados en la Figura 4.

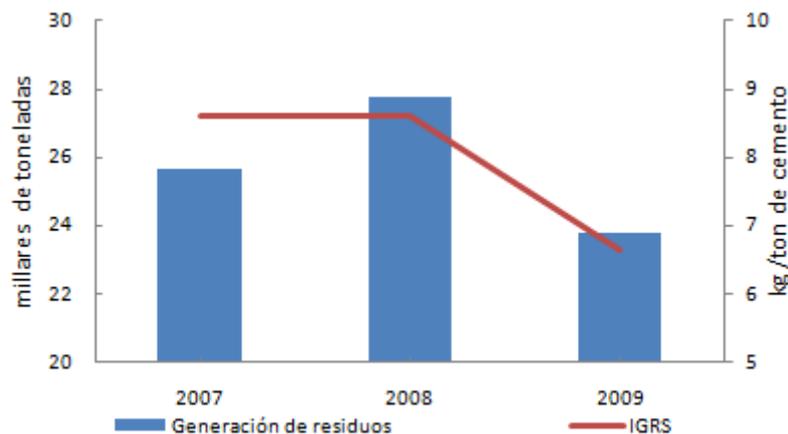


Figura 4 – Resultados del indicador IGRS para los años de 2007 a 2009

Analizando la Figura 4, se nota una importante mejora de la ecoeficiencia relativa a la generación de residuos sólidos. La empresa reaprovecha el polvo de filtro, los ladrillos refractarios y el carbón y comercializa los embalajes usados. Se destaca que la empresa destina adecuadamente los residuos sólidos que no pueden ser reaprovechados o comercializados. En 2009, cuando la empresa comenzó el co-procesamiento de residuos, hubo una caída de cerca de 23% del IGRS.

El próximo análisis se refiere a las emisiones gaseosas del proceso. El primer indicador evaluado fue el IGEE, que considera las emisiones de gases del efecto invernadero, representados por las emisiones directas e indirectas de CO₂ y de los demás gases del efecto invernadero, convertidos en equivalente de masa de CO₂. En la Figura 5 se presentan los resultados del IGEE para el trienio estudiado.

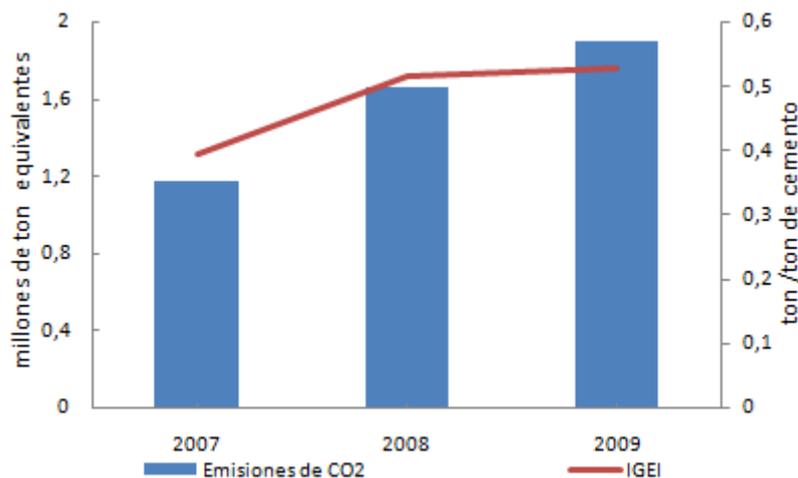


Figura 5 – Resultados del indicador IGEE para los años de 2007 a 2009

A partir del análisis de la Figura 5, se puede notar un aumento del 34% en el indicador IGEE a lo largo de 3 años de análisis, o sea, hubo un aumento de las emisiones específicas de CO₂, caracterizando una disminución de la ecoeficiencia. Comparando con los resultados de la investigación de Oss y Padovani (2002; 2003), los resultados presentados por la empresa estudiada están significativamente debajo de la media mundial de emisiones de gases con efecto invernadero.

