



Universidad Nacional Autónoma de México
Programa de Posgrado en Ciencias de la Administración

**Análisis de la eco-eficiencia de CO₂ de las empresas
cementerías en el nivel mundial**

T e s i s

Que para optar por el grado de:

Maestra en Finanzas

Presenta:

Guadalupe del Carmen Beristain Martínez

Tutor:

Dra. Paola Selene Vera Martínez
Facultad de Contaduría y Administración

Ciudad de México, marzo de 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Investigación realizada gracias al programa UNAM-DGAPA-PAPIIT
IA301515: Gobernanza e implementación de estándares de
sustentabilidad en la cadena de valor del cemento.

Agradecimientos

Le doy gracias a Paola Vera Martínez por guiarme en el increíble mundo de la investigación, por hacerlo interesante y sencillo de entender, por compartirme su conocimiento e ideas y aclarar las mias, por confiar en mi e impulsarme a seguir adelante. Gracias Paola por creer en mí.

A mis padres por apoyarme y estar ahí siempre cuando los necesite, por ser mis columnas que hacen que todo se vuelva más sencillo, por su experiencia y consejos, por forjarme con temple fuerte, este logro también es de ustedes.

A mis hermanos por escuchar pacientemente mis ideas, por ayudarme en momentos con mucho trabajo y estar ahí para reír con ustedes, gracias a cada uno.

Agradezco a mis sínodos por sus consejos que sirvieron para mejorar el trabajo.

A cada uno de los integrantes del seminario de sustentabilidad, que me apoyaron a mejorar el trabajo con cada presentación que se hacía, por su paciencia, por acogerme y dejarme ser parte del camino hacia la búsqueda de la administración sustentable.

A Ruben por ser mi fortaleza.

Índice

Lista de figuras, tablas, gráficos y anexos.....	6
Siglas y Acrónimos.....	8
Introducción	10
Capítulo 1 Eco-eficiencia.....	19
Introducción	19
1.1 Antecedentes de la eco-eficiencia.....	19
1.2 Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD).....	22
1.2.1 Historia del WBCSD	23
1.2.2 Objetivos del WBCSD.....	26
1.2.3 Criticas al WBCSD	26
1.3 ¿Qué es la eco-eficiencia?	28
1.3.1. La visión institucional de la eco-eficiencia.....	28
1.3.3 La visión de la academia sobre la eco-eficiencia.....	40
Capítulo 2 Metodologías de análisis de la eco-eficiencia	53
Introducción	53
2.1 Metodologías de medición de la eco-eficiencia	53
2.1.1 Puntuación económica	57
2.2.2 Puntuación ambiental	59
2.1.3 Puntuación Combinada de eco-eficiencia.....	78
Capítulo 3 La industria del cemento y las estrategias implementadas para mitigar las emisiones de CO₂.....	82
Introducción	82
3.1 Emisiones de gases de efecto invernadero.....	82
3.2 La industria del cemento	86
3.2.1 Proceso de producción del cemento	89
3.2.2 Fuentes de emisiones de CO ₂ en la producción del cemento.....	92
3.2.3 Producción mundial del cemento.....	94
3.3 Iniciativa Sostenible del Cemento	95
3.3.1 Estudio independiente (Battelle).....	97
3.3.2 Agenda de Acción	102
3.3.3 Estrategias propuestas por CSI para lograr la Agenda de Acción.....	107
Indicadores por sector de la Iniciativa	114

Capítulo 4 Análisis de eco-eficiencia.....	121
Introducción.....	121
4.1 Metodología.....	121
4.1.1 Metodología del análisis de eco-eficiencia del CO ₂	122
4.1.2 Metodología del análisis del ROC	130
4.2 Resultados del análisis de eco-eficiencia.....	132
4.2.1 Análisis de la eco-eficiencia anual	158
4.2.2 Análisis de correlación	164
4.2.3 Análisis de diferencia de medias.....	167
4.3 Análisis de diferencia de medias del indicador ROC.....	169
Discusión y conclusiones	175
Referencias.....	180
Anexo A	199
Anexo B	202

Lista de figuras, tablas, gráficos y anexos

Figuras

1.1 Breve historia del WBCSD	22
1.2 Estrategias para la eco-eficiencia	29
1.3 Navegador de oportunidades para la eco-eficiencia	31
2.1 Fases del análisis del ciclo de vida	58
3.1 Proceso de producción del cemento	88
3.2 Emisiones de CO ₂ en el proceso de producción del cemento	90
3.3 Proceso de la Iniciativa con objetivos al 2020	94
3.4 Indicadores clave de la industria del cemento	97

Tablas

1.1 Indicadores de los reportes corporativos de eco-eficiencia	33
1.2 Definiciones de la eco-eficiencia de las instituciones	36
1.3 Definiciones de la eco-eficiencia de los académicos	41
1.4 Conductores internos y externos de la eco-eficiencia	49
2.1 Indicadores ambientales	66
3.1 Empresas fundadoras del CSI	93
3.2 Resumen de la Agenda de Acción	102
3.3 Combustible convencional en el 2014	116
4.1 Empresas cementeras asociadas a la Iniciativa	121
4.2 Empresas cementeras no asociadas a la Iniciativa y que reportan emisiones de CO ₂	123
4.3 Muestra para el análisis de eco-eficiencia	126
4.4 Muestra para el análisis del indicador ROC	128
4.5 Medias de los múltiplos ROC y apalancamiento de CO ₂ (2006-2014)	135
4.6 Análisis anual de la eco-eficiencia de CO ₂ de las cementeras	160
4.7 Coeficiente de correlación para las variables apalancamiento de CO ₂ y ROC	162
4.8 Relación entre las variables de eco-eficiencia	164
4.9 Resultados de análisis de diferencia de medias en el indicador de eco-eficiencia de CO ₂	166
4.10 Análisis de estadística descriptiva de los indicadores del ROC en los dos grupos	170

Gráficas

1.1 Eco-eficiencia como principio operativo del desarrollo sustentable	42
1.2 Eco-eficiencia y eco-efectividad	46
2.1 Eco-eficiencia de las alternativas para la prevención de la contaminación	78
3.1 Principales países emisores de CO ₂	81
3.2 Emisiones mundiales de CO ₂ , por sector	82
3.3 Emisiones de CO ₂ en la Industria en el 2014	83
3.4 Crecimiento del Producto Interno Bruto y de la producción del cemento a nivel mundial	92
3.5 Reducción de emisiones de CO ₂ , bajo escenario de demanda	106
3.6 Total de emisiones de CO ₂ y producción de cemento	112
3.7 Emisiones de Kg CO ₂ por región	113
3.8 Emisiones de Kg de CO ₂	114
3.9 Consumo de energía térmica	115
3.10 Combustibles alternativos y residuos mezclados, 2014	116
3.11 Componentes minerales para producir cemento portland	117
4.1 Comportamiento de Siam, Vicat, Lafarge y Holcim con respecto a los múltiplos del ROC, apalancamiento del CO ₂ y eco-eficiencia de CO ₂	130
4.2 Comportamiento de CEMEX, Taiheiyu, Cemento Portland y Cementos Argos con respecto a los múltiplos del ROC, apalancamiento del CO ₂ y eco-eficiencia de CO ₂	140
4.3 Comportamiento de Ambuja, Cimsa, Italcement, Italcementi y Ultratech con respecto a los múltiplos del ROC, apalancamiento del CO ₂ y eco-eficiencia de CO ₂	147
4.4 Comportamiento de Buzzi, Cementir, Secil, Titan y Cimpor con respecto a los múltiplos del ROC, apalancamiento del CO ₂ y eco-eficiencia de CO ₂	152
4.5 Cuadrantes de la eficiencia de capital económico y ambiental	157
4.6 Medias del indicador de eco-eficiencia de CO ₂	165
4.7 Indicador ROC del Grupo 1b	167
4.8 Indicador ROC del grupo 2b	168
4.9 Medias del indicador de ROC	171
Anexos	
Anexo A	194
Anexo B	198

Siglas y Acrónimos

BCT: Belite-Calciumsulfoaluminate-Ternesite

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

CaCO₃: Carbonato de calcio

MgO: Óxido de magnesio

NO_x: Óxido de nitrógeno

SO₂: Dióxido de azufre

DQO: Demanda química de oxígeno

ASTM: American Society for Testing and Materials

BCSD: Consejo de Negocios para el Desarrollo Sustentable

CASP: Plataforma de Simulación Avanzada de Cemento

CCI: Cámara de Comercio Internacional

CEMEX: Cementos de México

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático

CNDS: Consejo de Negocios para el Desarrollo Sustentable

CNUMADS: Comisión de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable

CSI: Iniciativa Sostenible de Cemento

DEA: Análisis Envolvente de Datos

DMU: Unidades de Toma de Decisión

EEA: Agencia Europea del Medio Ambiente

EMA: Contabilidad de Gestión Ambiental

EPA: Environmental Protection Agency

EVA: Valor Económico Agregado

ESIA: Evaluación del Impacto Ambiental y Social

ETS: Exchange Trade System

FCC: Fomento de Construcción y Contratos

GEI: Gases de efecto invernadero

GNR: Getting Numbers Right-Teniendo los números correctos

GRI: Global Reporting Initiative- Iniciativa Global de Reporte

IEA: International Energy Agency-Agencia Internacional de Energía

ISRA: Instituto Senegalés de Investigación Agrícola

ISO: International Organization for Standardization

LCA: Análisis del Ciclo de Vida

LCI: Inventario de Ciclo de Vida

LCIA: Impacto Ambiental de Ciclo de Vida

LCTPi: Low emissions Intensity Lime & Cement- Iniciativa de asociación de bajo carbono

MDL: Mecanismos para el Desarrollo Limpio

Mt: Millones de toneladas

PPC: Portalnd Pozzolana Cement

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ONU: Organización de las Naciones Unidas

OPC: Ordinary Portland Cement- Cemento Ordinario Portland

PIB: Producto Interno Bruto

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

ROC: Rendimiento sobre capital

ROE: Return on Equity-Retorno sobre utilidad

SEMARNAT: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales

TEE: Certificados de Eficiencia Energética

TMG: Temperatura media global

WBCSD: Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable

WICE: Consejo Mundial de la Industria del Medio Ambiente

WGC: Grupo de Trabajo de Cemento

WRI: Instituto de Recursos Mundiales

Introducción

Los gases de efecto invernadero son un problema que ha estado presente desde hace ya mucho tiempo, a pesar de esto se le había dado muy poca importancia mientras se mantuviera el nivel de economía y las empresas siguieran produciendo. Sin embargo, el problema ha crecido cada vez más, generando el calentamiento global y en consecuencia el cambio climático. Es por esto que desde 1972 se comenzaron a realizar esfuerzos internacionales para abordar este problema, comenzando con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, y el Protocolo de Kioto (Rehan y Nehdi, 2005).

De los gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO₂) es el más importante ya que representa el 82% del total de los gases (Damtoft, Lukasik, Herfort, Sorrentino y Gartner, 2008). El sector de la electricidad y generación de calor es el mayor responsable de las emisiones de CO₂, con una participación del 42% de las emisiones mundiales de CO₂, el segundo sector responsable es el transporte con el 22% de las emisiones mundiales, y el tercero es la industria con una participación del 19% (International Energy Agency [IEA], 2015).

Dentro de la industria, la producción del cemento es una de las más intensivas en uso de energía, tanto en energía eléctrica como en térmica, además aporta el 5% de emisiones de CO₂ a nivel mundial (Herzog, 2005). Este uso intensivo de energía es causado principalmente por la etapa de precalentamiento y la quema del Clinker, además hay una liberación natural de CO₂ debido a la reacción química que se genera en la etapa de descarbonatación, lo que conlleva a una liberación aproximada de CO₂ de 0.53Kg por Kg de Clinker (Damtoft *et al.*, 2008).

El Clinker es un componente básico del cemento, tan solo para crear el cemento Ordinary Portland Cement (OPC) se necesita del 95% de Clinker y 5% de yeso, siendo el OPC el cemento más comercializado a nivel mundial (Worrel, 2001). Es por esto que Vera (2013) señala que el proceso de fabricación del cemento es intrínsecamente insustentable.

Debido al gran problema ambiental que presenta la producción del cemento y a la presión constante de las partes interesadas, comunidad aledaña a las fábricas, organizaciones internacionales, entre otras, las empresas cementeras han realizado diferentes estrategias para mitigar los impactos ambientales de su actividad. Para esto, las empresas más representativas de la industria, un conjunto de diez empresas¹ (Holcim, Lafarge, Siam, Cemex, Taiheiyo, Italcementi, Cimpor, Heidelberg, RMC, Votoratin), solicitaron un estudio sobre la situación de la industria ante la sustentabilidad (el Informe Batelle), para conocer qué tanto es el daño que la industria está generando y cómo se puede contrarrestar este impacto.

El informe Battelle, muestra la necesidad de comenzar a realizar estrategias para mitigar sus impactos ambientales, principalmente emisiones de CO₂. Puesto que si siguen así las emisiones de CO₂ de la industria aumentarían drásticamente en las próximas décadas, ya que se prevé que para el 2020 la demanda mundial del cemento aumente entre 115% y 180%, con respecto a 1990 (World Business Council for Sustainable Development [WBCSD], 2002a).

Posteriormente crearon la Iniciativa Sostenible del Cemento que se auspició en el Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable, principal promotor de la sustentabilidad en los negocios. La Iniciativa adoptó la ideología que promueve el Consejo Empresarial de eco-eficiencia como la estrategia a través de la cual se lograría la sustentabilidad.

Se creó una Agenda de Acción, con objetivos alcanzables al 2020, en la cual se plantearon las estrategias a realizar. En su mayoría estrategias eco-eficientes para mitigar emisiones de CO₂, disminuir el uso de recursos naturales aumentando su eficiencia. También se planteó generar indicadores de medición de sus impactos ambientales, tal como lo plantea el Consejo Empresarial para cada recurso natural utilizado y desechos generados (WBCSD, 2002b).

Es así como las empresas cementeras comenzaron a implementar estrategias eco-eficientes desde el 2002 para disminuir su impacto ambiental. Sin embargo, las

¹ Estas empresas tienen negocios en casi todos los continentes y producen en conjunto más de un tercio de la oferta mundial de cemento (Klee y Coles, 2004).

estrategias que están orientadas a la eco-eficiencia han sido altamente criticadas por la academia, señalan que es una estrategia aislada que no logra que una empresa llegue a ser sustentable (Callens y Titica, 1999; Dyllick y Hockerts, 2002; Hart y Milstein, 2003; Figge y Hahn, 2004; Braungart, McDonough y Bollinger, 2007; Glavič y Lukman, 2007; Abukhader, 2008; Korhonen y Seager, 2008).

Glavic y Lukman (2007) ubican a la eco-eficiencia como un principio que se encuentra dentro de la base de la pirámide, de cinco niveles que se necesitan alcanzar para llegar a la sustentabilidad; por su parte, Hart y Milstein (1995) presentan a la eco-eficiencia como un principio a través del cual se llega a la sustentabilidad pero que tiene que ir escalando, integrar a las partes interesadas y los problemas sociales. Por lo que la gran mayoría de los estudiosos en el tema señalan las limitaciones de visión de la eco-eficiencia, principalmente la falta de estrategias enfocada a la parte social de la sustentabilidad. Asimismo, señalan que las empresas deben transitar de la eco-eficiencia como proceso a un sistema más complejo la eco-efectividad (Abukhader, 2008),

A pesar de la gran crítica hacia la eco-eficiencia por parte de la academia, es lo que han propuesto las empresas para mitigar sus impactos ambientales. Principalmente el Consejo Empresarial, ha estado trabajando en el tema desde 1992, primero con 42 empresas pioneras y actualmente con 180 empresas que lo conforman; siempre con el lema de generar una relación de ganar-ganar, buscando reducir el consumo de recursos naturales, disminuyendo los costos y aumentando la rentabilidad de la empresa. Además señalan que se logra la parte social de la sustentabilidad a través de sus productos o servicios que generan valor tanto para los accionistas como para los clientes (WBCSD, 2006).

El Consejo Empresarial trata de implementar todas las nuevas tendencias de la sustentabilidad en la eco-eficiencia, con una visión hacia los aspectos internos de la cadena de valor de las empresas y dejando de lado, los aspectos externos de sus productos y partes interesadas.

Durante todo este tiempo el Consejo Empresarial y la Iniciativa Sostenible del Cemento, han publicado guías de cómo identificar las oportunidades para

implementar las estrategias eco-eficientes, indicadores que pueden ocupar las empresas, la forma de reportarlos, herramientas para una mejor implementación de estrategias, ejemplos de empresas que los han aplicado, objetivos y criterios que deben tomar en cuenta para implementarlos.

Algunas empresas cementeras han implementado la eco-eficiencia desde el inicio de la Iniciativa, lo que ha generado que comiencen a transitar de estrategias enfocadas a procesos eco-eficientes hacia estrategias orientadas al desarrollo sustentable como lo señala Vera (2015). Sin embargo, la mayoría de las cementeras apenas están comenzaron a implementar estrategias eco-eficientes, pero no han logrado pasar más allá, y algunas otras ni siquiera han hecho mayores esfuerzos por reducir su impacto ambiental

Preguntas de investigación

¿Cómo contribuyen las estrategias de mitigación de emisiones de CO₂, implementadas por las empresas cementeras al objetivo de la eco-eficiencia?

- ¿Cuál es la diferencia entre los indicadores de eco-eficiencia de CO₂ de las empresas cementeras que forman parte de la Iniciativa Sostenible del Cemento y de las que no son miembros?
- ¿Cuál es la diferencia entre los indicadores de rendimiento sobre capital de las empresas cementeras que publican mediciones de sus emisiones de CO₂ y las que no publican mediciones de sus emisiones de CO₂?

Hipótesis

Las estrategias de mitigación de emisiones de CO₂ que están implementando las empresas cementeras no logran cumplir el objetivo de la eco-eficiencia.

- Las empresas cementeras que forman parte de la Iniciativa Sostenible del Cemento tienen un indicador mayor de eco-eficiencia de CO₂ que las empresas cementeras que no forman parte de la iniciativa.

- Las empresas cementeras que no publican mediciones de sus emisiones de CO₂ tienen indicadores de Rendimiento Sobre Capital menores que aquellas que si publican mediciones de sus emisiones de CO₂.

Objetivo general

Analizar la contribución de las estrategias de mitigación de las emisiones de CO₂ implementadas por las empresas cementeras al cumplimiento del objetivo de la eco-eficiencia.

Objetivo específico

- Analizar la diferencia entre los indicadores de eco-eficiencia de CO₂ de las empresas cementeras que forman parte de la Iniciativa Sostenible del Cemento y de las que no son miembros.
 - Analizar la evolución del indicador de eco-eficiencia CO₂ de las empresas cementeras que forman parte de la Iniciativa Sustentable del Cemento.
- Analizar la diferencia entre los indicadores de rendimiento sobre capital de las empresas cementeras que publican mediciones de emisiones de CO₂ y las que no publican sus emisiones de CO₂.
 - Analizar la evolución del indicador de rendimiento sobre capital de las empresas cementeras que publican indicadores de eco-eficiencia para mitigar sus emisiones de CO₂.

Metodología

1. Investigación documental

Para hacer la revisión de la literatura, se consideraron trabajos en revistas científicas, tales como: *Journal of Cleaner Production*, *Ecological Economics*, *Management Accounting Research*, *Sustainable Development and World Economy* y *Environmental Management*. Se buscó que los trabajos tuvieran un enfoque administrativo y financiero. También se revisaron informes de las principales instituciones promotoras de la eco-eficiencia en el nivel internacional.

Para la revisión se utilizó una búsqueda estructurada a partir de palabras claves: eco-eficiencia, mitigación de emisiones de CO₂, cemento, eficiencia ambiental y económica. La base de datos que se utilizó para la búsqueda fue SCOPUS (www.Scopus.com).

En una segunda parte de la investigación documental, se revisaron los informes financieros, sustentables y memorias de las empresas seleccionadas en la muestra, con el fin de conocer las estrategias implementadas para mitigar sus emisiones de CO₂.

2. Investigación cuantitativa

Se realizaron dos tipos de análisis, de eco-eficiencia de CO₂ y de rendimiento sobre capital, para los dos estudios se realizó una investigación longitudinal.

- Para el primer estudio se recabaron datos de las emisiones de CO₂ de las empresas seleccionadas, de sus informes de sustentabilidad, memorias y/o informes anuales para un periodo de 2006-2014, también se recabaron datos financieros a través de la base de datos Capital IQ para el mismo periodo.
- Para el segundo estudio se recabaron únicamente datos económicos a través de la base de datos Capital IQ, para un periodo más largo de 1995-2014.

Para realizar ambos análisis se utilizó la metodología que propone Figge y Hahn (2013) para medir la eco-eficiencia de CO₂, que se ubica entre las metodologías de puntuación ambiental con un enfoque comparativo. Se utilizó este tipo de metodología debido a que toma como indicador ambiental a las emisiones de CO₂, que son el principal problema ambiental de las empresas cementeras, por lo que es apropiado para aplicarlo a esta industria.

El análisis de eco-eficiencia de CO₂ se complementó con un análisis de correlación entre las variables de apalancamiento de CO₂ y rendimiento sobre capital para los dos grupos de empresas, el análisis se realizó para un periodo de 2005-2014.

Además se utilizó el análisis estadístico de diferencia de medias en ambos estudios, para conocer si existe alguna diferencia entre los grupos analizados para cada estudio, se utilizó un nivel de confianza del 95%.

Para obtener las muestras de las empresas seleccionadas para ambos estudios, se partió de las 75 principales empresas cementeras del mundo listadas en el Directorio Global de Cemento del 2013 (Saunders, 2013) que conforme a los criterios de inclusión, y a la limitación de la base de datos de Capital IQ, se tuvieron las siguientes muestras:

- La muestra para el análisis de la eco-eficiencia quedó con un total de 19 empresas, 14 que pertenecen al CSI y 5 que no pertenecen.
- La muestra para el análisis del rendimiento sobre capital quedó con un total de 26 empresas, 14 que publican mediciones de sus emisiones de CO₂ y 12 empresas que no publican mediciones.

3. Analisis Cualitativo

Para complementar el análisis cuantitativo de los indicadores de eco-eficiencia de CO₂, se realizó un análisis cualitativo en el que se revisaron todos los informes o memorias de sustentabilidad de las 19 empresas que conforman la muestra. En los informes se buscaron estrategias de eco-eficiencia enfocadas a la mitigación de emisiones de CO₂ bajo las siguientes áreas:

- Eficiencia energética
- Uso de combustibles alternos
- Sustitución de Clinker
- Uso de sistemas “cap and trade”
- Creación de nuevos tipos de cementos ecológicos
- Investigación hacia la captura y almacenamiento de carbono

Limitaciones del estudio

Entre las principales limitaciones del estudio, se encuentran:

- Los datos de la base Capital IQ son limitados debido a que se toman de los estados financieros consolidados que publican las empresas cementeras a las bolsas de valores a las que pertenecen. Por lo que no se tiene seguridad acerca de la veracidad de los datos; sin embargo, la mayoría de los reportes son auditados por auditores externos.
- No se conoce bajo qué tipo de cambio hacen la conversión para igualar todos los datos de los estados financieros a dólares, para el caso de los informes que se presentan en diferentes monedas.

Resumen capitular

Capítulo 1. Eco-eficiencia

En el primer capítulo se presenta el surgimiento de la eco-eficiencia como una respuesta de las empresas hacia la sustentabilidad. Dicha respuesta es generada y promovida por el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD por sus siglas en inglés), el cual genera toda una estructura para la implementación de la eco-eficiencia dentro de las empresas, para que éstas puedan disminuir los impactos ambientales generados por su actividad y al mismo tiempo disminuir sus costos. De esta manera surge la eco-eficiencia bajo la idea de hacer más con menos y fomentar una relación de ganar-ganar. También se presenta la perspectiva de los académicos acerca de la eco-eficiencia, y los objetivos que puede llegar a lograr sin alcanzar la sustentabilidad por sí sola, como lo propone el WBCSD.