Dos motivos son destacados para este resultado indeseado: escasas de la molienda de carbón vegetal y disminución de 5% en el uso de escoria de alto-horno en la composición del cemento. La empresa ya trazó algunas estrategias para disminuir la emisión de CO₂: (i) sustitución de los combustibles fósiles por combustibles alternativos; (ii) aumento del tenor de escoria de alto-horno en la composición de cemento, ya que cada 1% a más de escoria causa una disminución de cerca de 9kg de CO₂ por tonelada de cemento.

El sexto indicador analizado fue el IEGA, referente a la emisión de gases con efecto acidificante. En la Figura 6 se presentan los resultados del IEGA para el periodo estudiado.

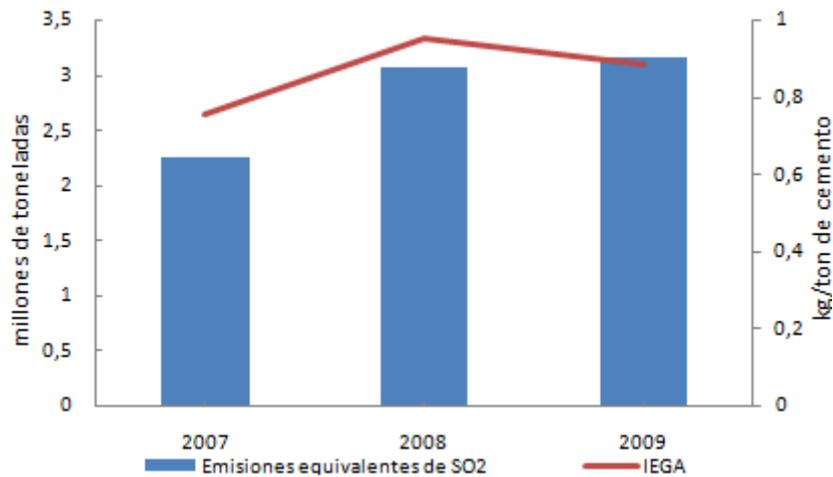


Figura 6 – Resultados del indicador IEGA para los años de 2007 a 2009

La observación de la Figura 7 sobre el IEGA señala un aumento de 17% en el valor del indicador, causado por el aumento de las emisiones específicas de SO₂ y de NO_x. Así como para el aumento del IGEE, el resultado para este ítem de ecoeficiencia fue perjudicado por el aumento de la participación de los combustibles fósiles en la matriz energética de la empresa y por la disminución de 5% en el porcentaje de escoria en el cemento. Se destaca que la generación de SO₂ de la empresa se está manteniendo debajo de 0,5kg/tonelada de cemento, valor considerado como normal para la industria de cemento, de acuerdo con Oss y Padovani (2003). La emisión específica de NO₂ está de acuerdo con los estudios de Oss y Padovani (2003).

El último indicador de ecoeficiencia analizado fue el IEEP, referente a la emisión de elementos de partículas en la atmósfera. En la Figura 6 se presentan los resultados del IEEP para el período estudiado.