Capítulo 2. Metodologías de análisis de la eco-eficiencia

En el segundo capítulo se describen las diferentes metodologías que se han implementado para analizar y evaluar la eco-eficiencia de las empresas. Se presentan de acuerdo a la clasificación que desarrollan Huppés e Ishikawa (2005c), en tres puntuaciones, económica, ambiental y combinada. La clasificación depende

de que es lo que evalúa principalmente el indicador generado; es decir, en la puntuación ambiental se engloban a todas las metodologías que miden el impacto ambiental de la actividad de la empresa; en la puntuación económica se cuantifica la parte del mercado en términos de costo y valor y se agregan los impactos ambientales, como en las metodologías de costos-beneficio; y finalmente en la puntuación combinada se busca que tanto los puntajes económicos y ambientales se combinen y generen puntuaciones específicas.

Capítulo 3. La industria del cemento y las estrategias implementadas para mitigar sus emisiones de CO₂

En el tercer capítulo se analiza a la industria del cemento, sus características, el proceso de producción y su principal impacto ambiental que son las emisiones de CO₂. Además se describen y analizan las estrategias implementadas por las empresas cementeras para contrarrestar sus impactos ambientales, principalmente las emisiones de CO₂. El surgimiento de la Iniciativa Sostenible del Cemento como principal herramienta para fomentar la implementación de estrategias para la mitigación de emisiones, generación de indicadores y diseño de objetivos.

Capítulo 4. Análisis de la eco-eficiencia

En el cuarto capítulo se presenta el resultado del análisis de la eco-eficiencia de CO₂ de las empresas cementeras de las muestras seleccionadas, así como su análisis de diferencia de medias entre el grupo de empresas que forman parte de la Iniciativa Sostenible del Cemento y del que no lo conforma pero que implementan estrategias para mitigar emisiones de CO₂. También se presenta el resultado del análisis del indicador de rendimiento sobre capital de las empresas cementeras de las muestras seleccionadas, así como su análisis de diferencia de medias, con un periodo de tiempo de 1995 a 2014.

Capítulo 1 Eco-eficiencia

Introducción

La eco-eficiencia surge como respuesta al deterioro ambiental desde el ámbito empresarial. Representa el instrumento fundamental a través del cual las organizaciones pretenden contribuir a los fines del desarrollo sustentable.

El objetivo del presente capítulo es analizar el surgimiento de la eco-eficiencia y las concepciones de lo que es la eco-eficiencia desde la perspectiva institucional, principalmente el Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable, y del académico; así como el alcance que tiene la eco-eficiencia ante el gran reto de la sustentabilidad.

1.1 Antecedentes de la eco-eficiencia

La eco-eficiencia surge como una respuesta empresarial ante el constante deterioro ambiental, como alternativa a los programas internacionales que se implementaron para disminuir el impacto ambiental en otros ámbitos.

Ayres (2008: 282) señala que los problemas ambientales más urgentes y visibles desde las primeras siete décadas del siglo XX fueron de naturaleza local; los cuales concernían a problemas de arsénico de las fundidoras de cobre; emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂) provenientes de los automóviles, de las centrales eléctricas que quemaban carbón y calderas industriales; emisiones de plomo de las tuberías de gasolina; aguas residuales no tratadas; aguas residuales industriales y vertederos de sitios industriales con sustancias tóxicas. Era necesario cambiar la perspectiva que se tenía posterior a la Gran Depresión de que el humo de las chimeneas de las industrias significaba puestos de trabajo y desarrollo económico.

De manera que en la década de 1970 se desarrolló una aproximación a la protección del medio ambiente mediante estrategias enfocadas a tratamientos de desechos y

contaminantes, englobadas en las estrategias “end of pipe²” (Ayres, 2008; Azapagic y Perdan, 2000).

La preocupación por el deterioro ambiental se enfatiza en el mundo a partir de 1972 con la Conferencia de Estocolmo de las Naciones Unidas, en la que se dio lugar a la institucionalización de las preocupaciones ambientales en el nivel internacional a través de la creación de la Dirección de Medio Ambiente de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y un nuevo organismo de las Naciones Unidas, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (Ayres, 2008).

En la conferencia de Estocolmo se sugiere en el informe de Club de Roma titulado los “Límites del crecimiento”, la posibilidad de que la contaminación inhibiera el crecimiento económico directamente (Ayres, 2008). Sin embargo en el informe no se discuten los mecanismos específicos en los que se indique que la contaminación inhiba al crecimiento económico. Ayres, (2008: 284) señala que esto aún no se ha hecho, únicamente se abarcan los impactos indirectos más sutiles de la contaminación sobre el crecimiento económico, principalmente en el sector industrial.

Para 1984 se crea la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, y en 1987 se publica el informe *Nuestro futuro común*, en el que se define el desarrollo sustentable como aquel que “*satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” (United Nations, 1987: 41) De la misma forma, señala que el medio ambiente es un elemento esencial del desarrollo económico, debido a que el medio ambiente es un “factor de producción” esencial y fuente de los servicios de bienestar importantes para las personas (United Nations, 1987: 41).

A pesar de la implementación de programas internacionales y locales, los impactos ambientales siguieron creciendo para convertirse en problemas globales y

² Definida como el “*tratamiento de sustancias contaminantes al final del proceso de producción*” (Glavič y Lukman, 2007: 1877).

regionales. Ya que las estrategias adoptadas en 1970 con un enfoque de “*end of pipe*” tenían limitaciones, principalmente en temas de acidificación del suelo, eutrofización³ en los ecosistemas costeros, agotamiento de la capa de ozono, pérdida de biodiversidad y cambio climático (efecto invernadero). De modo que se dio inicio a otro tipo de estrategias enfocadas a mitigar este tipo de impactos globales, como son reducción de la fuente, producción limpia, diseño para el ambiente (DFE, por sus siglas en inglés), desmaterialización y eco-eficiencia (Ayres, 2008).

Después, se presentó un plan de acción Global conocido como Agenda 21 dirigido a perseguir la sustentabilidad en el marco de la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, en junio de 1992, en la que asistieron los representantes de 150 países, líderes mundiales y representantes de las empresas (Azapagic y Perdan, 2000).

En respuesta a la Agenda 21, los gobiernos y organizaciones comenzaron a desarrollar sus planes de acción y a establecer estrategias enfocadas al desarrollo sustentable (Leal, 2005).

Emergiendo la eco-eficiencia como una estrategia de negocios para que las empresas cumplan con la Agenda 21, y reduzcan el uso de recursos naturales. Con la eco-eficiencia se busca que la empresa también gane, ya que éste es su principal fin. Un negocio no puede sobrevivir sin que genere ganancias, con el enfoque de la eco-eficiencia se pretende generar una relación de ganar-ganar, creando una oportunidad para reducir costos, incrementar ganancias y al mismo tiempo ser amigable con el medio ambiente (Ayres, 2008).

Las empresas pioneras que implementan programas enfocados a la eco-eficientes fueron (World Business Council Sustainable Development [WBCSD], 1996: 6):

³ La eutrofización se define como; “*el abastecimiento excesivo de los nutrientes nitrógeno y fosforo a los cuerpos de agua, con el consecuente crecimiento de micro algas, que pueden producir la muerte de peces al despojarlos del oxígeno que necesitan para vivir*” (United States-Environmental Protection Agency, 1997). Este abastecimiento excesivo es provocado por verter los desechos de las actividades humanas en cuerpos de agua (Cirerol, 2004: 23).

- Minnesota Mining & Manufacturing Co. (3M Corp) implementó el programa Prevención de la Contaminación Paga (PPP, por sus siglas en inglés) en 1975.
- Dow Chemical Co. implementó el programa de Prevención de Residuos siempre Paga (WRAP, por sus siglas en inglés) en 1987.

Por el papel que se ha asignado a las empresas en el logro del desarrollo sustentable se presenta a continuación los antecedentes de la principal figura que representa al sector empresarial.

1.2 Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD)

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable⁴ (WBCSD por sus siglas en inglés) es una organización compuesta por 180 empresas multinacionales. Las cuales son su principal fuente de financiamiento y participantes de la configuración de la agenda y gobierno, mismas que comparten los valores de compromiso con la protección del medio ambiente y el crecimiento económico. De esta manera el Consejo se convirtió en la voz de las empresas en el tema de la sustentabilidad (WBCSD, 2016a).

El Consejo está compuesto por una red global de 65 consejos empresariales nacionales y regionales independientes, y organizaciones asociadas. Está presente en dos tercios de los países desarrollados y emergentes (WBCSD, 2016a).

El Consejo se reúne anualmente para decidir acerca de las prioridades de la organización y discutir cuestiones estratégicas relacionadas con el desarrollo sustentable (WBCSD, 2016a).

⁴ En adelante se refiere al Consejo Empresarial para el Desarrollo Sustentable como el Consejo o el WBCSD.

1.2.1 Historia del WBCSD

El WBCSD se creó el 1 de enero de 1995, resultado de la fusión del Consejo de Negocios para el Desarrollo Sustentable y el Consejo Mundial de la industria del Medio Ambiente, con 120 empresas (WBCSD, 2000a) (ver figura 1.1).

El Consejo de Negocios para el Desarrollo Sustentable (CNDS) se crea a partir de que en 1990 el secretario general de la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable (CNUMADS) Maurice Stone, nombrara a Stephan Schmidheiny asesor principal para los negocios y la industria, con el fin de dirigir la participación empresarial en la Cumbre de la Tierra de 1992 en Río de Janeiro (Timberlake, 2006; WBCSD, 2016b).

Durante ese año Stephan Schmidheiny buscó Chief Executive Oficce de empresas internacionales para que se unieran a la perspectiva de los negocios ante el desarrollo sustentable que se presentaría en la Cumbre de Río. Logrando así la creación del Consejos de Negocios para el Desarrollo Sostenible con 48 miembros en 1991 (Timberlake, 2006). El CNDS presentó en la Cumbre de Río el libro *Changing Course*, el cual desarrolla una propuesta para que los negocios disminuyan su impacto ambiental y fomenten el desarrollo sustentable, siendo compatible con los objetivos establecidos en la Agenda 21 (Timberlake, 2006). A partir de su creación el CNDS se ha expandido a otras partes del mundo; en 1995 tenía presencia en Europa, América Latina y Asia (Najam, 1999).

Mientras que el Consejo Mundial de la Industria del Medio Ambiente (WICE, por sus siglas en inglés) se fundó en 1993, basado en un compromiso corporativo. El WICE fue una iniciativa de la Cámara de Comercio Internacional (CCI, por sus siglas en inglés), que comenzó desde 1991 con la formación de un grupo de trabajo para el desarrollo sustentable, dirigido por Peter Scupholme de British Petroleum y W. Ross Stevens III de Du Pont. El WICE elaboró una carta de negocios para el desarrollo sustentable (Timberlake, 2006) que se presentó en la Segunda Conferencia Mundial sobre la Industria de Gestión Ambiental en Rotterdam en 1992.

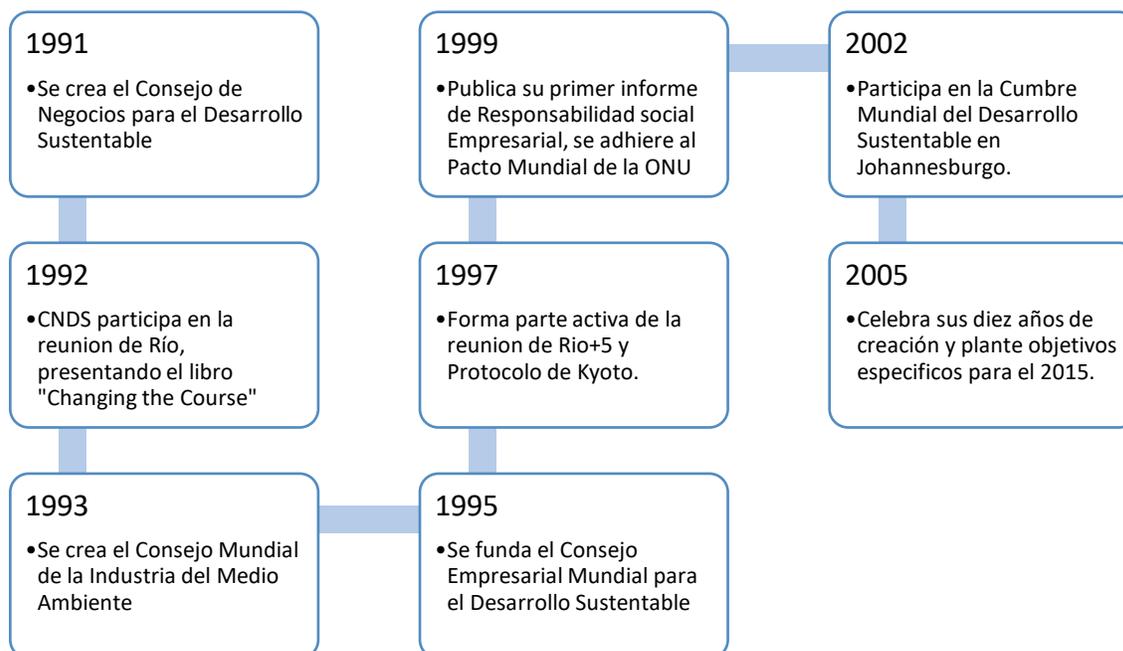
Una vez formado el WBCSD, se dedicó a promocionar las estrategias de eco-eficiencia, y a decirle al mundo que las empresas también estaban haciendo algo para disminuir su impacto ambiental. Para 1997, formó parte activa de las actividades de Río+5 organizada por la ONU en conmemoración de la Cumbre de Río que se realizó en 1992, en la cual afirma que la eco-eficiencia no es una simple estrategia que deben implementar los negocios, sino que es una filosofía de negocio ya que fue desarrollada por los negocios para los negocios (WBCSD, 1996).

En la Cumbre de 1997, el Consejo hace un enlace entre el desempeño ambiental y los resultados financieros al publicar el reporte de *Desempeño ambiental y el valor de las acciones*, guiado por el principio “*sólo se puede controlar lo que se puede medir*” (WBCSD, 2016b: 23). Recopilando en el reporte una guía empresarial de implementación de la eco-eficiencia, herramientas para medirla y reportar su desempeño (WBCSD, 2016b)

A partir de la reunión de Río+5, el WBCSD se convirtió en la voz más activa y representativa de las grandes empresas en temas relacionados con el desarrollo sustentable. Ya que comenzó a formar parte de la Comisión de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sustentable (CNUDS), de la Asamblea General de la ONU y del consejo asesor de la OCDE para revisar trabajos sobre problemas ambientales (Najam, 2000).

El WBCSD implementó el área social en sus estrategias y programas a partir de 1999, debido a las constantes críticas y escándalos que tuvieron algunas empresas miembros. En ese año el Consejo publicó su primer informe sobre *Responsabilidad social de las empresas: conociendo las expectativas cambiantes*, este informe se dirigió a los derechos humanos de los trabajadores, protección del medio ambiente, participación con la comunidad y relación con los proveedores (WBCSD, 1999; WBCSD, 2016b). Se adhieren al Pacto Mundial de la ONU a finales de ese año (WBCSD, 2016b).

Figura 1.1
Breve historia del WBCSD



Fuente: Elaboración propia con base en World Business Council for Sustainable Development [WBCSD] (2016a), *About World Business Council for Sustainable Development*. Recuperado de <<http://www.wbcsd.org/about/organization.aspx>> (30 de agosto 2016) y Timberlake, L. (2006). *Catalyzing Change: a short history of the WBCSD*. World Business Council for Sustainable Development, Ginebra, Suiza.

El WBCSD participó en la Cumbre Mundial del Desarrollo Sustentable de Johannesburgo en el 2002. En la que se elabora el Plan de Aplicación para lograr el desarrollo sustentable; que añade a los Objetivos de Desarrollo del Milenio una meta de saneamiento y objetivos para el 2020 de minimización de problemas ambientales por contaminación química (Timberlake, 2006; WBCSD, 2016b). En la Cumbre, el Consejo y Greenpeace trabajaron juntos para instar a los gobiernos a tomar en serio al cambio climático y a realizar algo para contrarrestarlo (Timberlake, 2006).

A partir del 2005, el WBCSD adopta estrategias para el año 2015 con el objetivo de apoyar y lograr que las empresas integren todos los aspectos de la sustentabilidad, en áreas claves de energía y ambiente, el desarrollo y el rol del negocio (WBCSD, 2016b). En los años posteriores, se dedicó a determinar nuevas estrategias para los años subsecuentes con metas para 2020 y 2050.

1.2.2 Objetivos del WBCSD

El trabajo del WBCSD se guía en cuatro principales objetivos (WBCSD, 2016a):

1. **Liderazgo empresarial:** ser el líder defensor de las empresas en temas relacionados con el medio ambiente y el desarrollo sustentable.
2. **Desarrollo de políticas:** participar en el desarrollo de políticas con el fin de crear un marco que permita a las empresas contribuir de manera efectiva al desarrollo sustentable.
3. **Recomendación:** demostrar los avances en la gestión ambiental y de recursos en los negocios y compartir las prácticas de vanguardia entre sus miembros.
4. **Alcance global:** contribuir, a través de su red global, para un futuro sustentable para los países desarrollados y los que se encuentran en transición.

Najam (1999) señala que el principal objetivo del WBCSD es asegurarse de estar presente en todas las discusiones de la política ambiental en el nivel internacional, y participar en la toma de decisiones y desarrollo de políticas.

Estos objetivos enfocados a la actividad de promoción del negocio le permiten al Consejo prever y no reaccionar a las demandas de las partes interesadas. Ya que se puede influir en las prioridades y pensamientos y así ayudar a dar forma al resultado final, al participar desde el principio en el diseño de la política o programa.

1.2.3 Críticas al WBCSD

Una de las principales críticas que se le hace al WBCSD es la propuesta por Najam (2000), quien señala que el Consejo no busca la disminución del impacto de las empresas al medio ambiente, sino que genera que todos los miembros tengan una imagen de negocio verde, a pesar de que no aplique correctamente todas las estrategias propuestas por el WBCSD. Para que una empresa forme parte del

Consejo tiene que ser invitada por el mismo, y una vez que es invitada tendrá que pagar una membresía anual para continuar formado parte del club exclusivo del Consejo. De esta forma se convierte en una coalición de grandes empresas, principalmente de los países industrializados, que tiene una voz colectiva y que ofrece a las empresas un mayor peso en el debate del desarrollo sustentable en cualquier reunión o comité mundial, de lo que podría tener cualquier otra empresa sola.

Otra de las críticas más fuertes que se le ha hecho al WBCSD son las realizadas por dos Organizaciones no Gubernamentales, Greenpeace y Corporate Watch. Greenpeace Internacional publicó el libro de *Greenpeace Book on Greenwash* en 1992, en el que examina al Consejo de Negocios para el Desarrollo Sustentable (BCSD, por sus siglas en inglés) y a diez empresas miembros del Consejo, señalando que las empresas trasnacionales intentaban secuestrar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sustentable (Corporate Watch, 1997). Acusando al BCSD de realizar prácticas de *lavado verde* las cuales son definidas “*como relaciones públicas, cínicas y superficiales destinadas a proyectar una imagen corporativa ambiental falsamente benigna*” (Corporate Watch, 1997: 2).

Por su parte Corporate Watch le otorga el premio de *Greenwash* al WBCSD en 1997, por sus esfuerzos “*para presentarse como el salvador del medio ambiente mundial y la pobreza del mundo*” (Corporate Watch, 1997).

Corporate Watch (1997) señala que todos los programas propuestos por el WBCSD, emprendidos por las empresas de manera voluntaria para lograr el desarrollo sustentable, han sido un velo que cubre lo que realmente hace el Consejo: enfocarse en crear acuerdos que den a las empresas más derechos y cada vez menos restricciones comerciales y de inversión. Indicando que no hay ninguna evidencia de que el aumento de los derechos de las empresas haya conducido hacia el desarrollo sustentable o a la protección del medio ambiente.

Debido a que la eco-eficiencia se ha presentado como el principal instrumento de las empresas hacia el desarrollo sustentable en el siguiente apartado se presenta su definición y principales enfoques que analizan a la eco-eficiencia.

1.3 ¿Qué es la eco-eficiencia?

El término de eco-eficiencia fue primero descrito por Schaltegger y Sturm (1990), quienes explican que, la eco-eficiencia es la relación entre el valor económico y el impacto ambiental generado por la empresa.

Posteriormente el Consejo de Negocios para el Desarrollo Sustentable en su libro *Changing Course* define a una empresa eco-eficiente como “*aquella que crea productos y servicios más útiles, mientras reduce continuamente, su consumo de recursos y la contaminación*” (WBCSD, 2000a: 13). La definición se enfoca al cumplimiento de la Agenda 21 del sector privado.

En la primera reunión del Consejo de Negocios para el Desarrollo Sustentable en 1993, se definió la eco-eficiencia formalmente:

La eco-eficiencia se obtiene por medio del suministro de bienes y servicios a precios competitivos, que satisfagan las necesidades humanas y proporcionen calidad de vida, mientras progresivamente reducen los impactos ecológicos y el consumo de recursos a lo largo de su ciclo de vida, por lo menos hasta un nivel acorde con la capacidad de carga estimada de la tierra (WBCSD, 2000a: 13).

Definición que adoptó el WBCSD, y que ha sido aceptada como un tema estratégico clave para el negocio global en relación con los compromisos y las actividades dirigidas hacia el desarrollo sustentable.

1.3.1. La visión institucional de la eco-eficiencia

Mebratu (1998) señala que existen diferentes perspectivas por las cuales se puede abordar a la sustentabilidad, la visión institucional, la visión académica y la visión ideológica.

- La visión institucional se presenta todas las instituciones que promueven instrumentos y plataformas para fomentar, tanto en los países como en las empresas, la implementación de estrategias para lograr la sustentabilidad (Mebratu, 1998: 505).
- En el enfoque ideológico se presenta a la sustentabilidad desde la perspectiva de corrientes que son conducidas por una teoría de liberación, tales como el eco-feminismo, eco-socialismo y eco-tecnología (Mebratu, 1998: 506-509).
- En el enfoque académico, Mebratu (1998: 509-512) señala tres vertientes, la economía ambiental, la ecología social, que reflejan la respuesta de la comunidad científica al desafío de la crisis ambiental del siglo XX, y la tercera es ecología profunda que señala que los humanos no son más, ni menos importantes que todas las demás cosas en la tierra.

Con base en la clasificación de Mebratu (1998) se analiza la eco-eficiencia desde las perspectivas institucional y académica. Se utilizan únicamente estas dos visiones, debido a que los trabajos de eco-eficiencia se centran principalmente en la visión institucional, mientras que la medición, creación de indicadores y la crítica se generan desde la visión académica.

Visión del WBCSD

El Consejo señala que la eco-eficiencia es una necesidad de los negocios, ya que los clientes, inversionistas, empleados, legislaciones, bancos y compañías de seguros, presionan a las empresas para que disminuyan su impacto ambiental. Debido a esto, las empresas tienen que encontrar un balance entre el crecimiento económico y el progreso social mientras protegen el medio ambiente de futuros daños (WBCSD, 1996).

Para lograr dicho balance, el WBCSD propone la eco-eficiencia como una estrategia que vincula a los negocios con el medio ambiente, creando un puente para que el comportamiento de la empresa se anticipa a las tendencias del mercado y la

regulación ambiental, para así reducir costos, obtener una ventaja competitiva y asegurar la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo (WBCSD, 2006).