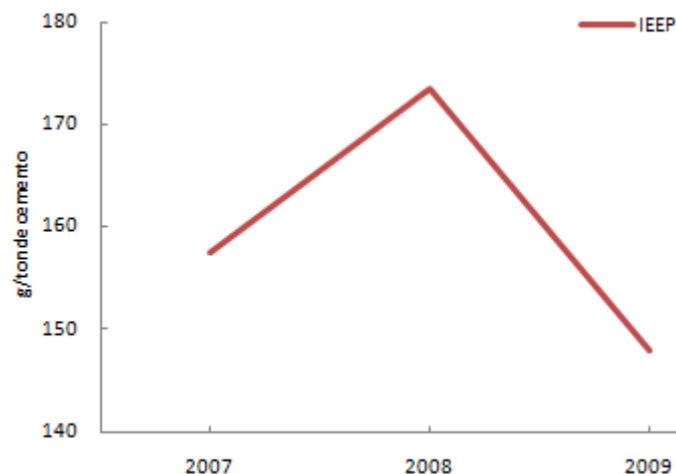


Figura 7 – Resultados del indicador IEEP para los años de 2007 a 2009

Se observa que hubo una caída de 6% en el valor del IEEP de 2009 a respecto del de 2007, demostrando una mejora significativa en este aspecto de ecoeficiencia. Esta mejora se debe a la instalación de nuevos filtros de manga en puntos críticos de generación de polvo en el proceso productivo.

5. Conclusiones

El presente trabajo tubo por objetivo evaluar la ecoeficiencia de una industria de cementos a partir del cálculo de siete indicadores de ecoeficiencia y el seguimiento de esos valores para los últimos tres años. Los indicadores fueron utilizados en la evaluación de consumos de agua, materiales y energía, emisiones de residuos sólidos y emisiones de gases de efecto invernadero, gases de efecto acidificante y elementos de partículas, todos esos indicadores relacionados a la venta líquida de cemento de la empresa en el período de 2007 a 2009.

Los indicadores propuestos son del tipo menor-es-mejor, es decir, una caída en los valores de los indicadores es un resultado positivo para el sistema, ya que indica una mejora en la ecoeficiencia de la empresa. Cuatro de los siete indicadores estudiados presentan caídas en sus valores a lo largo de los tres años estudiados.

El indicador de ecoeficiencia de consumo de materias primas presentó una caída de 1,5%, colocándose próximo al valor referencia que destaca la literatura (1,7 toneladas de materias primas por tonelada de cemento). El indicador de ecoeficiencia de consumo de agua presentó una disminución de 1,5% en el período analizado, resultado del mejor reaprovechamiento del agua utilizado para el enfriamiento de equipamientos. La empresa adoptó medidas para el control de polvo, causando una disminución de 6% en el valor del indicador de emisión de elementos en partículas. El indicador de generación de residuos sólidos presentó el mejor resultado: una caída de 23%, que ocurrió debido al aumento de la cogeneración de energía a través de estos residuos.

La disminución de la oferta de molienda de carbón vegetal, que generó una mayor participación de los combustibles fósiles en la composición de la energía térmica utilizada en el horno, y la disminución de 5% de la masa de escoria de alto-horno en la composición del cemento, causaron el aumento en 3 indicadores de ecoeficiencia: indicador de consumo energético (+10%), indicador de emisiones de gases de efecto invernadero (+34%) e indicador de gases con efecto acidificante (+17%). Para mejorar estos resultados, la empresa planea aumentar la escoria en el cemento y reducir el consumo de combustibles fósiles.

Como recomendaciones para futuros trabajos, se sugiere la realización de una investigación con las principales empresas del sector de cementos, comparando los resultados entre las mismas con los estudios ya publicados en la literatura. Otra sugerencia es la aplicación de los indicadores adoptados en el presente trabajo en empresas de otros sectores.

Referencias

CANEGHEM, J.; BLOCK, C.; CRAMM, P.; MORTIER, R.;VANDECASTELE, C. *Improving eco-efficiency in the steel industry: The ArcelorMittal Gent Case.* Journal of Cleaner Production, v. 18, n. 9, p. 807-814, 2010.

ERKKO, S.; MELANEN, M.; MICKWITZ, P. *Eco-efficiency in the Finish EMAS reports – a buzz word?* Journal of Cleaner Production, v. 13, p. 799-813, 2005.

HEIJUNGS R.; GUINÉE G. B.; HUPPES G.; LANKREIJER R.M.; de HAES H. A. U.; SLEESWIJK A. W.; ANSEMS A. M. M.; EGGELS P. G.; VAN DUIN R.; DE GOEDE, H.P. *Environmental Life Cycle Assessment – Guide and Background.* Leiden: Centrum voor Milieukunde (CML), 1992, 96 p.