Para las empresas el significado de la eco-eficiencia es “*mejorar su desempeño ambiental y ahorrar dinero mediante la reducción del uso de recursos durante todo el proceso*” (WBCSD, 1996: 6). De esta manera, lo que impulsa el Consejo para que adopten estrategias eco-eficientes, es que éstas generan mayor valor para la sociedad y para la empresa que las implementa (De Simone y Propoff, 2000).

De acuerdo con el WBCSD (1996), la eco-eficiencia abarca todo el ciclo de vida del producto desde la materia prima hasta la etapa final del producto; por lo que, la estrategia de eco-eficiencia contiene conceptos como prevención de la contaminación, reducción de la fuente, reducción de basura, minimización de basura y producción limpia. La idea de la eco-eficiencia es reducir la contaminación, a través de un proceso de cambio, oponiéndose al enfoque “*end of pipe*” que venía presentándose en los años de 1970 y 1980.

A diferencia del enfoque “*end of pipe*”, la eco-eficiencia se basa en el concepto de calidad de “cero defectos”, hacia un objetivo de “*cero emisiones de sustancias peligrosas o potencialmente peligrosas de un producto*” (De Simone y Propoff, 2000: 11). A pesar de que no se logren como tal *cero emisiones*, es su objetivo reducirlas paulatinamente, de acuerdo con las guías que proporciona el Consejo vinculadas a los objetivos que define junto con las empresas miembros.

El WBCSD determina cuatro principales objetivos que toda empresa debe de perseguir, para lograr alcanzar la eco-eficiencia (WBCSD, 2000b):

- **Reducir el consumo de recursos;** en el que se pretende minimizar el consumo de energía, materiales, agua y terreno, así como aumentar el reciclado y la durabilidad del producto y cerrar el ciclo de los materiales.
- **Reducir el impacto en la naturaleza;** a través de la minimización de las emisiones, derrames, disposición de residuos y dispersión de sustancias tóxicas, apoyando el uso sustentable de los recursos naturales.

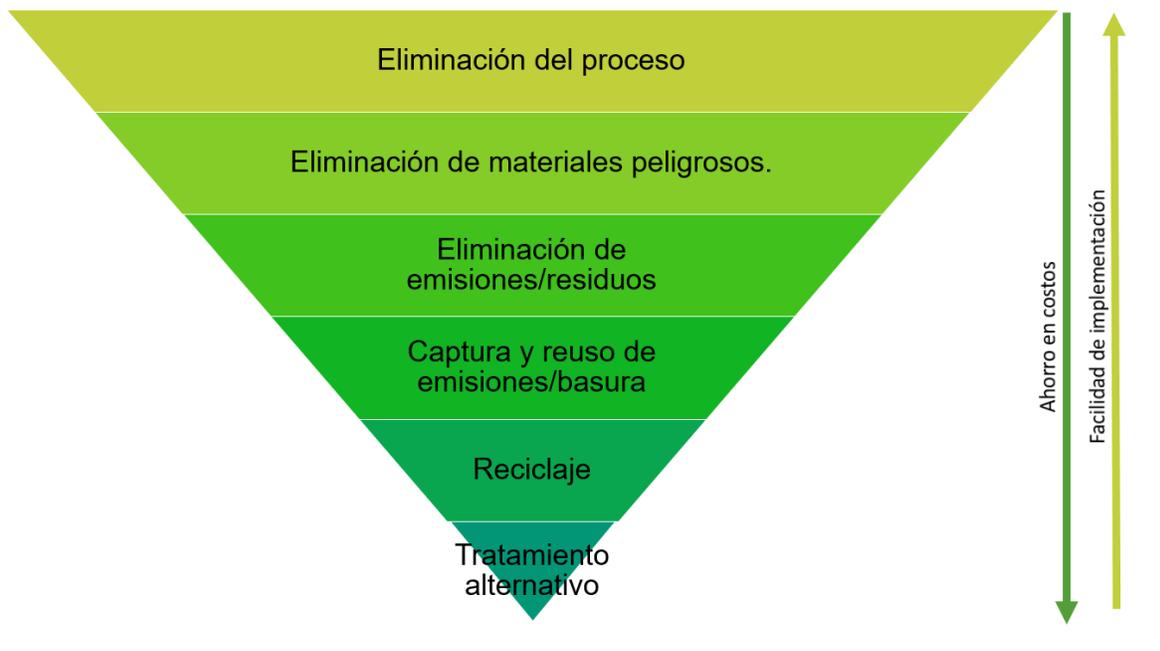
- **Generar más valor con el producto o servicio;** dando mayores beneficios a los usuarios, a través de la funcionalidad, flexibilidad y modularidad del producto o servicio que se está otorgando. Dar servicios adicionales enfocándose en vender la solución a las necesidades de los clientes.
- **Implementación de un sistema de gestión ambiental o sustentable;** este objetivo únicamente algunas empresas lo manejan. Integra a sus sistemas de gestión administrativos aspectos ambientales para impulsar estrategias de eco-eficiencia y así asegurar que todos los riesgos y oportunidades relacionadas con la sustentabilidad sean identificados y manejados eficientemente. No todas las empresas llegan a implementar sistemas de gestión ambiental.

Estos objetivos a su vez tienen siete elementos básicos que ayudan a las empresas a ser más eco-eficientes (WBCSD, 1996: 117):

1. Reducción de intensidad del material utilizado en la producción de bienes y servicios.
2. Reducción de intensidad de la energía utilizada en la producción de bienes y servicios.
3. Reducción en la generación y dispersión de cualquier material tóxico.
4. Apoyo al reciclaje.
5. Maximización del uso sostenible de los recursos naturales.
6. Extensión de la durabilidad de los productos.
7. Aumento del nivel de calidad de bienes y servicios.

Para alcanzar cada uno de los objetivos y elementos de la eco-eficiencia, las empresas tienen que ir evolucionando sus estrategias. En la figura 1.2 se presenta la guía que propone el Consejo para que las estrategias consideren desde esfuerzos pequeños que son fáciles de implementar hasta estrategias que ahorran mucho en costos pero que no son tan fáciles de implementar.

Figura 1.2
Estrategias para la eco-eficiencia



Fuente: WBCSD (2006). *Catalizing Change: a short history of the WBCSD*. World Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza, p. 36.

Las empresas pueden optar por implementar pequeños cambios en sus procesos para disminuir el uso de recursos, como es reducir el volumen o la toxicidad de los residuos o emisiones, denominadas por el Consejo como tratamientos alternativos. O pueden implementar estrategias más elaboradas en las que se busque eliminar el proceso de generación de contaminación, por ejemplo, eliminar etapas de limpieza que si se es eficiente se vuelven innecesarias, si no se tienen procesos que se puedan eliminar, entonces la empresa deberá generar procesos alternativos a través de la innovación (WBCSD, 2006). De esta manera se desplazan los aspectos operativos de la eco-eficiencia hacia la eco-innovación y diseño para el medio ambiente, generando mayores oportunidades para que las empresas avancen en su desempeño ambiental.

Si bien el Consejo impulsa la incorporación de la eco-eficiencia como una filosofía, también reconoce que el implementar únicamente estrategias eco-eficientes no es suficiente, ya que no abarca el tercer elemento clave de la sustentabilidad, que es el aspecto social. Por lo que la eco-eficiencia no es una solución a todos los

problemas en el camino a la sustentabilidad. Sin embargo, el mismo Consejo plantea que las empresas al momento de satisfacer las necesidades humanas, a través de su producto o servicio, se enfocan al mejoramiento de la calidad de vida, lo que ayuda en gran parte a llegar a ser más sustentable mediante el objetivo de generar más valor con el producto o servicio (WBCSD, 2000a).

Para contrarrestar las críticas que se le hace a la eco-eficiencia sobre la falta del componente social, el Consejo remarca, el bien social que generan productos con mayor valor, ya que son productos reutilizables, biodegradables, reciclables y con mayor calidad, que benefician a la sociedad.

Indicadores de la eco-eficiencia

Para lograr los objetivos y cada uno de los elementos que propone el Consejo, la eco-eficiencia tiene que fomentar la innovación de todo el proceso de producción y la adopción de nuevas tecnologías que permitan disminuir el impacto de la empresa al medio ambiente (WBCSD, 2000b). El Consejo propone un mapa de la eco-eficiencia para identificar oportunidades y quiénes serán los involucrados que deberán de aprovecharlas (ver la figura 1.3).

El Consejo propone cuatro pasos para identificar las oportunidades (WBCSD, 2000b: 23):

- **Reingeniería de procesos:** busca dentro de todos los procesos de la empresa disminuir el consumo de recursos, reducir la contaminación y evitar los riesgos ambientales y de seguridad, al tiempo que se ahorran costos.
- **Revalorización de subproductos:** se enfoca en la cooperación con otras empresas, con objeto de obtener cero desperdicios; puesto que los desperdicios de una compañía sirven de materia prima o como parte de un proceso de otra empresa.
- **Rediseño del producto:** parte del supuesto de que los productos diseñados con principios ecológicos son frecuentemente más baratos de producir y de

utilizar, incluyen materiales con menor impacto ambiental y son más fáciles de desarmar para su reciclado. Este paso se enfoca en las áreas de diseño de producto y de suministros.

- **Re-pensar los mercados:** este paso pretende trabajar con los consumidores y otros grupos de partes interesadas con el objetivo de remodelar la demanda y los suministros. Para que el cliente pueda satisfacer sus necesidades sin un consumo intensivo de recursos y energía, porque abre paso a nuevos nichos de mercado.

Figura 1.3
Navegador de oportunidades para la eco-eficiencia



Fuente: WBCSD, (2000: 22). *Measuring Eco-Efficiency: A guide to reporting company performance*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

En el mapa se propone que todas las áreas de la empresa, la cadena de suministros y el uso o consumo del servicio pueden contribuir a incrementar la eco-eficiencia.

Una vez identificadas la oportunidades y puestas en marcha las estrategias eco-eficientes, el Consejo propone una lista de métricas para crear indicadores de eco-eficiencia y proveer información para reportar el progreso y desempeño de las empresas (WBCSD, 2000b, 2006).

Los indicadores pueden ser de aplicación general o específicos de la empresa, los que propone el Consejo son de aplicación general y se enfocan en cinco temas (WBCSD, 2006):

- Energía consumida
- Material usado
- Emisiones de gases de efecto invernadero
- Emisiones de sustancias destructoras del ozono
- Residuos a los vertederos

Para presentar el progreso y desempeño de los indicadores de eco-eficiencia, el Consejo propone una guía de cinco elementos (WBCSD, 2000b, 2006) (ver tabla 1.1):

1. Perfil de la organización, el cual incluye los segmentos de la empresa, el número de empleados, productos y cambios en la estructura de la empresa.
2. Perfil de valor, muestran los indicadores financieros o de la funcionalidad del producto.
3. Perfil ambiental, incluye indicadores de aplicación general y específicos de cada empresa, todos los indicadores que se presentan son de recursos utilizados y generación de residuos y emisiones.
4. Indicadores relativos a la eco-eficiencia, que pueden ser débiles (el denominador se basa en la producción), o fuertes (el denominador se basa en las ventas) en los cuales se tiene una mayor valorización de la eco-eficiencia.
5. Información metodológica, en la cual se describe el método usado para seleccionar los indicadores.

Tabla 1.1
Indicadores de los reportes corporativos de eco-eficiencia

Perfil de la organización	Suministra el contexto para la información de eco-eficiencia
Perfil de valor	Ventas netas Productos vendidos Margen bruto
Perfil ambiental	Universales <ul style="list-style-type: none"> • Energía consumida • Material usado • Emisiones de gases de efecto invernadero • Emisiones de sustancias destructoras del ozono • Residuos a los vertederos Específicos del negocio
Indicadores de eco-eficiencia	Débiles <ul style="list-style-type: none"> • Productos vendidos/Energía consumida • Productos vendidos/Material consumido • Productos vendidos/Emisiones de gases efecto invernadero Fuertes <ul style="list-style-type: none"> • Ventas netas/Energía consumida • Ventas netas/Materiales consumidos • Ventas netas/Emisiones de gases efecto invernadero
Información metodológica	Método para seleccionar indicadores, metodología de recolección de información y limitaciones.

Fuente: Elaborado con base en WBCSD (2000b). *Measuring Eco-Efficiency: A guide to reporting company performance*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza; WBCSD (2006). *Catalizing Change: a short history of the WBCSD*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza; Côté, R., Booth, A. y Louis, B. (2006). Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14(6), pp. 542-550.

El WBCSD (2006) señala que los indicadores de eco-eficiencia se deben presentar en un reporte de sustentabilidad de la compañía. Sin embargo, Erkkö, Melanen y Mickwitz (2005) y Müller y Sturm (2001) señalan que los indicadores de eco-eficiencia comienzan informándose en los reportes de sustentabilidad para después publicarse en los reportes financieros de la compañía. Debido a que en los reportes financieros podría tenerse una mayor integridad, exactitud, claridad, neutralidad, puntualidad, capacidad de auditoría, transparencia y relevancia de la información.

Visión de las instituciones internacionales sobre la eco-eficiencia

A partir de que el WBCSD implementara la eco-eficiencia en sus discursos y proyectos, otras instituciones internacionales también comenzaron a implementarla

y a definirla de acuerdo a sus objetivos y con la noción básica de producir más con menos.

En la tabla 1.2 se muestran algunas de las definiciones que plantean las instituciones para la eco-eficiencia, entre las que destaca la propuesta por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (1998), la cual define a la eco-eficiencia como una proporción de salidas (productos producidos en una empresa, sector o economía) y entradas (la suma de las presiones ambientales generadas por una firma, sector o economía). La medición de la eco-eficiencia depende de identificar los factores de entradas y salidas.

La visión de la OCDE se centra más en la innovación como factor clave para la mejora de la eco-eficiencia, la cual es estimulada por la fuerte competencia, los incentivos regulatorios, precios altos de los factores y un proceso efectivo de difusión de mejores prácticas (OCDE, 1998).

Asimismo, la OCDE acelera los esfuerzos para que se implementen impuestos por el uso excesivo de recursos naturales y disminuir el uso de los subsidios sobre los mismos, ya que éstos son dañinos para el ambiente; y así establecer normas comerciales y de inversión enfocadas al medio ambiente (OCDE, 1998). Los gobiernos juegan un papel muy importante para el logro de la eco-eficiencia en las empresas.

La OCDE comparte la visión de la eco-eficiencia del Consejo, utiliza los mismos criterios de eco-eficiencia que determina el Consejo, así como los ejemplos de empresas que la han implementado y que han logrado reducir sustancialmente el uso de los recursos así como su impacto ambiental.

En los estudios que realiza la OCDE (2002), como parte del programa permanente de análisis de los avances de los países miembros en materia de eco-eficiencia, recalca que las políticas de medio ambiente que se llevaron a cabo durante la década de 1990 han contribuido a mejorar el estado del medio ambiente en los países miembros, sin generar problemas económicos.

Por su parte la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2003 citado por Leal, 2005) señala que la eco-eficiencia tiene el principal objetivo de buscar el incremento de la productividad de los recursos naturales, así como reducir los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida de los productos. Y que la diferencia entre la eco-eficiencia y la producción limpia es la importancia que le da el primero tanto a los recursos naturales como al desarrollo económico, destacando tres dimensiones (Leal, 2005: 11):

- Uso de los recursos naturales, sea agua, materias primas o energía.
- Provisión de servicios ecológicos, en particular para contribuir a la vida del ecosistema y absorber los desechos de la actividad económica.
- La protección de la diversidad biológica.

Debido a sus dimensiones, la eco-eficiencia aparece como una filosofía gerencial que conduce a la sostenibilidad. Un concepto acuñado por el propio mundo de los negocios, por lo que rápidamente se ha popularizado entre los ejecutivos en todo el mundo (Leal, 2005).

La Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA, por sus siglas en inglés) señala que la eco-eficiencia se centra en desvincular el uso de los recursos naturales de la actividad económica necesaria para satisfacer las necesidades humanas, las cuales se deben limitar a la capacidad de carga de la naturaleza. Destacando que la eco-eficiencia es una medida relativa que ayuda a disminuir los impactos ambientales de la actividad económica pero que no es suficiente para lograr la sustentabilidad, ya que no reduce de manera absoluta las presiones ambientales que se generan (Roemero, 2002).

Tabla 1.2
Definiciones de la eco-eficiencia de las instituciones

Institución	Definición	Elementos claves
Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)	<i>“La eficiencia con la cual se usan los recursos ecológicos para satisfacer las necesidades humanas” (1998: 7)</i>	<i>Salida (productos producidos)</i> <hr/> <i>Entradas (suma de las presiones ambientales generadas)</i>
Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA)	<i>“Es la relación entre la actividad económica y los efectos negativos que produce el medio ambiente, [...] más bienestar de menos naturaleza” (Romero, 2002: 6)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad económica. • Efectos negativos al medio ambiente.
Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)	<i>“[...] es el proceso que busca reducir la sobre explotación de los recursos naturales y disminuir la contaminación asociada a los procesos productivos” (Leal, 2006: 23)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso. • Reducción de la explotación de recursos naturales y contaminantes.
Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)	<i>“Una aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y servicios para reducir los riesgos relevantes a los humanos y al medio ambiente” (Leal, 2005: 23).</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso. • Producción más limpia. • Competitividad. • Ciclo de vida del producto.
International Organization for Standardization (ISO) 14045	<i>“Eco-eficiencia es una herramienta de gestión cuantitativa que permite la consideración de los impactos ambientales del ciclo de vida de un sistema de un producto junto con su valor a un sistema de productos de las partes interesadas” (ISO 14045: 2012, 2012: 3)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión cuantitativa • Impactos ambientales del ciclo de vida. • Valor.

Fuente: Elaboración propia con base en ISO 14045:2012 (2012). *Norma Internacional ISO 14045:2012, Gestión ambiental: evaluación de la eco-eficiencia del sistema del producto- principios, requisitos y directrices*. Recuperado de <<http://www.nueva-iso-14001.com/2014/04/iso-140452012-gestion-ambiental-de-la-eco-eficiencia-de-sistemas-productivos/>>, (4 de enero 2017); Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (1998). *Eco-efficiency*. OECD Publications, Paris, Francia; Leal, J. (2005). *Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias*. Comisión Económica para América Latina, Santiago de Chile; Romero, V. L. (2002). *Environmental signals 2002. Benchmarking the millenium*. Agencia Europea de Medio Ambiente, Luxemburgo.

Asimismo, determina que el monitoreo de la eco-eficiencia en el nivel macro, es necesario en orden de alcanzar la sustentabilidad. La EEA comenzó a emitir reportes del monitoreo de eco-eficiencia de diferentes sectores a partir de 1999. En el reporte del 2002, la EEA concluye que la implementación de la eco-eficiencia tiende a mejorar en las diferentes industrias; sin embargo, los avances son relativamente lentos y cuando se observa una mejoría, ésta queda neutralizada por el crecimiento del sector (Romero, 2002). Razón por la cual la eco-eficiencia no es una solución para abatir los impactos ambientales que producen las empresas.

Por otra parte, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) hace una comparación entre la eco-eficiencia y la producción limpia. Identificado a la eco-eficiencia como una estrategia más amplia que abarca temas de prevención de la contaminación, mejoras tecnológicas, productividad, competitividad, ciclo de vida del producto y creación de valor. De esta manera la eco-eficiencia abarca a la producción limpia dentro de sus estrategias (Lee, 2005).

Al igual que la OCDE, el PNUMA tiene la misma visión del Consejo, dirigida a que la eco-eficiencia sea la solución a todos los problemas ambientales. Inclusive, las tres instituciones generan documentos conjunto de lo que es la eco-eficiencia, señalando que los resultados de la implementación de dicha estrategia han dado grandes frutos no solo para las empresas sino también para los países. Caso contrario de la EEA, ya que si bien reconoce que es una buena estrategia, no es suficiente puesto que los indicadores de impacto ambiental que monitorea no se están reduciendo como deberían.

1.3.3 La visión de la academia sobre la eco-eficiencia

De la misma forma que las instituciones, los académicos han analizado a la eco-eficiencia desde su introducción en 1992, presentándose múltiples estudios sobre el análisis de la eco-eficiencia que han dado como resultado, diferentes definiciones de la misma (Huppés e Ishikawa, 2007). Sin embargo, existe un consenso sobre las limitaciones que tiene la eco-eficiencia para lograr la sustentabilidad, ya que únicamente toma en cuenta aspectos económicos y ambientales, y que a pesar de

estas limitaciones es la única herramienta en la que se han centrado las empresas para lograr la sustentabilidad (Figge y Hahn, 2004).

Conforme al análisis de la revisión de la literatura se observan dos enfoques para abordar el tema de la eco-eficiencia, el primero se orienta al estudio de la eco-eficiencia como una estrategia independiente para conseguir la disminución de los impactos ambientales que se generan en consecuencia de la actividad de la empresa; el segundo enfoque, explica a la eco-eficiencia como parte de las estrategias que se deben hacer para lograr la sustentabilidad. En ambos enfoques se concluye que la eco-eficiencia no logra alcanzar ni la sustentabilidad ni la completa mitigación de los impactos ambientales de la empresa.

- **Primer enfoque: estudio de la eco-eficiencia como estrategia independiente**

En la tabla 1.3 se presentan algunas de las definiciones de los autores más relevantes en el análisis de la eco-eficiencia. Los primeros autores que describen la eco-eficiencia fueron Schaltegger y Sturm (1990) quienes la visualizan como una relación entre el valor agregado y el impacto ambiental que es generado por la empresa.

Los pioneros en describir la eco-eficiencia señalan que su principal objetivo es crear más con menos, manteniendo el mismo nivel de bienestar, mientras que se reducen los impactos ambientales. La finalidad de la eco-eficiencia es lograr reducciones significativas en el uso total de recursos naturales, partiendo de la idea de que entre más recursos utilice una economía mayor contaminación y residuos generará. El papel del desarrollo de tecnología es importante en la disminución de esta generación de contaminación y residuos (Schaltegger y Sturm, 1990).

Por su parte Hupples e Ishikawa (2005a; 2005b; 2007) han analizado la eco-eficiencia desde que surge como una estrategia para lograr la sustentabilidad. Señalan que no existe un método acordado con las herramientas adecuadas para el análisis de la eco-eficiencia, el cual debería de ser dinámico y que ayude a

mejorar los debates sobre la eficacia del futuro. En este sentido, la eco-eficiencia es una extensión de la ecología industrial, ayudando a tomar decisiones técnicas, económicas y en última instancia políticas.

Los autores señalan que la eco-eficiencia es relevante no por las consideraciones generales de los costos, o por la reducción de la riqueza que resulta de la ineficiencia, sino porque es un medio para una mayor calidad ambiental a nivel micro. Además señala que la relación de ganar-ganar resulta limitada, puesto que hasta que punto es ganar para el medio ambiente o para la sociedad.

Por lo tanto la eco-eficiencia se utiliza para la toma de decisiones en el que se intenta buscar alternativas que avancen a un mayor bienestar ambiental y económico. Dentro de la toma de decisiones los aspectos ambientales pueden ser negociados contra los no ambientales mediante compensaciones para poder expresar los aspectos ambientales en términos monetarios. De esta manera la posición de la eco-eficiencia no es lograr un equilibrio entre beneficios económicos y ambientales sino buscar mejoras ambientales a un precio más bajo que las opciones más caras. Se trata de un claro requisito de optimización, que puede satisfacerse comparando una opción específica con las consecuencias ambientales y los costos de las mejoras para las opciones ya implementadas (Huppes e Ishikawa, 2007).

Después de analizar la eco-eficiencia Huppes e Ishikawa (2005c) determinan que se puede mejorar la eco-eficiencia en el nivel microeconómico, e incluso se puede ir perfeccionando con el tiempo. Sin embargo, con el continuo crecimiento económico estas compensaciones que se dan en la eco-eficiencia no son suficiente para llegar a la calidad ambiental deseada o requerida, ya que las mejoras de eco-eficiencia en el nivel micro son cuantitativamente insuficientes para alcanzar la meta de calidad ambiental en el nivel macro. Se tiene que las estrategias de las empresas deben evolucionar de la eco-eficiencia a la eco-efectividad.

Después de analizar la eco-eficiencia Huppes e Ishikawa (2005c) determinan que se puede mejorar la eco-eficiencia en el nivel microeconómico, e incluso se puede

ir perfeccionando con el tiempo. Sin embargo, la eco-eficiencia nunca podrá llegar a la calidad ambiental deseada o requerida, ya que las mejoras de eco-eficiencia en el nivel micro son cuantitativamente insuficientes para alcanzar la meta de calidad ambiental en el nivel macro. Se tiene que las estrategias de las empresas deben evolucionar de la eco-eficiencia a la eco-efectividad.

Hoffrén y Apajalahti (2009) señala que la base teórica de la eco-eficiencia proviene de la economía ecológica, y de la idea de una economía que genere rendimientos. La eco-eficiencia busca combinar la eficiencia económica y material de la producción con los objetivos del desarrollo sustentable, mediante la reducción del uso de los materiales, con el fin de minimizar los impactos ambientales adversos y producir un grado relativamente mayor de bienestar económico, el cual se debe de ir distribuyendo de manera equitativa (ya que se reducen costos para la empresa y se generan precios competitivos para los consumidores). De este modo, la eco-eficiencia es un principio operativo que conduce hacia el desarrollo sustentable.

En la gráfica 1.1 se presenta la adaptación que realiza Hoffrén y Apajalah (2009) de lo que proponen Schaltegger y Burritt (2000) y Helminen (2000). En la gráfica, las flechas A, B y C describen los caminos disponibles que tiene la sociedad al mejorar el desarrollo de la eficiencia económica o ambiental por arriba de la curva de eco-eficiencia. Se avanza al desarrollo sustentable, únicamente cuando hay mejoramiento en la eficiencia económica y ambiental, por arriba de la curva de la eco-eficiencia (flecha B); cuando se sigue este camino, el crecimiento económico es explícitamente cualitativo, obteniendo más de menos e incrementando el bienestar mientras que reduce el impacto ambiental.

Caso contrario es el camino de la flecha A, que únicamente persigue la eficiencia económica, produciendo una pérdida de la eficiencia del medio ambiente; y si únicamente se persigue esta última eficiencia, se produce una pérdida de eficiencia económica (flecha C).

Tabla 1.3
Definiciones de la eco-eficiencia de los académicos

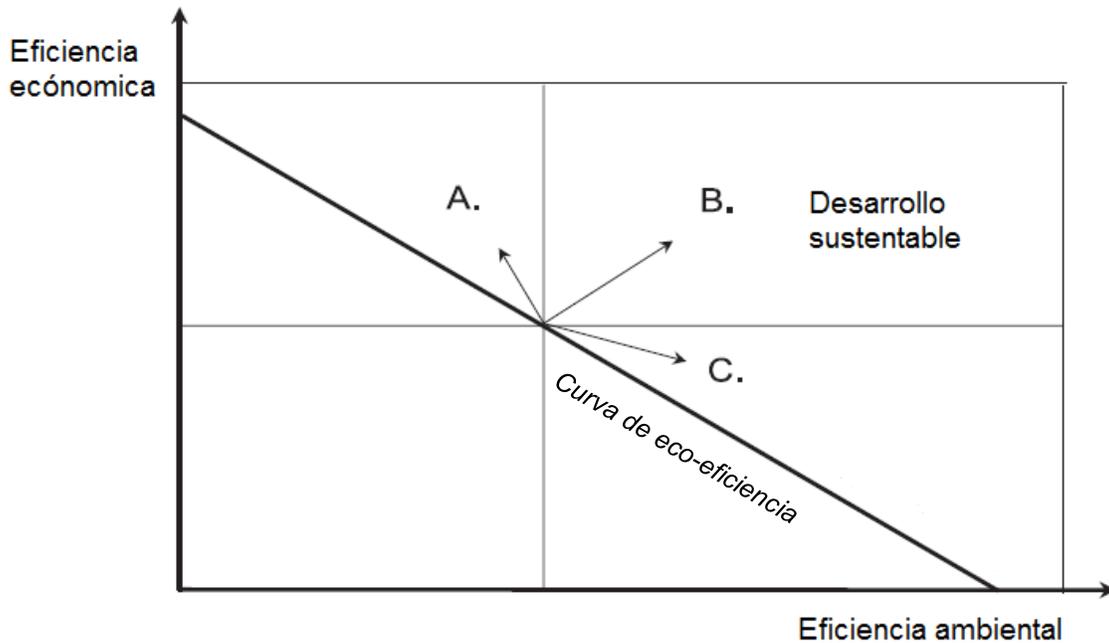
Autor (es)	Definición	Elementos de la eco-eficiencia
Schaltegger y Sturm (1990: 279)	<i>“Es la relación de una medida económica [monetaria] a una medida física [ecológica]”.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Relación • Medida económica • Medida física
Huppés e Ishikawa (2005a: 44)	<i>“[...] es un instrumento de análisis de la sustentabilidad que indica una relación empírica en las actividades económicas entre el costo o el valor ambiental y el impacto ambiental”.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ratio • Impacto ambiental • Costo económico o valor
Figge y Hahn (2004: 175)	<i>“El grado en que una empresa utiliza recursos del medio ambiente en relación con su actividad económica”.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de recursos del medioambiente. • Actividad económica
Hoffrén y Apajalahti (2009: 233)	<i>“la eco-eficiencia es la reducción del uso de los recursos naturales con el fin de aliviar las consecuencias ambientales de la sobrecarga del medio ambiente”.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del uso de recursos naturales. • Alivio de las consecuencias ambientales.
Kicherer, Schaltegger, Tschochohei y Ferreira (2007: 538)	<i>“la eco-eficiencia es una eficiencia ecológica y económica que mide el impacto medioambiental causado por unidad monetaria ganada”</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia ecológica y económica. • Impacto ambiental • Unidad monetaria

Fuente: elaborado con base en Schaltegger, S. y Sturm, A. (1990). *Ökologische Rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten. Management Instrumenten die Unternehmung*, Vol. 23, pp. 273-290; Huppés, G. e Ishikawa, M. (2005a). *Eco-efficiency and Its Terminology. Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9(4), pp. 43-46; Figge, F. y Hahn, T. (2004). *Sustainable value added—measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. Ecological economics*, Vol. 48(2), pp. 173-187; Hoffrén, J. y Apajalahti, E. L. (2009). *Emergent eco-efficiency paradigm in corporate environment management. Sustainable Development*, Vol. 17(4), pp. 233-243; Kicherer, A., Schaltegger, S., Tschochohei, H. y Ferreira, B. (2007). *Eco-efficiency. Combining life cycle assessment and life cycle cost via normalization. International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 12(7), pp. 537-543.

De Simone y Popoff (2000) indican que la eco-eficiencia fue creada por las empresas para los negocios. De tal manera que abarque tanto los recursos económicos como ambientales con el fin de optimizar el uso de ambos, hacer más con menos. Esto se logra con la reducción de los residuos y de la contaminación, usando menos energía y recursos para la materia prima (beneficios para el medio ambiente), y al hacer un mejor uso de los insumos se convierte en un beneficio

económico para la empresa. Ambos beneficios son impulsados al momento en que los países implementan políticas para que el uso de los recursos y el contaminar sean más caro.

Gráfica 1.1
Eco-eficiencia como principio operativo del desarrollo sustentable



Fuente: Hoffrén, J., y Apajalahti, E. L. (2009: 236). Emergent eco-efficiency paradigm in corporate environment management. *Sustainable Development*, Vol. 17(4), pp. 233-243.

Al potenciarse los beneficios con las políticas públicas, la eco-eficiencia se centra en la creación de valor agregado, al mejorar el producto que se vende al cliente y mantiene o reduce el impacto ambiental al mismo tiempo. De manera que, la eco-eficiencia será un elemento importante para alinear cualquier negocio con las necesidades sociales a largo plazo (DeSimone y Popoff, 2000). La visión de estos autores concuerda con la del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable.

- **Segundo enfoque: estudio de la eco-eficiencia como parte de las estrategias hacia la sustentabilidad**

Callens y Tyteca (1999); Dyllick y Hockerts (2002); Hart y Milstein (2003); Figge y Hahn (2004); Braungart, McDonough, y Bollinger (2007); Glavič y Lukman (2007);

Abukhader (2008) y Korhonen y Seager (2008), señalan que la eco-eficiencia es parte de las medidas corporativas que contribuyen a la sustentabilidad y la ubican siempre en la base de las estrategias que las empresas deben comenzar a realizar para alcanzar la sustentabilidad.

Hart y Milstein (2003) plantean que para que la empresa genere valor sustentable se tienen cuatro conductores o estrategias básicas: prevención de la contaminación, administración del producto, tecnología limpia y visión sustentable. Cada uno de los conductores debería avanzar al siguiente nivel para lograr la sustentabilidad.

- En el conductor de prevención de la contaminación se presenta el principio de la eco-eficiencia, en el cual se busca la minimización de los efluentes, emisiones y residuos de las operaciones de las empresas. Lo que se traduce en menores costos de las materias primas y eliminación de los desechos, aumentando la productividad y la eficiencia generando una ventaja de costos en relación con los competidores.
- En la administración del producto se busca minimizar los costos del ciclo de vida del producto, buscando la integración de las partes interesadas para que la empresa pueda lograr adelantarse a los competidores, a través del desarrollo de nuevos productos con menores costos de ciclo de vida y generando mayor confianza externa en las actividades de la empresa.
- La tecnología limpia busca la innovación, la creación de tecnologías que no únicamente reduzcan los impactos negativos de las operaciones sino que resuelvan los problemas ambientales mediante la adquisición de nuevas capacidades que aborden directamente el desafío de la sustentabilidad.
- La visión sustentable se basa en la creación de una hoja de ruta compartida para satisfacer las necesidades no satisfechas, generando nuevos mercados.

De esta forma, Hart y Milstein (2003) ubican a la eco-eficiencia como el conductor básico por el cual las empresas pueden comenzar a generar estrategias hacia la

sustentabilidad; sin embargo, si no evoluciona hacia los demás conductores, no se logrará la sustentabilidad.

Glavič y Lukman (2007) proponen una clasificación de los diferentes términos usados para el tema de la sustentabilidad. Señalan que para alcanzar la sustentabilidad se tienen cuatro niveles de estrategias (principios, enfoques, subsistemas y sistemas), según sea la estrategia más robusta se alcanza un nivel más alto. Los autores identifican a la eco-eficiencia en el nivel más bajo, que son los principios, ubicado del lado ambiental y del económico. Sugieren que la eco-eficiencia es la base de las acciones implementadas por las empresas para alcanzar la sustentabilidad.

Por otro lado, Callens y Tyteca (1999) y Figge y Hahn (2004) dividen las medidas corporativas de la sustentabilidad en absolutas y relativas. Las medidas absolutas se enfocan en que la empresa contribuya a la sustentabilidad cuando sus beneficios exceden la suma de sus costos internos y externos, dando como resultado un *valor agregado neto* o un *valor agregado verde*. Las medidas relativas expresan la contribución a la sustentabilidad como un beneficio por unidad de impacto ambiental o social, en este tipo de medidas se clasifica a la eco-eficiencia.

Figge y Hahn (2004) definen dos tipos de usos de la eco-eficiencia; el primero se enfoca en lo que propone el WBCSD, con su principal promotor Schmideiny (1992), remarcando que la eco-eficiencia máxima se logra con la reducción o incluso la minimización de los impactos ambientales. Mientras que la segunda idea de uso de la eco-eficiencia describe la relación de creación de valor por impacto ambiental añadido, como lo describen Schaltegger y Sturm (1990). Donde la creación de valor es el beneficio que se obtiene después de restarle los costos de los bienes y servicios comprados (utilidad operacional), y el impacto ambiental añadido la suma de todos los flujos de energía y materiales ponderados por su nocividad relativa al medio ambiente que son utilizados por la actividad económica de la empresa (Figge y Hahn, 2004: 175).

Por otra parte, Dyllick y Hockerts (2002) analizan a la sustentabilidad corporativa con base en la triple cuenta de resultados (capital natural, capital económico y capital social). Utilizan su marco de análisis para estudiar la propuesta del WBCSD de la eco-eficiencia para alcanzar la sustentabilidad, Dyllick y Hockerts (2002) encuentran que es una herramienta valiosa, pero que únicamente conduce a mejoras relativas, advierte que la sustentabilidad requiere mejoras absolutas. Además, señalan que desde el punto de vista ecológico, la cuestión principal no es la eco-eficiencia, sino la eco-eficacia. Mencionan que la eco-eficiencia produce un efecto rebote, es decir, resuelve el problema inmediato, de corto plazo, más no a lo largo de todo el proceso. Por ejemplo, el reducir el consumo de gasolina de los automóviles genera menores costos para los conductores; no obstante, aumenta que el automovilista use el carro, por lo que no genera una disminución absoluta de emisiones de gases contaminantes. Así que para alcanzar la sustentabilidad las empresas deben enfocarse en fomentar la eco-efectividad en lugar de la eco-eficiencia.

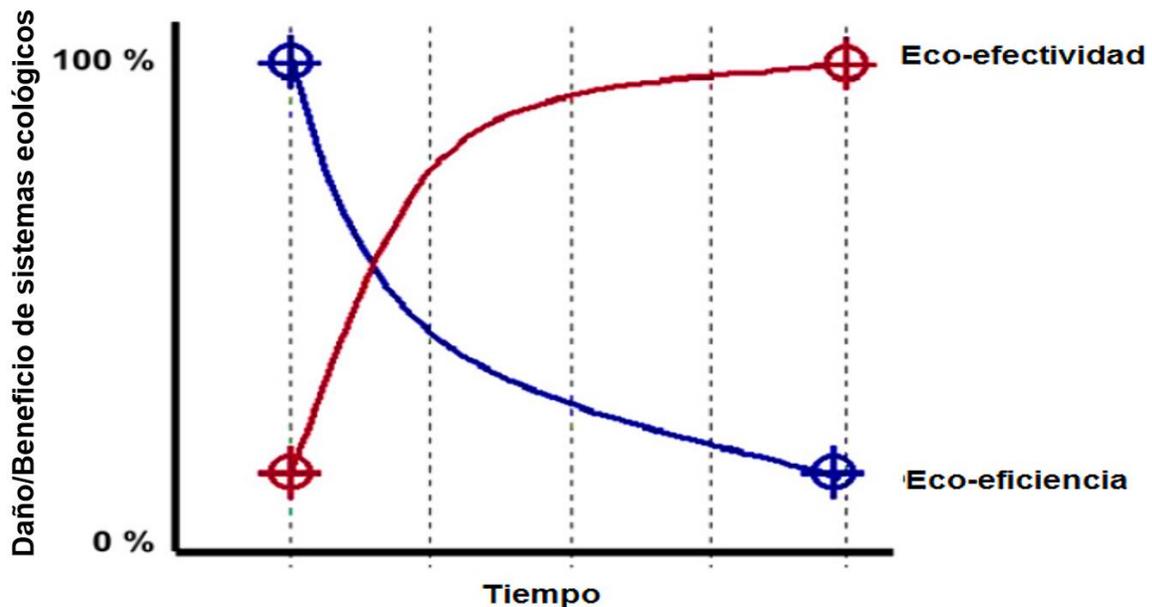
La eco-eficacia es propuesta como una medida que refleja el grado absoluto del desempeño ambiental, social y económico de una empresa, ya que la eco-eficiencia no aporta evidencia de la eficacia, únicamente da información de las consecuencias no deseadas (como los impactos ambientales) y del final deseado (desempeño económico). Una mayor eco-eficiencia no garantiza una mejora de la eco-eficacia, ya que una mejor eco-eficiencia puede conducir a un crecimiento y por lo tanto un mayor uso de los recursos ambientales, de la misma forma los recursos ambientales que no se utilizan debido a una mejor eco-eficiencia los puede ocupar otra empresa que es menos eco-eficiente (Figge y Hahn, 2004).

Por otro lado, Braungart, McDonough, y Bollinger (2007) señalan que la eco-eficiencia comienza con la asunción de un flujo unidireccional y lineal de materiales a través de sistemas industriales en el que se extraen materias primas del ambiente, se transforman en productos y finalmente se eliminan. En este sistema la eco-eficiencia busca únicamente minimizar el volumen, la velocidad y la toxicidad del sistema de flujo de materiales, sin ser capaz de alterar su progresión lineal. Es por

esto que, en el corto plazo las estrategias eco-eficiencia tienen el potencial para generar reducciones tangibles en el impacto ecológico de las actividades de un negocio y una oportunidad para reducir los costos. Sin embargo, a largo plazo son insuficientes para alcanzar objetivos económicos y ambientales.

Es por esto que, Braungart, *et al.* (2007) proponen a la eco-eficacia como posible estrategia a aplicar, la cual a diferencia de la eco-eficiencia, busca eliminar los problemas fundamentales que vienen con la actividad industrial, por lo que se mantiene a través del tiempo (ver gráfica 1.2).

Gráfica 1.2
Eco-eficiencia y eco-efectividad



Fuente: Braungart, M., McDonough, W. y Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions—a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of cleaner production*, Vol. 15(13), pp. 1337-1348.

Por su parte, Korhonen y Seager (2008) señalan que en materia de sustentabilidad las estrategias de los negocios están dominadas por un enfoque de eco-eficiencia, en la que buscan minimizar el uso de recursos naturales y a la vez disminuir los costos, abarcando únicamente la prevención de la contaminación y en algunas ocasiones la mejorar la tecnología. Además, señalan que se han generado tecnologías para mitigar determinados problemas ambientales, las cuales han sido

eficientes en su momento; sin embargo, no se ha medido el riesgo de estas tecnologías al incorporar la sustentabilidad. Como resultado se tiene que la eco-eficiencia en realidad podría aumentar el riesgo de la vulnerabilidad del sistema ante la crisis ambiental y la insustentabilidad.

De lo anterior se observa un consenso sobre las principales limitaciones de la eco-eficiencia:

- En primer lugar, se encuentra la falta de aspectos sociales; como la igualdad, justicia social, ética, entre otros (Figge y Hahn, 2004; Braungart, *et al.*, 2007; Korhonen y Seager, 2008; Hoffrén y Apajalahti, 2009).
- En segundo lugar, la eco-eficiencia es una medida relativa que da una solución parcial a los problemas ambientales, puesto que una mayor eco-eficiencia no garantiza la disponibilidad de los recursos naturales en un futuro, la capacidad de absorción del impacto ambiental que genera la actividad de la empresa, ni minimiza las cantidades absolutas de los recursos naturales (Dyllick y Hockerts, 2002; Figge y Hahn, 2004; Braungart, *et al.*, 2007; Abukhader, 2008; Korhonen y Seager, 2008; Hoffrén y Apajalahti, 2009).
- En tercer lugar, el aumento de la eco-eficiencia en un recurso conduce a un mayor uso de ese recurso en lugar de una reducción, debido a que los recursos que se dejaron de utilizar por el aumento de la eco-eficiencia serán utilizados para otros fines (Dyllick y Hockerts, 2002; Figge y Hahn, 2004; Braungart, McDonough, y Bollinger, 2007; Abukhader, 2008; Korhonen y Seager, 2008 y Hoffrén y Apajalahti, 2009).

Debido a estas limitaciones existe la propuesta de que la eco-eficiencia debe trascender de los aspectos internos, de la compañía hacia la eco-eficacia, tomando en cuenta los aspectos externos de toda la cadena de suministros. Al trascender se acercan cada vez más a la sustentabilidad (Dyllick y Hockerts, 2002; Hart y Milstein,

2003; Figge y Hahn, 2004; Braungart, *et al.* 2007; Abukhader, 2008; Korhonen y Seager, 2008).

La eco-eficiencia es una iniciativa de las empresas para llegar a ser sustentable, sin embargo, no es suficiente debido a sus limitaciones. Las estrategias de las empresas no deberían de considerar a la eco-eficiencia como la única solución a sus altos impactos ambientales, sino que tienen que evolucionar y empezar a implementar estrategias que vayan más allá de la parte ambiental y económica, tomando en cuenta a toda la cadena de valor de la que forma parte la empresa para generar estrategias que alcancen la eco-eficacia y estén un nivel más cerca de la sustentabilidad.

Es importante destacar que Hart (1995) y Glavič y Lukman (2007) proponen a la eco-eficiencia como la base para iniciar estrategias hacia la sustentabilidad. Caso contrario de lo que propone el Consejo, puesto que ubica a la eco-eficiencia como el penúltimo escalón para llegar a la sustentabilidad, únicamente superado por la responsabilidad social empresarial (WBCSD, 2006).

Conductores internos y externos de la eco-eficiencia

Côté, Booth, y Louis (2006) señalan que existen diferentes fuerzas que conducen a que las empresas adopten estrategias eco-eficientes. Las dividen en internas y externas; las primeras se enfocan en las ventajas que implican el rendimiento de la empresa, y las segundas son presiones que tienen las empresas para que adopten las estrategias eco-eficientes (ver tabla 1.4).

El principal conductor interno de las empresas para implementar estrategias eco-eficientes es la reducción de costos; mismo que señala el WBCSD para fomentar la eco-eficiencia en las empresas. Otros conductores internos que menciona el Consejo son: incremento de calidad en el producto/servicio, aumento en la motivación de los empleados, manejo de riesgos y mantenimiento y crecimiento del mercado.

Tabla 1.4
Conductores internos y externos de la eco-eficiencia

Conductores internos	Conductores externos
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de los costos • Incremento de la calidad del producto o servicio • Innovación • Incremento en la motivación de los empleados • Gestión de riesgos y pasivos • Mantener o aumentar la cuota del mercado 	<ul style="list-style-type: none"> • El cliente/consumidor demanda productos más ecológicos • Accionistas • Acceso a capitales • Competencia • Regulaciones gubernamentales • Presión pública • Presiones globales (cambio climático)

Fuente: Côté, R., Booth, A. y Louis, B. (2006: 544). Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14(6), pp. 542-550.

En cuanto a los conductores externos, el principal es la regulación gubernamental, ya que la mayoría de las empresas adoptan estrategias eco-eficientes, no de forma voluntaria como lo propone el Consejo, sino porque la regulación lo rige (Côté, *et al.*, 2006). Los accionistas son el conductor externo con menor ocurrencia, pocas veces le exigen a la empresa que sea eco-eficiente, mientras existan mayores utilidades, son pocos los accionistas que buscan generar inversiones verdes.

Los conductores internos y externos motivan a las empresas a implementar estrategias eco-eficientes para mitigar sus impactos negativos hacia el medio ambiente; sin embargo, necesitan de indicadores para conocer si las estrategias implementadas están logrando un uso eficiente tanto de sus recursos naturales como de sus recursos económicos, es por esto que en el siguiente capítulo se menciona diferentes tipos de metodologías utilizadas para medir la eco-eficiencia.

Capítulo 2 Metodologías de análisis de la eco-eficiencia

Introducción

La eco-eficiencia es una herramienta que ayuda a evaluar si las estrategias ambientales que están implementado las empresas son eficientes, tanto para reducir el impacto ambiental generado por su actividad como para aumentar los rendimientos de la misma, minimizando costos. De modo que es importante la implementación de metodologías que ayuden a evaluar la eco-eficiencia de las empresas.

Las metodologías de medición de la eco-eficiencia comenzaron su desarrollo desde 1990 cuando Schaltegger y Sturm (1990) introducen el concepto, desde entonces se han desarrollado metodologías con mayores indicadores para cada tipo de sector e industria, tomando en cuenta sus principales impactos ambientales.