HUNTZINGER, D. N.; EATMON, T. A. *A life-cycle assessment of Portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies.* Journal of Cleaner Production, v. 17, p. 668-675, 2009.

INGARAMO, A.; HELUANE, H.; COLOMBO, M.; CESCA, M. *Water and wastewater eco-efficiency indicators for the sugar cane industry.* Journal of Cleaner Production, v. 17, p. 487-495, 2009.

- KHAREL, G. P.; CHARMONDUST, K. V.** *Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal.* Journal of Cleaner Production, v. 15, p. 1-9, 2007.
- KORHONEN, P. J.; LUPTACIK, M.** *Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis.* European Journal of Operational Research, v. 154, p. 437-446, 2004.
- LEHNI, M.** *Eco-efficiency: creating more value with less impact.* Geneva: World Business Council on Sustainable Development (WBCSD), 2000, 36 p.
- MAXIME, D.; MARCOTTE, M.; ARCAND, Y.** *Development of eco-efficiency indicators for the Canadian food and beverage industry.* Journal of Cleaner Production, v. 14, p. 636-648, 2006.
- MICKWITZ, P.; MELANEN, M.; ROSENSTRÖN, U.; SEPPÄLÄ, J.** *Regional eco-efficiency indicators – a participatory approach.* Journal of Cleaner Production, v. 14, p. 1603-1611, 2006.
- MÜLLER, K.; STURM, A.** *Standardized Eco-efficiency Indicators – Report 1: concept paper.* Basel: Ellipson, 2001, 72p.
- MOOMAW, W. R.** *Industrial emissions of greenhouse gases.* Energy Policy, v. 24, n. 10/11, p. 951-968, 1996.
- OSS; H. G.; PADOVANI, A. C.** *Cement manufacture and the environment Part I: Chemistry and Technology.* Journal of Industrial Ecology, v. 6, n. 1, p. 89-105, 2002.
- OSS; H. G.; PADOVANI, A. C.** *Cement manufacture and the environment Part II: Environmental challenges and opportunities.* Journal of Industrial Ecology, v. 7, n. 1, p. 93-126, 2003.
- PEDRINI, D. C.; RAFAELI, L.; PIZZOLATO, M.; CATEN, C. S.** *Análise de ecoeficiência de uma indústria siderúrgica brasileira.* XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 12 p., 2008.
- SALGADO, V. G.** *Proposta de Indicadores de Ecoeficiência para o Transporte de Gás Natural.* UFRJ: 2004. Dissertação de Mestrado em Ciências de Planejamento Energético. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- SCHALTEGER, S.; STURM, A.** *Ökologische Rationalität.* Die Unternehmung, n. 4, p. 273-290, 1990.
- STURM, A.; MÜLLER, K.; UPASENA, S.** *A Manual for the Preparers and Users of Eco-efficiency Indicators.* United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 2002, 112 p.
- THANT, M. M.; CHARMONDUSIT, K.** *Eco-efficiency assessment of pulp and paper industry in Myanmar.* Clean Technologies and Environmental Policy, v. 11, p. 1-13, 2009.
- VERFAILLIE, H.A.; BIDWELL, R.** *Measuring eco-efficiency: a guide to report company performance.* Geneva: World Business Council on Sustainable Development (WBCSD), 2000, 40 p.
- Van BERKEL, R.** *Eco-efficiency in primary metals production: Context, perspectives and methods.* Resources Conservation & Recycling, v. 51, p. 511-540, 2007a.
- Van BERKEL, R.** *Eco-efficiency in the Australian minerals processing sector.* Journal of Cleaner Production, v. 15, p. 772-781, 2007b.
- VANDECASTEELE, C.; CANEGHEM, J. V.; BLOCK, C.** *Cleaner production in the Flemish chemical industry.* Clean Technologies and Environmental Policy, v. 9, p. 37-42, 2007.