El objetivo del presente capítulo es conocer las principales metodologías propuestas para medir la eco-eficiencia de acuerdo a la clasificación que plantean Huppés e Ishikawa (2005c), enfocadas en puntuaciones económicas, ambientales o combinadas.

2.1 Metodologías de medición de la eco-eficiencia

Huppés e Ishikawa (2005c) señalan que hacen falta métodos y procesos bien definidos para medir los aspectos ambientales y económicos de una empresa, ya que sin ellos es difícil decir lo que está bien, muy bien o no está bien.

Para medir la eco-eficiencia, Huppés e Ishikawa (2005a) la dividen en dos variantes equivalentes: la primera es la relación de valor con impacto ambiental, que es la propuesta del Consejo, en la que se busca maximizar el valor económico y minimizar el impacto ambiental, la segunda, la relación de impacto ambiental con el valor, que es la propuesta por las Naciones Unidas, en la que se busca minimizar el impacto ambiental maximizando el valor económico.

Cuando se busca generar el máximo valor económico con el mínimo impacto ambiental, existe un análisis dedicado a mejoras ambientales, parte de la creación de valor hacia la reducción de costos para mejorar el ambiente. Mientras que si se busca minimizar el impacto ambiental para crear mayor valor, se desarrolla un análisis dedicado a la creación de valor (Huppés e Ishikawa, 2005a).

Si a estas dos variantes se les agregan opciones de inversión, se obtiene cuatro tipos de eco-eficiencia, divididos en dos grupos (Huppés e Ishikawa, 2005a: 45):

- Mejora ambiental primaria
 - Productividad del medio ambiente; que es el valor de la producción por unidad de impacto ambiental, se utiliza la razón de valor económico sobre medio ambiente.
 - Intensidad ambiental de la producción; que es el impacto ambiental por unidad de valor de la producción, se utiliza la razón de medio ambiente sobre el valor económico.
- Producto o producción primaria
 - Costo de la mejora del medio ambiente; que es el costo por unidad de mejora ambiental, se utiliza la razón de valor económico sobre medio ambiente.
 - Costo-eficiencia del medio ambiente; es el mejoramiento ambiental por unidad de costo, se utiliza la razón de medio ambiente sobre valor económico.

De esta forma Huppés e Ishikawa (2005c) engloban las diferentes metodologías para la medición de la eco-eficiencia de acuerdo con los indicadores que utilizan y al tipo de eco-eficiencia que miden, en tres puntuaciones: la económica, la ambiental y el combinado de eco-eficiencia.

Las metodologías que utilizan una puntuación económica miden los indicadores de eco-eficiencia en términos de costo o valor y los impactos ambientales son agregados a la puntuación. El valor y los costos están establecidos en dos dominios: el análisis de costo-beneficio (CBA, por sus siglas en inglés) y el análisis de costos en el ciclo de vida (LCC, por sus siglas en inglés). Cuando se utiliza el análisis de

costo beneficio, los efectos ambientales externos se distinguen de los efectos relacionados con el mercado, en tanto que en el análisis de costos en el ciclo de vida, el costo y el valor únicamente se relacionan con elementos del mercado (Huppel e Ishikawa 2005c: 33).

La puntuación ambiental se refiere a los efectos ambientales causados por las actividades económicas, tanto en términos de la extracción de recursos naturales necesarios para la producción, como en *“términos de pérdidas de la producción, el consumo y la gestión de residuos, como salidas para el medio ambiente”* (Huppel e Ishikawa 2005c: 34). En esta puntuación lo que se intenta hacer es cubrir toda la información pertinente sobre el impacto de la producción al medio ambiente.

En este tipo de puntuación se encuentran el análisis de ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés), el cual es un método que analiza: las intervenciones ambientales como son emisiones, extracción o uso de suelo; los impactos de punto medio a través de los mecanismos ambientales como son el calentamiento global, acidificación y toxicidad; y criterios de valoración de los elementos pertinentes en relación con la salud humana y calidad del medio ambiente para la prosperidad humana (Huppel e Ishikawa 2005c: 34).

En el puntaje ambiental existen diferentes enfoques de los efectos ambientales:

- Enfoque de preferencia colectiva indicada; se fijan los objetivos que se desean lograr, como los porcentajes de reducción o los niveles de calidad que deben alcanzarse en un año determinado, previamente se determinan los costos razonables para llegar a los objetivos. Al calcular el costo previsto, una medida relativa a la meta se puede derivar en unidades monetarias. El problema de este enfoque es que no siempre coincide lo que se logra con la meta en el año deseado, un ejemplo de esto es la aplicación de las obligaciones del Protocolo de Kioto (Huppel e Ishikawa, 2005c: 35).
- Enfoque de preferencia colectiva revelada; en éste se utilizan los costos de las medidas ambientales realmente implementadas que ayudan a disminuir el impacto ambiental de la producción. La desventaja de este enfoque es que los costos son evaluados para determinadas medidas que la empresa

considera primordiales, por ejemplo, las medidas para disminuir una sola emisión, ya sea de CO₂, NO_x, partículas, u otra (Huppel e Ischikawa, 2005c: 36).

- Enfoque de eficiencia comparativa; éste es más robusto que los dos anteriores, es una variante del método de preferencia colectiva revelado. Su resultado indica la eficiencia relativa de opciones en relación con un caso base, en el cual se puede observar si la mejora del medio ambiente lograda a un costo adicional podría haber sido lograda con un costo más bajo en otro lugar (Huppel e Ischikawa, 2005c: 36). Lo que genera una referencia de los costos en los que se incurre para la mejora ambiental.
- Enfoque de preferencia individual indicada; se basa en la declaración de disposición a pagar, en el que se hace una comparación con decisiones privadas, como es el caso del riesgo de toxicidad aguda en el cual los trabajadores pueden comparar sus propios riesgos laborales y riesgos asumidos (Huppel e Ischikawa, 2005c: 37).
- Enfoque de preferencia individual relevada; se centra en observar las elecciones reales y refleja respuestas socialmente aceptadas. Sin embargo tiene muchas limitaciones en su aplicación, ya que en la comparación de situaciones diferentes todas las otras variantes relevantes deben mantenerse constantes para evaluar de manera correcta, lo cual no sucede en aspectos de la calidad del medio ambiente ni con variables distintas de las ambientales (Huppel e Ischikawa, 2005c: 37).

En la puntuación combinada de eco-eficiencia, se normalizan los datos y al hacerlo se transforman los puntajes tanto económicos como ambientales a un puntaje combinado, teniendo puntuaciones específicas para cada caso normalizadas. El problema es que la normalización interna y ponderación para cada caso no están alineados fácilmente, lo que lleva a una imprecisión en los resultados de casos. Además las puntuaciones de eco-eficiencia similares no pueden compararse entre los casos y en algunas veces ni siquiera son comparables si se añaden nuevas alternativas relevantes, como cuando la referencia es un promedio de las alternativas estudiadas (Huppel e Ischikawa, 2005c: 37).

Se propone normalizar los datos en la puntuación combinada; sin embargo, ya hay metodologías que desde la puntuación ambiental normalizan los datos, por lo que al referirse a la puntuación combinada se refiere a la combinación de puntuaciones económicas con ambientales que utilicen datos normalizados.

A continuación se describen algunos metodologías que se han ocupado para analizar la eco-eficiencia de acuerdo a la clasificación de puntuaciones que propone Huppel e Ishikawa (2005c).

2.1.1 Puntuación económica

Huppel e Ishikawa (2005c: 38) clasifican a la parte económica de la eco-eficiencia en tres enfoques básicos disponibles, todos ellos basados en el costeo de ciclo de vida (LCC, por sus siglas en inglés): costos relacionados con el mercado, como la gestión de la contabilidad o análisis de costo de presupuestos; análisis de costo beneficio, el costo y beneficios relacionados con el mercado; y costo de estado estacionario, en el que se evalúan todas las etapas del ciclo de vida del producto.

a. Contabilidad de gestión ambiental

Jasch (2003) señala que la contabilidad de gestión ambiental (EMA, por sus siglas en inglés) representa un enfoque combinado que, para los datos de contabilidad financiera y costos, proporciona una transición hacia el aumento de la eficiencia de los materiales utilizados, reducción de impactos, riesgos ambientales y reducción de costos de protección del medio ambiente. Por lo que EMA tiene tanto un componente financiero como físico (material y energía consumida, flujos y disposición final del producto).

Las Naciones Unidas son los principales promotores de esta metodología, a través de su libro “*Accounting—Procedures and Principles*” definen los principios y procedimientos para la contabilidad de gestión ambiental, enfocándose en las técnicas para la cuantificación de los costos ambientales que son tomados como la base para controlar y mejorar el desempeño de la empresa en temas ambientales (Jasch, 2003).

La metodología que se propone a través del EMA es evaluar el gasto anual ambiental de tratamiento y eliminación de emisiones, la protección del medio ambiente y la gestión. A esto se le añade el valor de compra de los materiales de todas las salidas que no pertenecen al producto y el costo de producción. La suma total representa los costos anuales de la ineficiencia (Jasch, 2003).

Jasch (2003) analiza con esta metodología a una empresa suiza de papel SCA Laakirchen. Las unidades que utiliza para medir los costos ambientales fueron en términos de masa (Kg tonelada) o energía (MJ, kWh). Primero, se determinó los costos ambientales encontrando que el 44% de los costos ambientales provienen de las aguas residuales, de los cuales el 32% proceden de la compra de productos químicos para el reciclado. Mientras que el desperdicio de los materiales representa el 30% de los costos.

Posteriormente, comparó las entradas con las salidas, cantidades producidas y vendidas, así como los residuos resultantes y las emisiones, esto lo determinó con un balance de flujo de material. Después de esto, con el mismo diagrama de flujo, observó los centros de costos para conocer las opciones de mejora y rastrear las fuentes de costos, que para el caso del papel fue el centro de aguas residuales (Jasch, 2003).

La principal limitación de esta metodología es que requiere que la empresa genere la información que se incorpora al análisis, ya que muchas empresas no generan este tipo de información, ni siquiera la toman en cuenta dentro de su contabilidad. Otra de las limitaciones es que depende de la interpretación del analista para clasificar los costos ambientales relacionados con las decisiones de inversión y sus efectos sobre residuos, emisiones y beneficios a largo plazo.

b. Análisis de costo beneficio

Hellweg, Doka, Finnvenden y Hungerbühler (2005), realizan un análisis de eficiencia de costos ambientales en el cual definen la relación entre los beneficios ambientales netos y la diferencia de costo, de cuatro tecnologías para el tratamiento de residuos

sólidos municipales: relleno sanitario, tratamiento mecánico biológico, incineración moderna de rejillas y proceso térmico escalonado (gasificación).

Los autores proponen medir la eco-eficiencia por medio de la eficiencia de los costos ambientales, en el que buscan una relación entre costos financieros y el beneficio ambiental.

Primero analizaron los beneficios ambientales de cada tratamiento, con el análisis del impacto ambiental del ciclo de vida (LCIA) utilizando los métodos de Eco-indicador 99 y el método suizo de escasez ecológica. Posteriormente se cuantificaron los costos netos aproximados, costos netos menos beneficios. Finalmente realizaron una evaluación financiera obteniendo los costos netos descontados con el método de anualidad.

Los resultados que obtuvieron del análisis de las cuatro estrategias fueron que la incineración de rejillas, los rellenos sanitarios y el tratamiento mecánico-biológico son menos costosos pero ambientalmente más dañinos. Siendo los rellenos sanitarios la peor opción de tratamiento para residuos mixtos, debido a la escasa recuperación de los rellenos sanitarios, a las altas emisiones de metano y emisiones de amoníaco al agua; sin embargo, es la opción con el menor costo. Por otro lado encontraron que el proceso térmico escalonado resulta la mejor alternativa puesto que a largo plazo es más rentable tanto en términos económicos como ambientales (Hellweg *et al.*, 2005).

La metodología de evaluación de la eco-eficiencia que proponen Hellweg *et al.* (2005), se clasificó dentro de la puntuación económica, porque realiza un análisis de costo-beneficio aunque utiliza el análisis de ciclo de vida para conocer los beneficios ambientales de las diferentes tecnologías. Además de que no normaliza los datos, como lo exige Huppel e Ischikawa (2005c).

2.2.2 Puntuación ambiental

En la puntuación ambiental se agruparon estudios que aplicaran el análisis de ciclo de vida para evaluar la eco-eficiencia, éste análisis se enfoca en los impactos ambientales que se generan en la actividad económica de alguna empresa.

Asimismo, se presentan metodologías de los enfoques de preferencia colectiva revelada y de eficiencia comparativa, en éste último enfoque se han presentado mucho más herramientas y estudio que analizan la eco-eficiencia.

Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment)

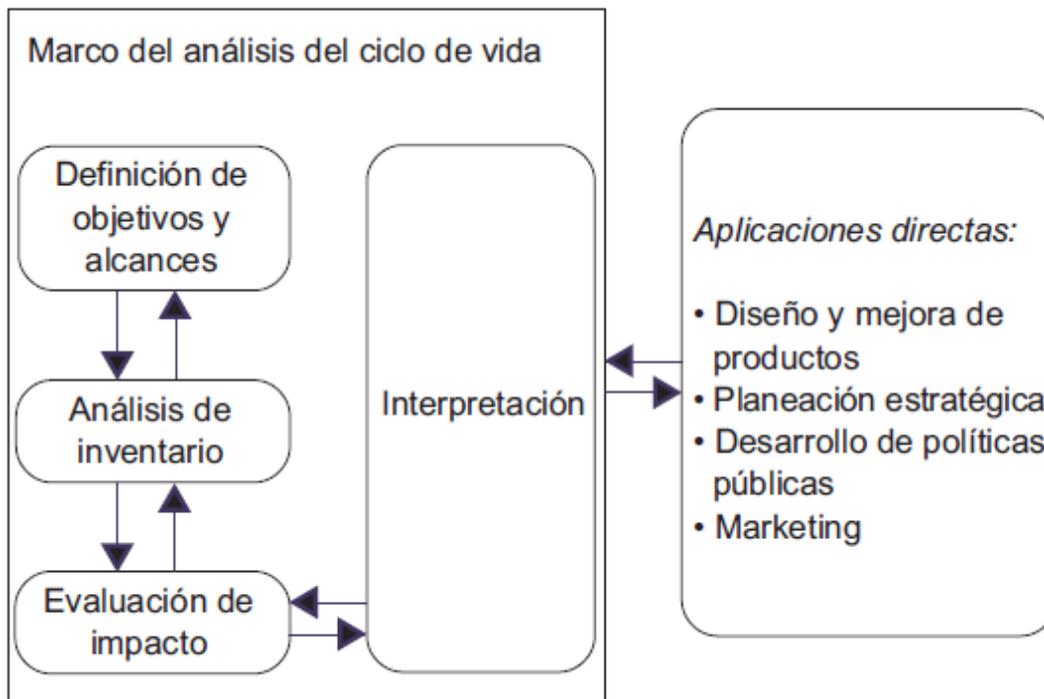
El WBCSD señala que el análisis de ciclo de vida (LCA) es una herramienta para la toma de decisiones, con la cual se pueden evaluar las consecuencias ambientales que tiene un producto, proceso o servicios por medio de su ciclo de vida, bien sea de la cuna a la tumba o desde la cuna a la cuna en caso de ser productos que pueden ser reciclados o reutilizados. Por lo que se considera el LCA como una herramienta que ayuda a optimizar la eco-eficiencia de un sistema completo de productos o servicios (WBCSD, 2006: 27).

El estándar ISO 14040:2006 establece una guía para la evaluación del LCA de cuatro pasos (ver figura 2.1):

1. Definición del objetivo y el alcance; en este paso se define la unidad funcional, los impactos ambientales que se van a considerar, lo que se va a comparar y el límite del sistema (de la cuna a la tumba, de la cuna a la cuna, de la cuna a la puerta o de la puerta a la puerta).
2. Análisis del inventario del ciclo de vida (LCI, por sus siglas en inglés); se realiza un inventario con las entradas y salidas del sistema que se estudia.
3. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida (LCIA, por sus siglas en inglés), en este paso se proporciona mayor información para ayudar a evaluar los resultados del inventario del ciclo de vida. Se compone por pasos obligatorios y opcionales:
 - a. Obligatorios, se basa en la selección de categorías de impacto, categorías de indicadores y modelos de caracterización, clasificación en el que se asignan LCI y caracterización en el que se calculan los resultados de categoría.
 - b. Opcionales, son normalización, ponderaciones y agrupamiento.

4. Interpretación de los datos; se resumen y discuten los resultados del LCI y del LCIA, como base para las conclusiones, recomendaciones o tomas de decisiones de acuerdo a los objetivos establecidos.

Figura 2.1
Fases del análisis del ciclo de vida



Fuente: Rodríguez P. E. (2016: 78). *Metodología para la realización de Auditorías energéticas en empresas de servicios y su monitorización* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Madrid, p. 78.

Entre los estudios que aplican el análisis del ciclo de vida para evaluar la eco-eficiencia se encuentra el de Korol, Burchart-Korol y Pichlak (2016), ellos evalúan la eco-eficiencia de cinco escenarios para la producción de pallets de plástico en función de los materiales utilizados como refuerzos de los bio-compuestos o compuestos del pallet, posibles materiales para la sustitución del uso de materiales compuestos a base de petróleo. El análisis de ciclo de vida lo realizan con base en las guías de ISO 14040:2006.

Los materiales utilizados para analizar los cinco escenarios fueron: compuestos a base de propileno; bio-compuestos a base de fibras de vidrio, fibras de algodón y

naturales, fibras de yute y fibras de kenaf. Para alcanzar las propiedades químicas exigidas, la proporción de los materiales fue de 10 a 30% en peso (Korol *et al.*, 2016: 140).

El LCA lo realizaron a través del método ReCiPe, dado que es más complejo y ayuda a mostrar el análisis comparativo de los impactos ambientales en diferentes categorías de impactos y daños. Esto con el objetivo de transformar la larga lista de los resultados del LCI en un número limitado de puntuaciones de los indicadores, los cuales expresan la gravedad relativa dentro de una categoría de impacto ambiental. Para realizar el LCA en cada uno de los materiales, utilizaron el software SimaPro 8 con la base de datos Ecoinvent.

Compararon cada uno de los impactos ambientales de los materiales analizados, con el análisis de eficiencia ambiental de las entradas y salidas de la cuna a la puerta (extracción de materias primas, producción del pallet de plástico hasta el producto terminado). Los impactos ambientales que consideraron para el análisis fueron 18, entre los que destacan: kilogramos de CO₂, toxicidad humana, eutrofización marina, eco toxicidad de agua dulce, eco toxicidad marina, ocupación del suelo agrícola, ocupación del suelo urbano, agotamiento del agua, agotamiento de metales, agotamiento de combustibles fósiles, entre otros (Korol *et al.*, 2016: 147). Cada uno de los impactos ambientales se normalizó y ponderó.

Entre los resultados del LCA, encontraron que para el caso de las fibras de algodón y de vidrio como refuerzos de los bio-compuestos del pallet de plástico, se tienen altos impactos ambientales, debido a que la producción de algodón a gran escala tiene un alto impacto ambiental. Las fibras de kenaf y yute son las que tienen un menor impacto ambiental al utilizarse como refuerzos (Korol *et al.*, 2016: 149).

Posteriormente utilizaron los resultados del LCA para la cuantificación de la eco-eficiencia. La cual realizaron en dos etapas, en la primera determinaron la meta y el alcance del análisis, mediante la designación de los límites del sistema, la función de la tecnología, la unidad funcional, y la determinación de los supuestos y limitaciones. En la segunda etapa utilizaron el resultado del LCA, y evaluaron los

costos del sistema de producción, para así calcular la eco-eficiencia con base en los resultados del LCA y de los costos (Korol *et al.*, 2016: 148).

De estos resultados encontraron que las categorías de impacto elegidas determinaron los resultados de eco-eficiencia. Por lo que existe una alta relación entre las categorías de impacto ambiental aplicados para la evaluación de los materiales analizados y los resultados de eco-eficiencia. Al analizar las categorías de daño total, la toxicidad humana, agotamiento de los combustibles fósiles, formación de materia en partículas y el cambio climático como categorías de impacto, la más alta eco-eficiencia fue para la utilización de fibras de Kenaf y yute, mientras que la que menos eco-eficiencia tuvo es la base de propileno.

Una de las principales limitaciones de este tipo de análisis es que la elección de la categoría de impacto determina el resultado de la eco-eficiencia, por lo que si no se hace una elección adecuada, el resultado del análisis será incorrecto (Korol *et al.*, 2016).

a. Enfoque de preferencia colectiva revelada

El WBCSD (2000a) propone este tipo de enfoque para medir la eco-eficiencia, de acuerdo con la disminución de los impactos ambientales que revelan las compañías.

Los indicadores que propone se basan en la siguiente fórmula:

$$Eco - eficiencia = \frac{Valor\ económico}{Impacto\ ambiental} \quad (1.1)$$

En la cual el valor económico puede ser expresado tanto en términos monetarios (ventas), o en términos físicos (cantidad de producción). En cuanto al impacto ambiental toma cinco indicadores:

- Energía consumida.
 - Electricidad.
 - Calefacción.
 - Combustibles fósiles.
- Consumo de agua.

- Emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), entre otras.
- Emisiones de sustancias destructoras del ozono.
- Materiales consumidos o total de basura.

Otros autores se basan en la propuesta del Consejo y analizan la eco-eficiencia de diferentes industrias, según el mayor impacto de cada una, especificándolos para cada caso.

Entre los estudios que se basan en este tipo de enfoque, se encuentra el de Grigore, Capat, Hazi y Hazi (2016), en el que se analizan indicadores de eco-eficiencia de una central térmica en Rumania. Utiliza siete indicadores que se basan en los propuestos por la Mesa Redonda Nacional sobre el Medio Ambiente y Economía en Canadá:

1. Energía consumida dentro de las planta de energía térmica, que incluye: energía de combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón); energía de combustibles no fósiles (fuentes de energía como hidroeléctrica, geotérmica, nuclear, maderas); energía necesaria para hacer funcionar los equipos que se utilizan en el proceso; energía utilizada en el transporte de materiales, trabajadores en el interior de la central térmica. Este indicador se utilizó una unidad en común para cada energía, MJ.

$$\text{Energía consumida} = \frac{\text{Energía consumida de todos los sectores}}{\text{electricidad y calor suministrados}} = \left(\frac{\text{MJ}}{\text{MWh}}\right) \quad (1.2)$$

2. Intensidad de residuos; se contabiliza el total de residuos generados incluyendo los residuos que se venden y los que se ponen en un contenedor.

$$\text{Intensidad de residuos} = \frac{\text{Total de basura generada}}{\text{electricidad y calor suministrados}} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{MWh}}\right) \quad (1.3)$$

3. Basura utilizada; en el que se define el porcentaje de basura producida que se le ha encontrado un uso.

$$\text{Utilización de residuos} = \frac{\text{Basura utilizada}}{\text{total de basura generada}} \times 100 = (\%) \quad (1.4)$$

4. Intensidad del agua, que incluye; el total de agua utilizada de ríos, suministro municipal, pozos y otras fuentes.

$$\text{Intensidad del agua} = \frac{\text{Total de agua utilizada}}{\text{electricidad y calor suministrados}} = \left(\frac{m^3}{MWh}\right) \quad (1.5)$$

5. Descarga de agua; se miden todas las descargas de agua de cada etapa del proceso.

$$\text{Descarga de agua} = \frac{\text{Total de agua descargada}}{\text{electricidad y calor suministrados}} = \left(\frac{m^3}{MWh}\right) \quad (1.6)$$

6. Eficiencia global; indica la eficiencia de la electricidad convencional y la producción de calor, siendo el ratio la suma de la electricidad y calor producidos sobre la energía que se utiliza como combustible.

$$\text{Eficiencia global} = \frac{\text{Electricidad y calor suministrados}}{\text{energía de combustibles}} = (\%) \quad (1.7)$$

7. Factor de emisiones de dióxido de carbono (CO₂); es el ratio entre las emisiones de CO₂ y la electricidad producida.

$$\text{Emisión de CO}_2 = \frac{\text{Emisiones de CO}_2}{\text{electricidad producida}} = \left(\frac{gCO_2}{kWh}\right) \quad (1.8)$$

Los resultados obtenidos de los indicadores se pueden comparar con otras empresas del mismo sector o con resultados pasados para conocer el mejoramiento de la eco-eficiencia. Para el caso de la central térmica en Rumania, su indicador más alto fue el de basura generada (intensidad de residuos), mientras que el indicador de basura utilizada es el más bajo, ya que las plantas no están reusando su basura (Grigore *et al.*, 2016).

Por su parte Kharel y Charmondusit (2008) realizan una evaluación de la eco-eficiencia de una empresa dedicada a la industria del hierro en Nepal en el periodo de 2001-2005.

Analizan indicadores de intensidad de energía, consumo de material, uso de agua, generación de basura y emisiones de CO₂ en términos de producción, utilizando la siguiente fórmula (basada en la propuesta del Consejo) (Kharel y Charmondusit, 2008).

$$Eco - eficiencia_{n[E,M,W,W_s,CO_2]} = \int^1 \frac{SR_n}{\sum_{t=1}^r E_t} \frac{SR_n}{\sum_{t=1}^r M_t} \frac{SR_n}{\sum_{t=1}^r W_t} \frac{SR_n}{\sum_{t=1}^r W_{st}} \frac{SR_n}{\sum_{t=1}^r (CO_2)_t} \quad (1.9)$$

En donde:

- EE_n , es la eco-eficiencia
- SR_n , son los ingresos por ventas en (US\$).
- $\sum_{t=1}^r E_t$, es la suma de energía consumida de “r” diferentes fuentes.
- $\sum_{t=1}^r M_t$, es la suma de materiales utilizados de “r” diferentes fuentes.
- $\sum_{t=1}^r W_t$, es la suma de agua usada de “r” diferentes fuentes.
- $\sum_{t=1}^r W_{st}$, es la suma de basura generada de “r” diferentes fuentes.
- $\sum_{t=1}^r (CO_2)_t$, es la suma de emisiones de CO_2 de “r” diferentes fuentes de energía.

El análisis arrojó que todos los indicadores aumentaron de 2001 a 2004, el que tuvo mayor crecimiento fue el de consumo de agua con 438%, debido a que no enfocaron suficientes estrategias para su disminución, caso contrario del indicador de eco-eficiencia en la energía consumida, dado que en el 2004 implementaron un sistema de soplado de aire caliente en los quemadores que generó que se disminuyera el consumo de energía en un 2.8%. Con la implementación de dicho sistema, también lograron disminuir en un 3% el indicador de emisiones de CO_2 para el 2004 (Kharel y Charmondusit, 2008).

El estudio detalla las estrategias que está implementando la empresa para disminuir sus indicadores; sin embargo, el aumento de la producción incrementa los indicadores utilizados a pesar de los esfuerzos que hacen por disminuirlos, los cuales son insuficientes.

Otro estudio que se basa en el enfoque que propone el Consejo es el de Wang, Liu, Hansson, Zhang y Wang (2011), en el que analizan si la implementación de la regulación ambiental para la mejora de la eficiencia ambiental en Shandong, China, ha tenido efectos positivos en la eco-eficiencia en el caso específico de la industria de pulpa y papel en el periodo de 2001-2008.

Para medir la eco-eficiencia se basan en la siguiente formula:

$$Eco - eficiencia = \frac{Valor\ económico\ agregado}{Influencia\ ecológica} \quad (1.10)$$

En donde el valor económico agregado (EVA, por sus siglas en inglés) cuantifica el valor agregado de la industria en yuanes.

En cuanto a la influencia ecológica se utilizaron los siguientes indicadores:

- Eficiencia de agua a través de las descargas de agua residuales.
- Consumo de energía incluyendo carbón, petróleo, gasolina, diésel y electricidad.
- Eficiencia ambiental, midiendo los impactos ambientales de la demanda química de oxígeno⁵ (DQO), dióxido de azufre (SO₂), polvo y dióxido de carbono (CO₂).

En el estudio se demuestra que con la implementación de la regulación ambiental los indicadores de eco-eficiencia (con excepción de las emisiones de CO₂ y el consumo de energía) han logrado mejoras significativas. Sin embargo, se encontró que no es suficiente para hacer frente a un único indicador en la regulación ambiental de la industria de pulpa y papel. Se deben generar indicadores de eco-eficiencia más holísticos e introducirse en la industria como el siguiente paso para crear un verdadero desarrollo sostenible (Wang *et al.*, 2011).

Al contrario de los estudios anteriores, el de Müller y Sturm (2001), analizan la eco-eficiencia desde un ratio diferente al propuesto por el Consejo.

$$Eco - eficiencia = \frac{Desempeño\ ambiental}{Desempeño\ financiero} \quad (1.11)$$

Los autores proponen que con esta razón se mida la carga ambiental por cada unidad de valor económico. Dentro del desempeño ambiental, toman indicadores que de acuerdo al sector de la empresa son representativos, ellos proponen el uso de energías no renovables como materia prima, contribuciones al calentamiento

⁵ La demanda química de oxígeno (DQO) brinda una medida más real de la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de los compuestos orgánicos a CO₂ y H₂O. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (Cardona, Alzate, Rojas y Bejarano 2015).

global, contribución al agotamiento del ozono, residuos generados y uso del agua. En cuanto al desempeño financiero proponen utilizar las ventas generadas por la empresa o el valor agregado, que es el resultado de restar a las ventas el costo de los bienes y servicios comprados.

El modelo de Müller y Sturm (2001) se centra en las necesidades de los mercados financieros, mediante la eco-eficiencia buscan encontrar la conexión entre el desempeño ambiental y el futuro desempeño financiero. Esto con base en el supuesto de que la eco-eficiencia mejora el concepto de una visión verdadera y justa y que el inversionista tiene el interés de invertir en una compañía que reduce el daño del medio ambiente mientras aumenta o mantiene el valor del accionista.

La gran mayoría de los estudios de eco-eficiencia se basan en la razón que proporciona el Consejo (valor económico sobre impacto ambiental), únicamente se modifica el impacto ambiental, de acuerdo al tipo de industria que se esté evaluando. En general se mantienen cinco indicadores a pesar de la diferencia de la industria, en la tabla 2.1 se presentan los diferentes indicadores que ocuparon los estudios anteriores para medir la eco-eficiencia.

La propuesta del Consejo es la más completa, ya que abarca todos los indicadores de los demás autores, coincidiendo con Müller y Sturm (2001) en las emisiones de sustancias destructoras de ozono y con Kharel y Charmondusit (2008) en el indicador de materiales consumidos.

El estudio que utiliza menos indicadores es la de Grigore *et al.*, (2016) con cuatro indicadores para evaluar la eco-eficiencia de una central térmica, dejando de lado indicadores como emisiones de sustancias destructoras de ozono y materiales consumidos.

Tabla 2.1
Indicadores ambientales

WBCSD (2000a)	Müller y Sturm (2001)	Grigore et al. (2016)	Kharel y Charmondusit (2008)
Energía consumida • Electricidad • Calefacción • Combustibles fósiles	Uso de energías no renovables, como materia prima	Energía utilizada • Energía fósil • Energía no fósil • Energía de transporte	Consumo de energía
Consumo de agua	Consumo de agua	Consumo de agua Descargas de agua	Consumo de agua
Emisiones de gases efecto invernadero	Contribuciones al calentamiento global	Emisiones específicas de dióxido de carbono (CO ₂)	Emisiones de CO ₂
Emisiones de sustancias destructoras del ozono	Contribuciones al agotamiento del ozono		
Total de basura	Residuos	Residuos producidos Utilización de residuos producidos	Total de basura
Materiales consumidos			Materiales consumidos

Fuente: Elaboración propia con base en WBCSD (2000a). *Toward Sustainable Cement Industry. An independent study Comissioned by WBCSD.* Battelle Memorial Institute, Ginebra, p, 23; Müller y Sturm (2001). *Standardized eco-efficiency indicators.* Ellipson, Suiza; Grigore, R., Capat, C., Hazi, A. y Hazi, G. (2016). Eco-Efficiency Indicators in the Evaluation of Environmental Performance of Thermal Power Plants. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, Vol. 15(1), pp. 123-134; Kharel, G. P. y Charmondusit, K. (2008). Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16(13), pp. 1379-1387.

b. Enfoque de eficiencia comparativa

En este enfoque se presentan las principales metodologías de análisis de eco-eficiencia como es el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) y el análisis de costo de oportunidad que propone Figge y Hahn (2013).

Análisis envolvente de datos

El análisis envolvente de datos (DEA) es una metodología no paramétrica que evalúa la eficiencia relativa de las unidades de toma de decisiones⁶ (DMU, por sus siglas en inglés) con múltiples entradas y salidas (Charnes, Cooper y Rhodes, 1979).

El DEA es utilizado comúnmente para medir la eficiencia de un conjunto relativamente homogéneo de DMU, como bancos y hospitales, que se caracterizan por tener múltiples entradas y salidas. También se suele ocupar como una herramienta para el análisis de decisión multicriterio de alternativas discretas (Zhang, Bi, Fan, Yuan y Ge, 2008).

La función esencial del DEA es calcular la eficiencia de las entradas y salidas, el método se ha ocupado para evaluar la eco-eficiencia mediante la agregación de diversos indicadores de impactos ambientales generados por la producción para establecer un índice sintético de eco-eficiencia (Quindós, Rubiera y Vicente, 2003).

Cuando se ocupa el DEA para el análisis de eco-eficiencia se pretende comparar la actuación real de la DMU contra lo que debió de haber hecho la unidad para maximizar su beneficio. Para lograr esto se determina una frontera eficiente que sirve de referencia para medir la eco-eficiencia relativa de cada empresa al compararse con la frontera (Quindós, *et al.*, 2003).

Quindós *et al.* (2003: 3) señalan que en un análisis DEA se obtienen dos medidas, la frontera eficiente y la estimación de la ineficiencia. La primera se puede calcular bajo dos orientaciones, entradas y salidas; si la orientación es entrada entonces lo que se pretende es minimizar las entradas dado el nivel de salidas y si se utiliza una orientación de salida se pretende maximizar el número de salidas dado el nivel de entradas. La segunda depende de la orientación ocupada en el cálculo de la frontera

⁶ Las unidades de toma de decisión, son las entidades que están siendo evaluadas por el DEA (Charnes *et al.*, 1979).

eficiente y se calcula con la distancia que tiene cada unidad evaluada con respecto a su frontera, posteriormente se compara cada empresa con otra similar.

Se tienen dos modelos de DEA, los cuales se nombran de acuerdo con los autores que los ocuparon por primera vez:

1. Modelo CCR (desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes); este modelo fue el primero que se desarrolló y se basa en postulados de libre disponibilidad de entradas y salidas, supone que cada empresa puede producir menos o igual salidas con el mismo o mayor nivel de recursos. También se basa en el postulado de rendimientos constantes a escala, lo que permite que una DMU pueda ser comparada con otra aunque sea más grande o más pequeña (Charnes *et. al.*, 1979).
2. Modelo BCC (desarrollado por Banker, Charnes y Cooper); este modelo está orientado a los insumos o entradas, basado en los postulados de libre disponibilidad de entradas y salidas y de rendimientos variables a escala, lo que permite establecer comparaciones con otras empresas lo más similares posible de acuerdo al tamaño de la empresa. El segundo postulado es la diferencia entre un modelo y otro, en el modelo BCC se desarrolla la limitación (Banker, Charnes y Cooper, 1984).

Aplicaciones del análisis

Zhang *et al.*, (2008) realizan un análisis para evaluar la eco-eficiencia de 30 sistemas industriales de provincias de China, utilizando el análisis envolvente de datos, en el que utilizan tanto indicadores económicos como ambientales. Para la parte económica, utilizan el indicador de valor agregado de la industria para representar el valor de los productos y servicios, para la parte ambiental utilizan dos indicadores:

1. Indicador de entrada de material directo; basado en el uso de recursos que incluye materiales extraídos para su uso en una región y materiales importados, seleccionaron tres categorías que conforman este indicador:

- a. Entradas de los recursos hídricos
 - b. Entradas de recursos mineros
 - c. Entradas de energía
2. Indicador de presiones ambientales; se basa en las emisiones contaminantes, en el que eligieron seis categorías:
- a. Demanda química de oxígeno (DQO)
 - b. Nitrógeno
 - c. Dióxido de azufre (SO₂)
 - d. Hollín
 - e. Polvo
 - f. Residuos sólidos

En el modelo DEA de análisis de eco-eficiencia se asume que se tienen DMU homogéneas, en las que cada una de las salidas (k) corresponde a (m) entradas. Además, no hay unidades duplicadas en el conjunto de datos.

Primero calcularon cada razón de eco-eficiencia con la fórmula que propone el Consejo (valor económico sobre impacto ambiental), para cada uno de los indicadores que quieren analizar, posteriormente analizaron la eco-eficiencia de los ratios con los modelos CCR y BCC.

Para el modelo CCR (ver formula 1.11)

Para desarrollar el modelo CCR (ver formula 1.11) utilizaron como salidas deseadas la materia y energía conformadas por el agua reusada, recursos obtenidos en minas y energía. Mientras que las salidas no deseadas fueron los contaminantes que incluyen DQO, SO₂, hollín, polvo y residuos sólidos (Zhang *et al.*, 2008).

$$\min[\theta - eE^t(S^- + S^+)]$$

$$\text{técnica estandar } X_{j0} * \theta = \sum_{j=1}^n \lambda_j * X_j + S^-$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y^j - S^+ = Y_{j0} \quad (1.12)$$

$$S^- \geq 0, S^+ \geq 0, \lambda_j \geq 0, \theta \leq 0$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

- j , supone n decisiones de las unidades.
- λ_j , es la variable de las unidades de toma de decisiones.
- θ , es el parámetro de la pendiente.
- S^- y S^+ , son las variables remanentes o flácidas
- e , es para evitar que los pesos den cero
- La solución óptima del problema es θ^* , λ_j^* , S^{-*} , S^{+*} . La unidad j_o es denominada eficiencia débil si $\theta^* = 1$ y $S^{-*} \neq 0$ y $S^{+*} \neq 0$. Mientras que la unidad j_o es denominada como eficiente si $\theta^* = 1$ y $S^{-*} = 0$ y $S^{+*} = 0$.
- Si $\theta^* < 1$, la unidad j_o se etiqueta como ineficiente, cuando se compara con otras unidades.

El segundo modelo (BCC) que utilizaron se basó en la fórmula 1.12, en el que consideraron como entradas estándar a la materia y energía y a los contaminantes (las salidas no deseadas se comportaron como entradas), bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala. En este modelo las DMU redujeron tanto las entradas como las salidas no deseadas con el fin de aumentar la eco-eficiencia (Zhang *et al.*, 2008).

$$\min[\theta - eE^t(S^B + S^G + S^{''})]$$

$$\text{técnica estándar } X_{j_o} * \theta = \sum_{j=1}^n \lambda_j * X_j + S^{''}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^G - S^G = Y_{j_o}^G \quad (1.13)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^b - S^b = \theta Y_{j_o}^b$$

$$\lambda, S^{''}, S^G, S^B, \geq 0$$

$$e > 0; j = 1, 2, \dots, n$$

Donde:

- S^B y $S^{''''}$, corresponden a excesos en las entradas y malas salidas.
- S^G , corresponde a la escasez de buenos resultados.
- Se demuestra que una DMU (x_o, y_o^G, y_o^B) es eficiente en la presencia de una salida no deseada si y sólo si $\theta^* = 1$, $S^{''''*} = 0$, $S^{G*} = 0$, $S^{B*} = 0$. Si la DMU es ineficiente se tendrá $\theta^* < 1$, para ser más eficiente tendrá que eliminar los excesos en las entradas y salidas malas, aumentando el déficit de las buenas salidas.

Al realizar el análisis con el primer modelo Zhang *et al.*, (2008) encuentran que de 30 provincias únicamente cinco son eficientes con los recursos utilizados (Beijing, Tianjing, Shanghai, Hainan y Qinghai); de esas cinco únicamente dos son eficientes tanto en los recursos como en la categoría ambiental, por lo que tienen una eco-eficiencia fuerte (Tianjing y Shanghai), mientras que las otras tres (Beijing, Hainan y Qinghai) tienen una eco-eficiencia débil.

Al aplicar el segundo modelo encontraron que únicamente seis provincias son eco-eficientes (Beijing, Tianjing, Shanghai, Guangdong, Hainan y Qinghai); siendo que la mayoría de las provincias tienen niveles relativamente bajos de eco-eficiencia. También identificaron que las provincias que se encuentran en la región este son más eco-eficientes que aquellas que se encuentran en el norte o sur. Patrón que se repite en el desarrollo económico de China y que conlleva a que las regiones con mayor desarrollo tengan usualmente más industrias modernas, tecnología avanzada, niveles más altos de gestión y recursos humanos de calidad, generando que los recursos se utilicen eficientemente y por ende una menor descarga de contaminantes (Zhang *et al.*, 2008).

Limitaciones del análisis

Entre las principales limitaciones de este tipo de metodología se encuentran:

- Se requiere de una extensa base de datos que sean fiables y confiables. El tamaño de la muestra debe ser grande.

- El DEA permite identificar pesos que maximizan la calificación de la eficiencia de la DMU en comparación con un grupo de unidades similares. Sin embargo, algunas actividades pueden parecer eficiente aunque solo funcione bien un solo criterio, relativamente poco importante (Zhang *et al.*, 2008).

Análisis de costo de oportunidad (Figge y Hahn, 2013)

La metodología que propone Figge y Hahn (2013) se enfoca en medir un subconjunto del valor sustentable, la eco-eficiencia, en la cual únicamente se mide la eficiencia económica y ambiental.

Figge y Hahn (2013) proponen la metodología de eco-eficiencia desde la perspectiva del inversionista, satisfaciendo dos preguntas básicas: si los recursos deben ser usados en su totalidad y en donde tienen que ser asignados los recursos. De esta manera la eco-eficiencia parte de la premisa de que las empresas necesitan de recursos económicos y ambientales para crear ganancias, utilizando el costo de oportunidad no sólo en el capital económico sino que también en los recursos ambientales. Los autores estiman el costo de oportunidad mediante la comparación del costo de los recursos usados en una determinada actividad contra una alternativa o promedio del mercado de la industria (Figge y Hahn, 2013).

En el análisis de eco-eficiencia que realizan Figge y Hahn (2013) miden las principales 16 empresas automotrices de todo el mundo durante el 2007 y las comparan con el promedio de la industria, para conocer si el uso de los recursos es más eficiente en comparación con el mercado, si este es mayor, entonces se dice que es eco-eficiente la empresa.

Para el análisis de indicadores económicos tomaron como base el análisis DuPont, el cual es una herramienta importante para juzgar el desempeño financiero operativo, fue creado por un ingeniero Donaldson Brown que fue encargado de entender las finanzas de una compañía que DuPont estaba adquiriendo en 1918, se dio cuenta de que el producto de dos razones a menudo calculadas; el margen de ventas y la rotación de activos, es igual al rendimiento sobre activos (ROA, return on assets). Para la década de 1970 el modelo DuPont se modificó para hacer

énfasis en el análisis de rendimiento sobre capital (ROE, return on equity) (Sheela y Karthikeyan, 2012).

El análisis DuPont descompone el ROE en tres componentes (Ross, Westerfield, Jaffe y Roberts, 2002):

- Eficiencia operativa, medida con el margen de utilidad de las ventas.
- Eficiencia del uso de activos, medida con la rotación de activos.
- Apalancamiento financiero, el efecto sobre la rentabilidad que tienen los costos financieros por el uso de capital financiero para desarrollar sus operaciones, medido con el múltiplo de capital.

El múltiplo de los dos primeros componentes da como resultado el ROA.

$$ROE = \frac{Utilidad\ neta}{Ventas} \times \frac{Ventas}{Total\ Activos} \times \frac{Total\ de\ activos}{Capital} \quad (1.14)$$

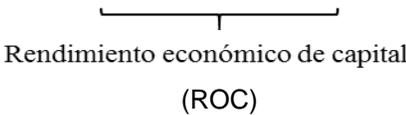


Margen de ventas Rotación de activos Apalancamiento financiero

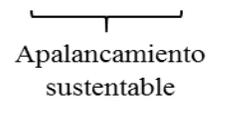
Figge y Hahn (2013), señalan que los indicadores de eco-eficiencia son similares a los indicadores de la formula DuPont que busca la eficiencia del capital, por lo que para medir la eco-eficiencia realizan una fuerte analogía a la formula DuPont. Para obtener los aspectos económicos de la eco-eficiencia utilizan los dos primeros componentes de la formula DuPont; margen de ventas y rotación de activos y modifican el primer componente al sustituir utilidad neta por operativa. Para los indicadores ambientales utilizan el último componente de la formula DuPont y sustituyen el capital por emisiones de CO₂ como indicador ambiental, debido a que la industria automotriz se caracteriza por sus altas emisiones de CO₂⁷.

⁷ Figge y Hahn (2013), toman los dos primeros componentes del método Dupont y los denominan rendimiento económico de capital, abreviándolo en inglés ROC. Es importante destacar que no es igual a la razón de rendimiento sobre capital (ROC por sus siglas en inglés), ya que de acuerdo a Damodaran (2007) éste último se compone: utilidad operacional*(1-tasa de impuesto)/el valor en libros del capital invertido.

$$Eficiencia CO_2 = \frac{Utilidad\ de\ operación}{Ventas} \times \frac{Ventas}{Activos\ totales} \times \frac{Activos\ totales}{Emisiones\ CO_2} \quad (1.15)$$



Rendimiento económico de capital
(ROC)



Apalancamiento
sustentable

El tercer componente de la fórmula remarca la necesidad de las empresas de utilizar no sólo capital económico sino que también recursos naturales, este razonamiento remarca una fuerte analogía entre el apalancamiento financiero del análisis DuPont de capital prestado para aumentar la rentabilidad y el apalancamiento sustentable que refleja la relación entre los recursos naturales y el capital económico, entre menor sea el indicador de apalancamiento sustentable la empresa requerirá más recursos naturales en relación con su capital económico (Figge y Hahn, 2013:390).

De esta forma el indicador de eco-eficiencia queda con tres componentes: margen de ventas, rotación de activos y apalancamiento sustentable, la combinación de los dos primeros componentes, de acuerdo a lo que proponen Figge y Hahn (2013), da como resultado un retorno sobre capital económico y el último componente representa el elemento ambiental de la eco-eficiencia.

Posterior al análisis de eco-eficiencia que se aplica a cada empresa, los autores proponen dividir los resultados de cada empresa con el promedio del indicador de la industria o del mercado, como se presenta en la siguiente fórmula.

$$\frac{Eco - eficiencia^c}{Eco - eficiencia^b} = \frac{\frac{Utilidad\ operacional^c}{Ventas^c} * \frac{Ventas^c}{Activo\ total^c} * \frac{Activo\ total^c}{Emisiones\ de\ CO_2^c}}{\frac{Utilidad\ operacional^b}{Ventas^b} * \frac{Ventas^b}{Activo\ total^b} * \frac{Activo\ total^b}{Emisiones\ de\ CO_2^b}} \quad (1.16)$$

c=datos de la empresa

b=datos del promedio de la muestra

Al aplicar la fórmula se compara el valor de cada empresa por cada componente contra su correspondiente al mercado. Cada múltiplo muestra si la empresa que es

evaluada está por debajo de la media del mercado o por arriba, con respecto a los tres componentes de la eco-eficiencia corporativa de Figge y Hahn (2013:391).

Al realizar el análisis de las empresas se encontraron que las automotrices Honda y BMW son las más eficientes tanto en su rendimiento sobre capital, como en el apalancamiento de CO₂, ambas están muy por encima de la media de la muestra para cada respectivo indicador. Caso contrario de la automotriz GM, la cual no es eficiente tanto en su parte económica como en el apalancamiento de CO₂ (Figge y Hahn, 2013).

Por su parte Hyundai, PSA, Renault y Ford, se encuentran con un apalancamiento de CO₂ mayor al promedio de la muestra, especialmente Renault. A pesar de su alto indicador de apalancamiento, tienen un bajo múltiplo de retorno sobre capital, lo que indica que no están siendo eficientes con sus recursos económicos (Figge y Hahn, 2013).

Limitaciones del análisis

Entre las limitaciones de esta metodología se encuentran que el costo de oportunidad es muy restrictivo y que esto implica un alto riesgo de error de especificación (Kuosmanen y Kuosmanen, 2009).

Además la metodología de eco-eficiencia que proponen Figge y Hahn (2013), se basa en un enfoque de sustentabilidad fuerte, lo que significa que no haya sustitución de los recursos naturales. Sin embargo, la fórmula que proponen es lineal, basándose en el supuesto de que el costo marginal de oportunidad se mantiene constante, lo que implica una sustitución perfecta de todos los recursos, violando por completo el principio de sustentabilidad fuerte (Kuosmanen y Kuosmanen, 2009).

2.1.3 Puntuación Combinada de eco-eficiencia

De acuerdo con Huppel e Ishikawa (2005c: 39) la puntuación combinada de eco-eficiencia, integra dos metodologías, una de puntaje económico y otra ambiental y las normaliza para cada caso. Este tipo de metodologías han ido creciendo en los

últimos años, combinando las principales metodologías de cada puntaje para tener una mejor evaluación de la eco-eficiencia.

Entre los estudios que realizan este tipo de análisis se encuentra el de Suh, Le y Ha (2005), quienes analizan la eco-eficiencia de una empresa mediana productora de componentes para equipos electrónicos (como teléfonos celulares o equipos de comunicación) en Corea del Sur. Eligieron este tipo de empresa para conocer la eco-eficiencia del proceso de chapado en plata y galvanoplastia de oro, puesto que lo identificaron como el que tiene mayor impacto ambiental y absorbe gran parte de los costos. También analizaron procesos alternativos, como el uso de una cubierta de aislamiento del producto, una técnica de recubrimiento uniforme y equilibrado, transmisión de la segregación y galvanoplastia.

Para el análisis ocuparon dos métodos, el primero basado en los costos mediante la herramienta de contabilidad de costos totales (TCA) y el segundo en el impacto ambiental con análisis del ciclo de vida (LCA). Los indicadores que se obtuvieron de cada método se normalizaron y combinaron para obtener el indicador de la eco-eficiencia (Suh *et al.*, 2005).

Se aplicó cada herramienta y determinaron los principales impactos ambientales así como los costos, con esto desarrollaron una serie de alternativas para la prevención de la contaminación, las cuales fueron examinadas por los ingenieros para asegurarse de que cumplieran con las limitaciones técnicas, financieras y legales básicas. Quedando así tres alternativas: (A) aislar el exterior del recipiente de metal base, para reducir al mínimo la cantidad de plata utilizada; (B) uso de un ánodo auxiliar de tipo tamiz, para mejorar la eficiencia en placas dentro del recipiente de metal base; y (C) realizar un equilibrado proceso de recubrimiento uniforme, en el que el exceso de la superficie del recipiente de metal se retira continuamente para equilibrar el espesor de chapado de plata en el interior y exterior (Suh *et al.*, 2005).

Además se propusieron otras dos alternativas no enfocadas a la reducción del uso de plata: (D) para la instalación de aguas residuales se propuso la segregación corriente de aguas residuales, en el que se personaliza el tratamiento de aguas

residuales; (E) para reducir las emisiones y el consumo de cianuro de ácido nítrico, se propuso la técnica de electrodeposición de plata (Suh *et al.*, 2005).

Aplicaron el LCA para evaluar los impactos ambientales tanto de los aspectos ambientales del sistema de producto actual y las alternativas propuestas, el proceso no lo describen, únicamente señalan que ocuparon un estudio de causalidad física y química para la asignación de pesos y en algunas veces esto se basó en la masa o el valor económico. Para el análisis de las alternativas, ocuparon la relevancia ambiental para determinar los límites del sistema, se supuso un 80% de cantidad necesaria de aluminio para ser reciclada, con una tasa de recuperación de plata del 50%, tomaron en cuenta las entradas deseadas de materiales a los procesos de tratamiento de aguas residuales, de consumo de energía y materiales del sistema (Suh *et al.*, 2005: 229).

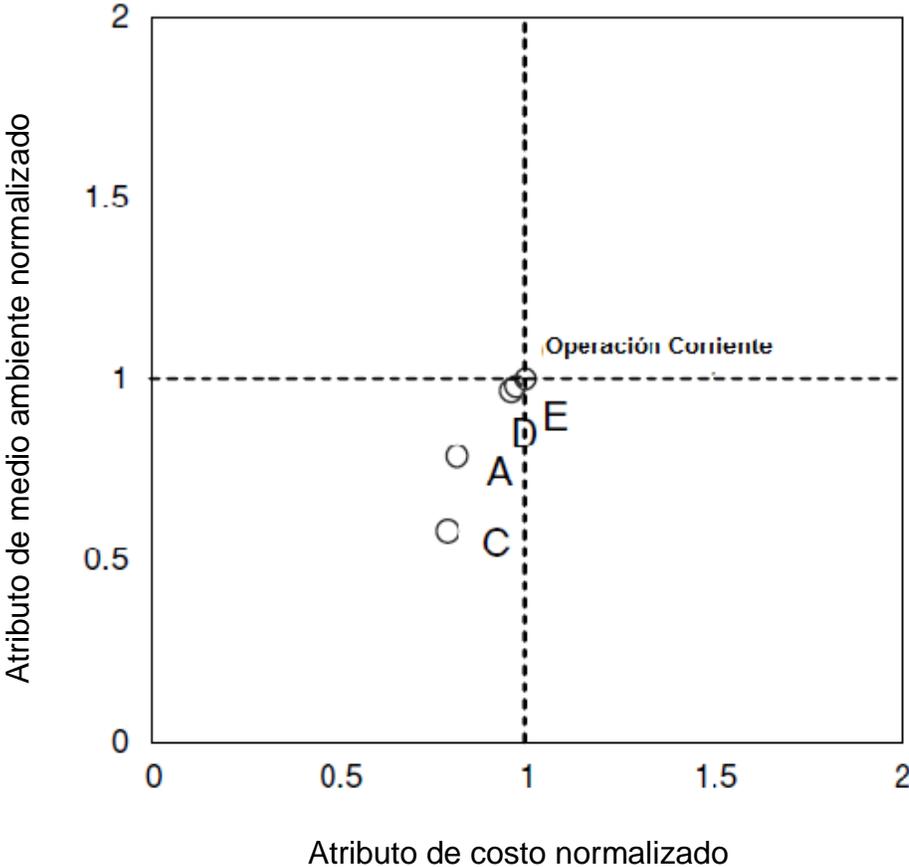
Posteriormente analizaron los aspectos económicos con el método TCA, en el que abarcaron los costos relacionados con el medio ambiente y ahorros asociados con una inversión, con el objetivo de conocer los costos que no son vistos por la contabilidad ordinaria. Utilizaron los datos financieros proporcionados por la empresa, determinando los siguientes costos (Suh *et al.*, 2005:231):

- Costo habitual; costos básicos de los equipos y materiales utilizados para todo el proceso de producción.
- Costo oculto regulado; que incluye las notificaciones, la presentación de informes, monitoreo/pruebas, mantenimiento de registros, control de cierre/post-cierre, impuestos ambientales, entre otros. Para tener en cuenta adecuadamente estos costos ocultos todas las regulaciones pertinentes deben ser identificados antes del análisis.
- Costos de responsabilidad; cubren las posibles sanciones, multas otros elementos de costos relacionados con la responsabilidad, tales como las de cumplimiento, remediación y compensación. Estos costos son estimados, no pueden ser conocidos exactamente de antemano.

Finalmente, los resultados de cada estudio los normalizaron y representaron en un gráfico de eco-eficiencia, para conocer las alternativas más eco-eficientes.

Los resultados se presentan en la gráfica (2.1), en el que se observa que de las cinco propuestas, la más eco-eficiente fue la C ya que reduce el costo en un 20% y los impactos de toxicidad en el agua un 42% en comparación con la base (Suh *et al.*, 2005: 236).

Gráfica 2.1
Eco-eficiencia de las alternativas para la prevención de la contaminación



Fuente: elaborado con base en Suh, *et al.*, (2005). Eco-efficiency for Pollution Prevention in Small to Medium-Sized Enterprises: A Case from South Korea. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9(4), p. 236.

Capítulo 3 La industria del cemento y las estrategias implementadas para mitigar las emisiones de CO₂

Introducción

La industria ha sido el motor indispensable de la economía y el crecimiento de la sociedad moderna. La mayor parte de las necesidades humanas, se cumplen a través de los bienes y servicios producidos por la industria. De esta manera, la industria contribuye al desarrollo de actividades económicas, pero también a la contaminación del medio ambiente (Kharel y Charmondusit, 2008). En este sentido, la industria de la construcción ha fomentado la producción del cemento la cual tiene un alto impacto ambiental que genera grandes cantidades de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

El objetivo del capítulo es describir la industria del cemento, su proceso de producción, las emisiones de CO₂ de cada etapa del proceso y las estructuras que han desarrollado las empresas para poder combatir sus impactos ambientales.

3.1 Emisiones de gases de efecto invernadero

Debido al rápido crecimiento que han tenido la industria y el transporte público y privado, se han alcanzado altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El problema es que se prevé que siga aumentando este nivel de emisiones, tan solo en el 2015 se tuvo 50% más emisiones que en 1997 (Agencia Internacional de Energía [IEA, por sus siglas en inglés], 2015). La acumulación de los GEI dará lugar al aumento de la temperatura media global (TMG) hasta 5,8°C más alta que la temperatura actual, si este nivel de emisiones continúa (IEA, 2015).

Benhelal, Zehendi, Shamsaei y Bahadori (2013: 142) señalan que el aumento de TMG podría dar lugar a:

- Riesgos para los sistemas únicos y amenazados; si la TMG aumenta de 1°C a 2.5°C se generaría la extinción del 20-30% de las plantas y animales

conocidos, planteando riesgos para muchos sistemas únicos y amenazados, entre ellos muchos puntos de gran biodiversidad.

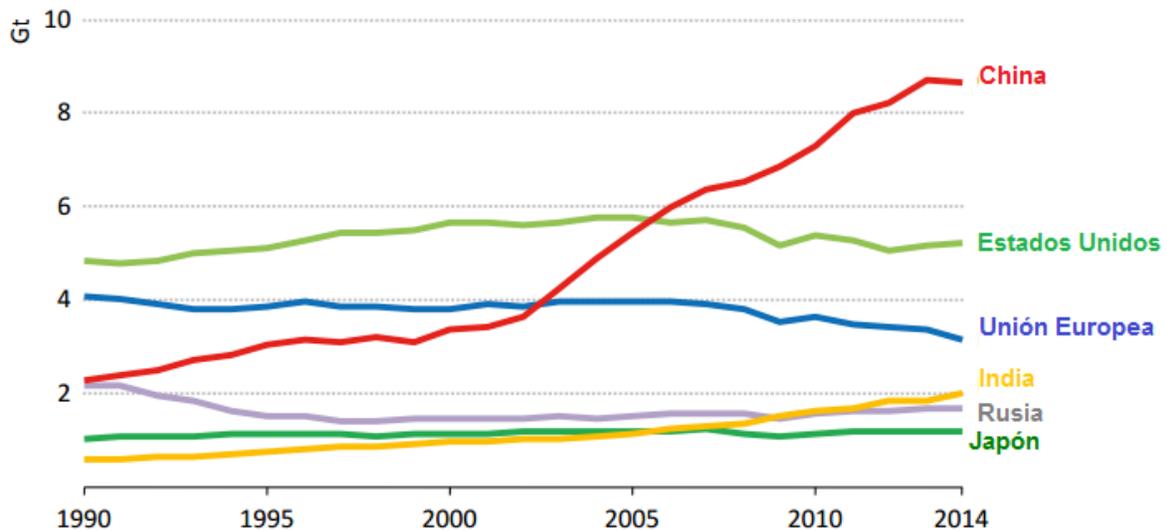
- Riesgo de fenómenos meteorológicos extremos; aumentos en las olas de calor, precipitaciones intensas, y la intensidad de los ciclones tropicales son algunos de los fenómenos meteorológicos extremos, que va a pasar si TMG se eleva continuamente.
- Riesgos de discontinuidades a gran escala; el calentamiento global durante muchos siglos daría lugar a un aumento del nivel del mar, lo cual está asociado a la pérdida de la zona costera y otros impactos.

El protocolo de Kioto y la Conferencia de Copenhague se encuentran entre los principales esfuerzos que se han generado para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero, que forman parte de los esfuerzos globales de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). En virtud de estos acuerdos algunos países se han comprometido a reducir sus emisiones de GEI a determinados niveles (Benhelal *et al.*, 2013: 143).

Cabe señalar que CO₂ es el gas más importante y abundante entre todos los gases de efecto invernadero, tiene la mayor contribución en el fenómeno del calentamiento global. Lo que genera que la mayoría de las estrategias para reducir los GEI se enfoquen en el CO₂, como una estrategia primordial (Benhelal *et al.*, 2013).

Las emisiones de CO₂ son consecuencia principalmente del consumo de combustibles intensivos de carbono y alto índice de productos químicos y petroquímicos, la mayor proporción de las emisiones de CO₂ se originó en los países desarrollados y en algunos en desarrollo. Tan solo, dos tercios de las emisiones mundiales de CO₂ en el 2014, pertenecieron a China, Estados Unidos, India, Rusia, Japón, Alemania, Corea, Canadá, Irán y Arabia Saudita. Siendo China el país con mayores emisiones abarcando el 28% de las emisiones mundiales, mientras que Estados Unidos se encuentra en segundo lugar con el 16%. En conjunto estos dos países emiten un total de 14.1 giga toneladas de CO₂ (IEA, 2015).

Gráfica 3.1
Principales países emisores de CO₂



Gt: giga tonelada

Fuente: International Energy Agency (2015). *Energy and Climate Change, World Energy Outlook Special Report*. IEA Publications, París, Francia, p. 34.

En cuanto a los principales sectores productores de CO₂, en el 2014 se tuvo que la electricidad y generación de calor, el transporte, la industria y el uso residencial, son los sectores que generaron mayores emisiones de CO₂ (ver figura 3.2) (IEA, 2015).

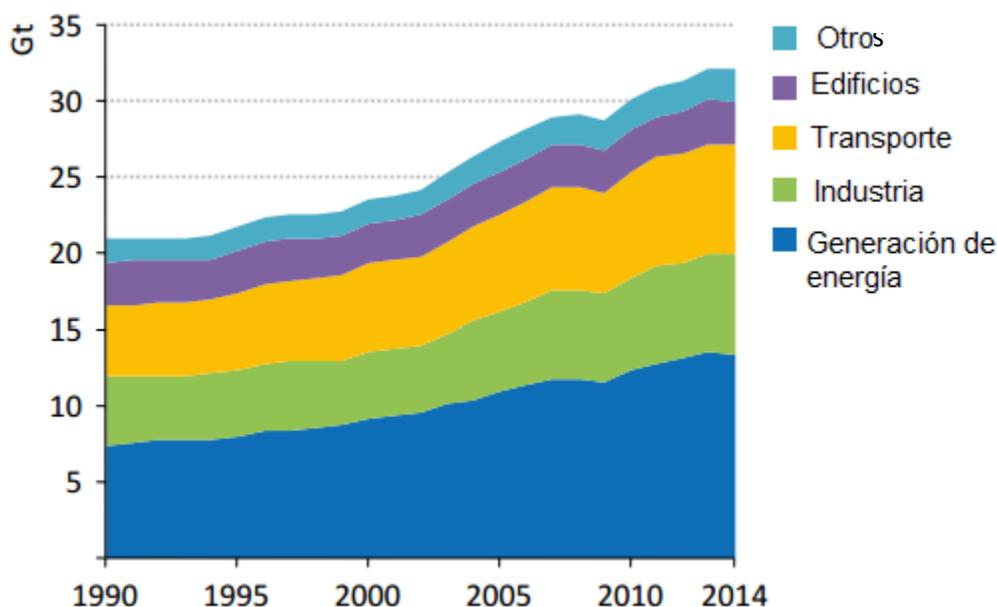
De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía, en el 2014 el sector con mayores emisiones de CO₂ fueron la electricidad y generación de calor, responsables del 42% de las emisiones globales. A causa de la combustión de carbón y el uso intensivo de combustibles fósiles (IEA, 2015).

El segundo sector con mayores emisiones de CO₂, fue el transporte con la participación del 22% de las emisiones globales. Se espera un alto crecimiento de las emisiones de los medios de transporte en el futuro, tan solo para el 2030 se prevé que la demanda de transporte se incrementará en un 45% en comparación con el nivel del 2010 (IEA, 2015).

Las emisiones de la industria forman parte del tercer sector que tiene mayores emisiones. De 1990 a 2014 las emisiones mundiales de CO₂ de la industria de los países en desarrollo y de China se duplicaron (IEA, 2015). Este incremento fue

impulsado principalmente por la producción de materiales con alto consumo de energéticos, como el cemento y el acero.

Gráfica 3.2
Emisiones mundiales de CO₂, por sector



“Otros” incluye la agricultura, las industrias de energía diferentes a la electricidad y generación de calor, la extracción de petróleo y gas y la energía de transformación.

Fuente: International Energy Agency (2015), *Energy and Climate Change, World Energy Outlook Special Report*. IEA Publications, Paris, Francia, p.50.

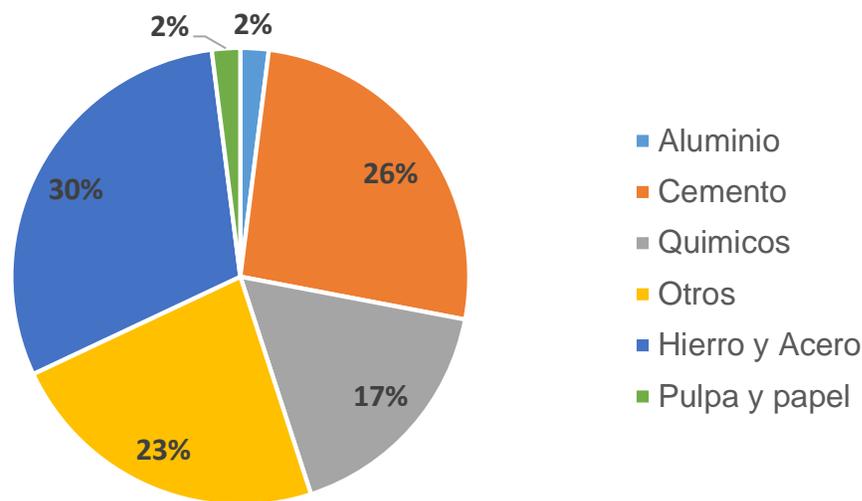
Dentro de las emisiones de CO₂ de la industria, se tiene que en el 2006 la industria del cemento generó el 26% de las emisiones totales de la industria, ubicándose como la segunda industria que más contamina, superada por la de hierro y acero que emitió el 30% de las emisiones totales (ver gráfica 3.3).

Además en el estudio que realiza Heede (2014) para analizar las emisiones de CO₂ y metano a los productores de combustibles fósiles y de cemento en el periodo de 1854-2010, identificaron a 90 empresas como las más contaminantes, las cuales generaron 914 Gt de CO₂ durante todo el periodo de estudio representando el 63.4% de las emisiones globales de dióxido de carbono, 56 fueron empresas productoras de crudo y gas natural, 37 extractoras de carbón (incluyendo filiales de compañías de petróleo y gas) y 7 productoras de cemento, estas últimas generaron

13.21 Gt de CO₂, representando 1.45% de las emisiones de las 90 empresas seleccionadas.

Lo que demuestra que si bien el sector de generación de calor y de productos fósiles es el más contaminante, las cementeras no se quedan atrás y se posicionan como una de las industrias más contaminantes, en el 2005 ésta participó con el 5% de las emisiones globales de CO₂ (Herzog, 2009).

Gráfica 3.3
Emisiones de CO₂ en la Industria en el 2014



Fuente: International Energy Agency (2015). *Energy and Climate Change, World Energy Outlook Special Report*. IEA Publications, Paris, Francia, p.87.

3.2 La industria del cemento

Los productos de cemento se han utilizado desde hace 2000 años; hay vestigios en construcciones de los griegos y romanos, posteriormente a principios de 1800 se comenzó a producir el cemento moderno. Al pasar de los años la industria del cemento ha tenido cambios; sin embargo, el producto sigue manteniéndose igual (WBCSD, 2002a).

A través del tiempo, el cemento se ha posicionado como uno de los materiales más consumidos a nivel mundial, forma parte de la materia prima del concreto junto con la arena, grava y aditivos químicos. Siendo el concreto el segundo material más

consumido en el mundo después del agua (WBCSD, 2002a: 10; De Benedictis, Nenci, Santoni, Tajoli y Vicarelli 2013: 4). El cemento se vuelve automáticamente en un material fundamental para satisfacer las necesidades de la sociedad para la vivienda y la infraestructura básica (WBCSD, 2002b).

La Iniciativa Sostenible del Cemento lo define al cemento hidráulico como:

"[...] un polvo fino, de color gris, que después de mezclarlo con agua se endurece en un material sólido y fuerte. Prácticamente todo el cemento que se produce en el mundo se mezcla con arena, áridos y agua, para que se utilice en hacer hormigones y morteros" (WBCSD, 2002c: 9).

La Norma Oficial Mexicana 040-SEMARNAT-2002 define el cemento hidráulico como:

"Es un material inorgánico (Clinker) finamente pulverizado, [...] que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava, asbestos u otros materiales similares, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de las reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad" (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2004: 12).

Las principales características de la industria del cemento son:

- El proceso de producción del cemento requiere de una fuerte inversión de capital; es una de las industrias más intensivas en capital, el costo de una nueva planta de cemento es equivalente alrededor de tres años de ingresos, siendo que las plantas de cemento modernas tienen una capacidad por encima de un millón de toneladas por año (WBCSD, 2002b).

Por lo que al realizar una inversión para aumentar su capacidad de producción o de alguna planta nueva, se considera que el nivel proyectado de la demanda de cemento justifique la inversión, esto con el objetivo de asegurar un continuo suministro de cemento para cumplir con los programas nacionales de desarrollo y disfrutar de menores costos mediante un mejor sistema de producción (Low, 1993).

- Proceso intensivo de energía; se requiere de altas temperaturas para calentar la piedra caliza y obtener el Clinker, para esto se necesita aproximadamente el equivalente de 60 a 130 kilogramos de gasolina y 110kWh de electricidad para producir una tonelada de cemento⁸ (Low, 1993; WBCSD, 2002b).
- Instalaciones innovadoras; existen pocas empresas que fabrican suministros de equipos para plantas de cemento (debido a su costo), por lo que los proveedores están en constante mejora y actualización de sus diseños, para cumplir con criterios ambientales y principalmente de eficiencia (WBCSD, 200b).
- Producto homogéneo; a pesar de que el cemento se produce a nivel global en miles de plantas distribuidas en todo el mundo, existen pocas variedades de cemento y productos, por lo cual los diferentes productores pueden ser sustituidos entre si fácilmente (WBCSD, 2002b).
- Producto pesado y rápida caducidad; debido a las cualidades de los materiales que integran el cemento, es un producto pesado y de rápida caducidad⁹. Lo que genera que su transportación vía terrestre sea muy cara y limitada, generalmente a 300 kilómetros de cualquier sitio de una planta (WBCSD, 2002a). Para reducir los costos de transportación, las empresas optan por ubicar sus plantas de producción en lugares estratégicos, entre el consumidor y el proveedor de materias primas (Cross, 1994: 37), buscando una ventaja geográfica (Low, 1993)
- Bajo comercio exterior; debido a su peso y rápida caducidad, las empresas cementeras prefieren desarrollar estrategias que se enfoquen a la inversión extranjera directa, que exportar el producto (Vera, 2015: 7).
- Mercado muy ligado al ciclo económico; dado que el principal consumidor de cemento es la industria de la construcción y esta a su vez tiene una relación estrecha con el ciclo económico, genera que la producción del cemento tenga

⁸ Las cantidades de combustible y electricidad utilizados depende de la variedad del cemento y el proceso utilizado (WBCSD, 2002a).

⁹ Dependiendo de las condiciones climáticas y humedad del medio ambiente el cemento tiene una durabilidad aproximada de un mes (Schatan y Avalor 2013).

un fuerte vínculo con la economía de los países. Tal es el hecho, que en los países en desarrollo el crecimiento del mercado es lento o nulo, mientras que en los países en desarrollo las tasas tienden a crecer rápidamente (WBCSD, 2002b).

3.2.1 Proceso de producción del cemento

La producción de cemento es compleja y tiene un uso intensivo de energía, el proceso consiste en tres etapas: preparación de la materia prima, producción del Clinker (piro-procesamiento¹⁰) y la molienda del Clinker y mezcla para hacer el cemento (WBCSD, 2002b; WBCSD-CSI, 2005; Benhelal *et al.*, 2013) (ver figura 3.1).

La primera etapa de **preparación de la materia prima** abarca desde la selección de los yacimientos que serán explotados para obtener la piedra caliza, cantidades pequeñas de arcilla, esquistos y arena (que son fuentes de sílice, aluminio y hierro) y carbonato de magnesio (Vera, 2013; WBCSD-CSI, 2016). Los materiales son trasladados a las trituradoras donde se rompen y trituran las rocas para que queden entre 100mm y 50mm, se homogenizan y pulen (WBCSD-CSI, 2016a; Benhelal *et al.*, 2013).

La segunda etapa **producción del Clinker** comienza con el precalentamiento de la materia prima ya homogenizada en una serie de ciclones verticales. La materia prima pasa a través de estos ciclones y entra en contacto con los gases de escape calientes del horno y como resultado el calor se transfiere desde el gas a la materia (WBCSD-CSI, 2016a). Durante este proceso a medida que la temperatura se aproxima a 550°C, la caliza y el carbonato de magnesio comienzan a descomponerse en carbonato de calcio (CaCO_3), óxido de magnesio (MgO) y CO_2 , estas reacciones continúan en el calcinador (Benhelal *et al.*, 2013).

Posteriormente los materiales precalentados entran al horno para aumentar más la temperatura de la materia prima ya precalentada. El combustible se agrega

¹⁰ Es el proceso que va desde el precalentado de la materia prima, el calcinador, el horno y el enfriamiento (Benhelal *et al.*, 2013: 144).

directamente al horno rotatorio, siendo la ceniza resultante de este combustible absorbida en el material que se produce, la temperatura para que se generen todas las reacciones químicas (se conviertan los óxidos de calcio y silicio en silicatos de calcio) y se forme el Clinker puede llegar hasta los 2000°C (WBCSD-CSI, 2016a). A continuación se enfría el Clinker a 100°C a través de ventiladores eléctricos en refrigeradores, el aire caliente que resulta de los refrigeradores generalmente se reutiliza en la etapa de precalentamiento y en el horno (Benhelal *et al.*, 2013). En esta etapa es cuando mayor impacto ambiental se genera, las emisiones de CO₂ generadas en la producción del Clinker abarcan el 50% del total de emisiones de toda la producción (Benhelal *et al.*, 2013).

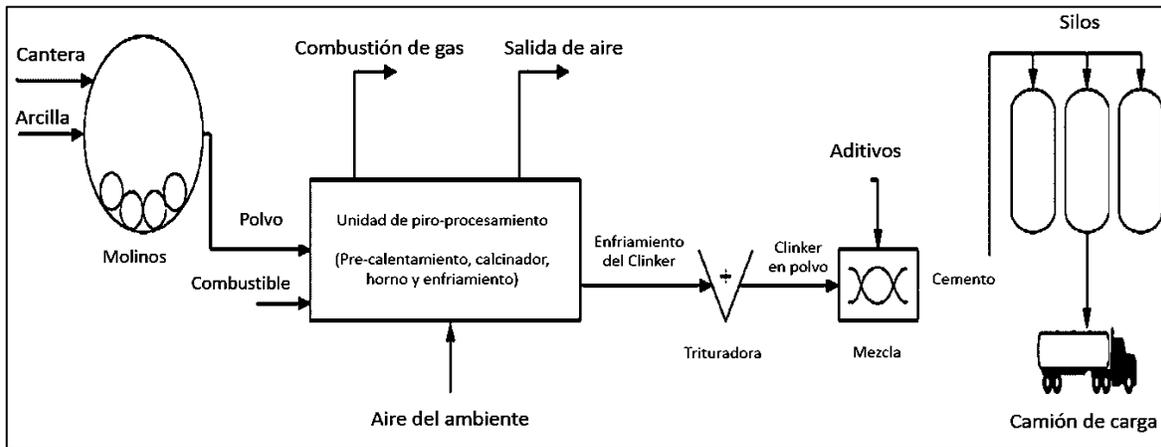
Esté proceso tiene tres diferentes alternativas, se realiza con materia prima húmeda, semi-húmeda o seca. En el proceso húmedo, la materia prima tiene un 30% de humedad por lo que se introduce directamente en el horno, consumiéndose toda la energía para evaporar la humedad y para preparar los materiales para la reacción de calcinación. En el proceso semi-húmedo se tiene una humedad del 10 al 20% y se precalientan los materiales con los gases que escapan del horno. Mientras que en el proceso con materias primas secas, se necesitan precalentar y luego introducirlas en el horno, logrando el proceso de calcinación antes de entrar al horno (Benhelal *et al.*, 2013).

En la tercera etapa, el **Clinker se muele y mezcla** con una pequeña cantidad de yeso, para dar como resultado al cemento ordinario portland (OPC, por sus siglas en inglés) el tipo de cemento más comercializado en el mundo (WBCSD, 2002b).

Teniendo en cuenta que otros usuarios requieren que el cemento tenga determinadas propiedades particulares, existen otros tipos de cementos. A estos cementos se les puede agregar en la molienda, aditivos como escorias¹¹ y cenizas, puzolana (un tipo de escoria volcánica finamente molida), entre otros aditivos. Los cuales son mezclados con cal, para actuar como OPC, se endurecen bajo agua (WBCSD, 2002b).

¹¹ La escoria de horno alto es un residuo de la industria metalúrgica, formado por silicatos y otras bases, producto de la fusión del hierro en un alto horno (Navarra y Vasco 2007).

Figura 3.1
Proceso de producción del cemento



Fuente: Adaptado de Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E. y Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. *Journal of cleaner production*, Vol. 51, pp. 142-161.

Debido a que el cemento se usa en la industria de la construcción, se hace con estrictos estándares, dependiendo del país en el que se produzca. Los estándares se usan para limitar el tipo y la cantidad de aditivos que se utilizan para integrar el cemento, así como para limitar la emisión de GEI, principalmente CO₂ (WBCSD, 2002b).

Por ejemplo, para la Unión Europea se encuentra el estándar EN 197-1, que es la norma europea de especificaciones de cementos comunes, la cual determina la composición de cada tipo de cemento (UNE-EN 197-1:2000/A3:2011); también se encuentran las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), enfocadas a las especificaciones de los componentes del OPC (ASTM C150), la de requisitos de los cementos hidráulicos compuestos (ASTM C593) y la de requisitos de desempeño de los cementos hidráulicos (ASTM C1157) (ASTM, 2016). Por su parte la ISO también tiene sus especificaciones, métodos de ensayo y definiciones para diferentes tipos de cementos y cal, y para su uso en la construcción a través del comité técnico ISO/TC 74, que ha publicado siete especificaciones para diferente tipos de cemento (ISO/TC 74, 2016).

El estándar europeo EN 197-1 clasifica de acuerdo a la composición del cemento en cinco tipos de cementos (UNE-EN 197-1:2000/A3:2011):

- a) Cemento Portland; este cemento está compuesto por el 95% de Clinker.
- b) Cemento Portland compuesto.
- c) Cemento de alto horno.
- d) Cemento puzolánico; con un contenido máximo de 40% de puzolana¹².
- e) Cemento compuesto; este cemento es el que menor porcentaje de Clinker tiene, desde el 64% hasta el 20% de Clinker.

3.2.2 Fuentes de emisiones de CO₂ en la producción del cemento

La etapa de producción que más impacto ambiental genera es la de obtención del Clinker o piroprocesamiento, para generar los cambios químicos necesarios se emite (Vera, 2016):

- Polvo o partículas
- Gases de óxido de sulfuro (SO₂)
- Gases de óxido de nitrógeno (NO₂)
- Gases de dióxido de carbono (CO₂)

Asimismo, las principales fuente de emisiones de CO₂ del proceso de producción son: la combustión, la calcinación y las emisiones indirectas (ver figura 3.2):

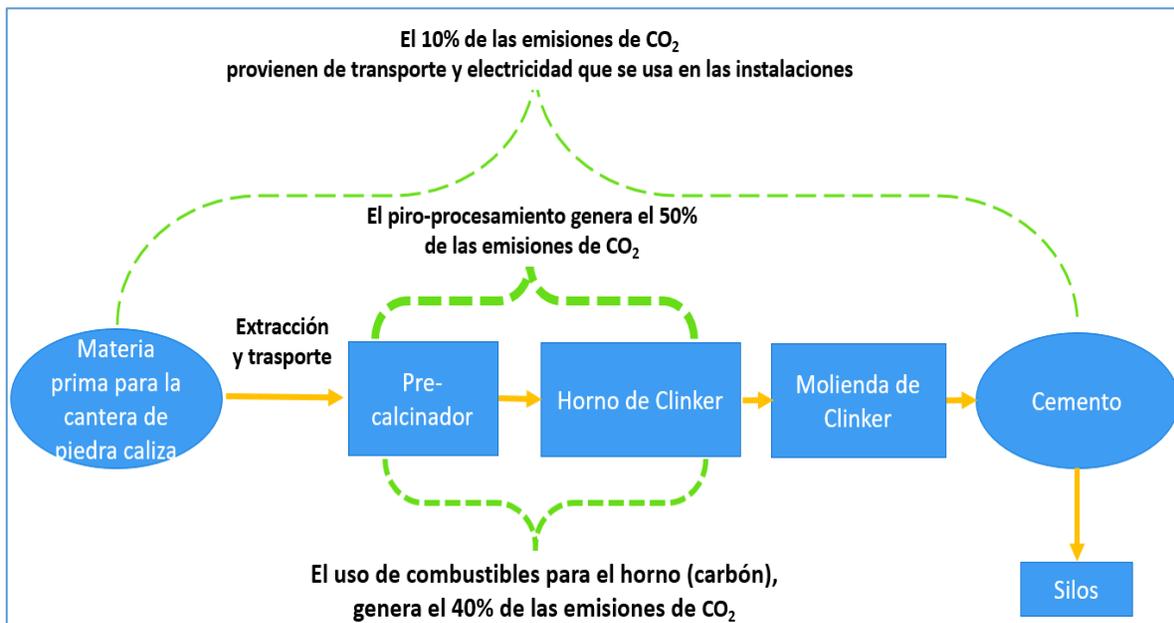
- Las emisiones de la combustión dependen del tipo de horno y combustible que se utilice; el más utilizado es el carbón (Zhou, Jiang, Chen, Griffy-Brown, Jin y Zhu, 2016), esta fuente produce el 40% de las emisiones totales de CO₂ (Benhelal *et al.*, 2013).
- Las emisiones por calcinación resultan de la combustión de combustibles, principalmente carbón y de la descomposición de la materia prima que sucede durante el precalentamiento y el calcinador (Zhou *et al.*, 2016), como

¹² “Son sustancias naturales, artificiales o subproductos industriales, silíceas o silicoaluminosas, o una combinación de ambas, las cuales no endurecen por sí mismas cuando se mezclan con agua, pero finamente molidos, reaccionan en presencia de agua a la temperatura ambiente con el hidróxido de calcio y forman compuestos con propiedades cementantes” (Instituto Mexicano del cemento y el concreto, 2009: 70).

parte de la transformación de las materias primas ocurre la reacción química de descarbonatación en la que se desprende CO₂ (Vera, 2013). Esta fuente constituye la mayor proporción de emisiones con casi el 50% del total de emisiones (Benhelal *et al.*, 2013).

- Las emisiones indirectas provienen del transporte de las materias primas, generación de electricidad tanto para las instalaciones como para los ventiladores eléctricos que enfrían el Clinker y de la mezcla del mismo (Zhou *et al.*, 2016; Benhelal *et al.*, 2013), constituyendo el 10% de las emisiones (Benhelal *et al.*, 2013).

Figura 3.2
Emisiones de CO₂ en el proceso de producción del cemento



Fuente: Elaborado con base en diagrama de Zhou *et al.* (2016), Capturing CO₂ from cement plants: A priority for reducing CO₂ emissions in China. *Energy*, Vol. 106, pp. 464-474; información de Benhelal *et al.* (2013). Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. *Journal of cleaner production*, Vol. 51, pp. 142-161.

El corazón de la producción del cemento depende de la etapa de obtención del Clinker, dado que cualquier tipo de cemento está compuesto por este material en mayor o menor cantidad, y al mismo tiempo esta etapa es la que genera la mayor

contaminación, por lo cual la producción del cemento es “*intrínsecamente insustentable*” (Vera, 2013: 327).

3.2.3 Producción mundial del cemento

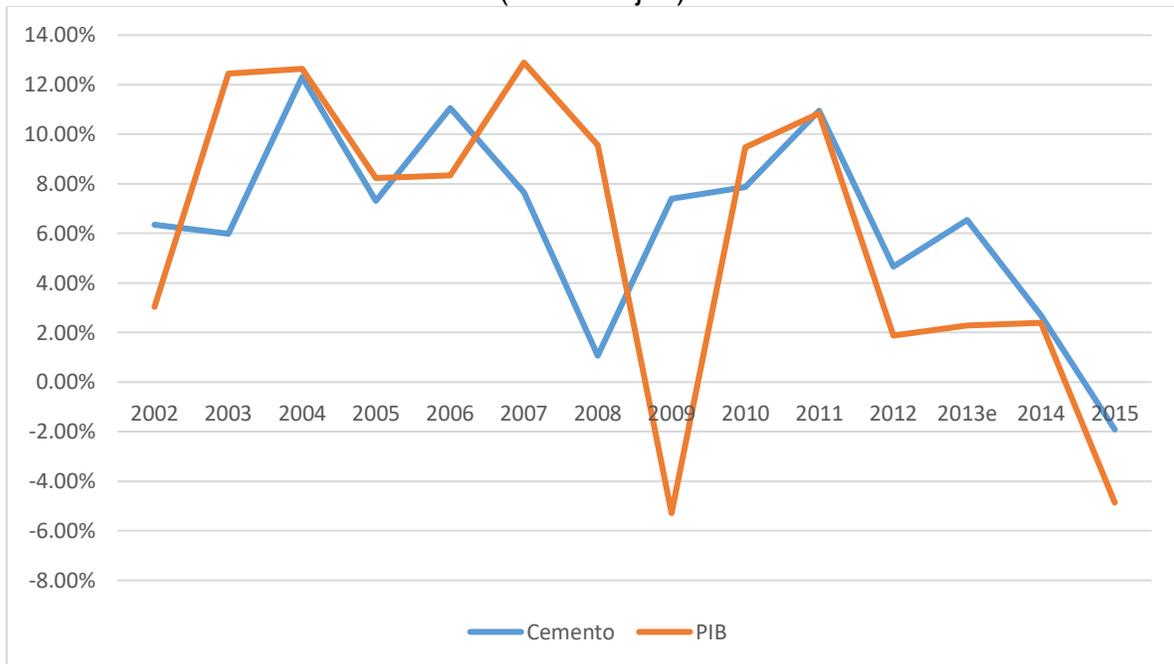
La producción mundial del cemento en el 2015 fue de 4 100 millones de toneladas (Mt). El principal productor fue China, abarcando el 57% de la producción mundial, el segundo productor fue India con una participación del 6.59%, mientras que Estados Unidos se ubicó en el tercer lugar con el 2.03% de la producción mundial (van Oss, 2016).

Vera (2013: 96) señala que la producción del cemento es una variable pro cíclica, es un insumo básico de la industria de la construcción y por lo tanto sus movimientos “[...] *están influenciados por el desenvolvimiento del ciclo económico*”. En la gráfica 3.4 se presenta el movimiento que ha tenido la producción del cemento y el producto Interno Bruto (PIB) en el periodo de 2002 al 2015.

La producción del cemento tuvo un periodo de alto crecimiento de 1999 al 2004, alcanzando en promedio un crecimiento de 6.8%; sin embargo, a partir del 2006 comienza a descender su tasa de crecimiento hasta llegar a 1.07% en el 2008, a pesar de esto no disminuye tanto como lo hace el PIB para el 2009, que inclusive llega a tener una tasa negativa.

La producción mundial del cemento se logra mantener en el 2008 y recuperar en el 2009, debido a que China e India son los principales productores de cemento, y durante el 2008 se redujo su tasa de crecimiento sin llegar a ser negativa (como el caso de Estados Unidos), y para el 2009 tuvieron muy altas tasas de crecimiento, al contrario del PIB. Este crecimiento lo mantuvieron hasta el 2011, a partir del cual comenzaron a tener menores tasas de crecimiento, por una parte India en el 2014 tuvo una caída del -7.14%, recuperándose para el 2015. Mientras que China en el 2015 tiene una caída de -5.24%, y el WBCSD-IEA (2009b) estima que siga disminuyendo.

Gráfica 3.4
Crecimiento del Producto Interno Bruto y de la producción del cemento a nivel mundial
(Porcentajes)



Fuente: elaboración propia con base en datos de International Monetary Fund [IMF] (2017). *World Economy Outlook Database, October 2015*. Recuperado de <<http://www.imf.org/external/pubs/ft/veo/2015/02/deodara/download.aspx>> (23 de marzo de 2017); Van Oss, H. (2016). Cement, en *Mineral yearbook 2015, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, p. 44, enero 2016; Van Oss, H. (2011). Cement, en *Mineral yearbook 2010, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, enero 2011, p.49, y Van Oss, H. (2006). Cement, en *Mineral yearbook 2005, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, enero 2011, p. 55.

3.3 Iniciativa Sostenible del Cemento

La industria del cemento se caracteriza por ser una de las industrias que debido a su actividad, emite una gran cantidad de emisiones de dióxido de carbono; sin embargo, también es una de las industrias que tiene una de las mayores organizaciones para abatirlo (Vera, 2016).

La principal organización que se ha desarrollado como respuesta de las empresas cementeras ante su impacto ambiental es la Iniciativa Sostenible del Cemento (CSI, por sus siglas en inglés), la cual tiene como propósitos (WBCSD, 2002b: 2):

- Explorar lo que significa el desarrollo sustentable para las empresas cementeras asociadas y la industria del cemento.

- Identificar y facilitar las acciones que pueden tomar las empresas como grupo o individualmente para lograr el desarrollo sustentable.
- Proporcionar un marco de referencia a través del cual otras empresas cementeras pueden participar.
- Fomentar un medio de participación para que las partes interesadas externas puedan participar.

La CSI se creó en 1999 bajo el auspicio del Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable. La integraron las 10 principales empresas cementeras (ver tabla 3.1), que en ese entonces abarcaban más del 30% de la producción mundial del cemento y sus plantas de producción estaban presentes en casi todos los continentes (WBCSD-CSI, 2012). Para el 2016 la Iniciativa ya contaba con 24 empresas miembros y con asociaciones nacionales y regionales de comercio de cemento (WBCSD-CSI, 2016a).

Tabla 3.1
Empresas fundadoras del CSI

Empresa cementera	País
Cementos Mexicanos (Cemex)	México
Cimpor	Portugal
Heidelberg Cement	Alemania
Holcim	Suiza
Italcementi	Italia
Lafarge	Francia
RMC	Inglaterra
Siam Cement Group	Tailandia
Tlaheiyto Cement	Japón
Votorantin	Brasil

Fuente: elaboración propia con base en World Business Council for Sustainable Development (2002b). *The cement sustainability initiative, our agenda for action*. World Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza, p. 56.

La Iniciativa comenzó, con la creación del Grupo de Trabajo de Cemento (WGC, por sus siglas en inglés) en 1999, integrado por tres empresas cementeras que, auspiciadas por el WBCSD, buscaban un acercamiento de la industria a la sustentabilidad, entender que significaba la sustentabilidad para las empresas cementeras y a través de qué tipo de estrategias se podría lograr (WBCSD, 2002b).

Por lo que la Iniciativa se enfocó en tres etapas: la primera en el estudio independiente del instituto Battelle, que da un panorama de cómo se encuentra la industria ante la sustentabilidad, la segunda se basa en la Agenda de Acción, que determina toda la planeación y objetivos para el 2020, y la última etapa es la de acción que abarca del 2002 al 2020 y se basa en proyectos individuales de cada empresa, proyectos en conjunto y comunicación y divulgación de los resultados, estrategias implementadas y objetivos alcanzados (ver figura 3.3) (Klee, 2004).

Figura 3.3
Proceso de la Iniciativa con objetivos al 2020



Fuente: Klee, H. (2004). The cement sustainability initiative. *Proceedings-Institution of civil engineers engineering sustainability*, Vol. 157, pp. 9-12.

3.3.1 Estudio independiente (Battelle)

El Grupo de Trabajo de Cemento contrató a Battelle Memorial Institute en 1999 para que realizará un programa de investigación independiente, con el fin de evaluar el estado de la industria del cemento con respecto del desarrollo sustentable y proporcionar una visión y recomendaciones que las empresas cementeras y sus grupos de interés siguieran juntos con el fin de contribuir a un futuro más sustentable (WBCSD, 2002a: 9).

Para que el programa de investigación fuera verdaderamente independiente y creíble fue supervisado por un grupo de verificación externa conformado por Mostafa Tolba (ex director general de PNUMA), William Reyli (ex administrador de la EPA), entre otros (Klee y Coles, 2004).

Los resultados de la investigación se publicaron hasta el 2002, con el informe titulado "*Hacia una industria cementera sostenible*". Fue dirigido a dos audiencias: (1) a las partes interesadas de la industria, para dar a conocer una visión general de la industria del cemento y su posible potencial para llegar a ser más sustentables, y (2) a las empresas cementeras, con el fin de proveer una evaluación de su estado actual y recomendaciones para mejorar su sustentabilidad (WBCSD, 2002a).

Se delimitó que el propósito de negocio de la Iniciativa Sostenible del Cemento es cambiar las operaciones de la empresa de una visión tradicional en la que se usan de manera intensiva los recursos y se maximizan las ganancias del negocio, hacia un modelo de **eco-eficiencia**, socialmente responsable y maximización del valor. En el que un negocio sustentable pueda competir eficazmente a través del aumento de los beneficios mientras disminuye el costo de capital, "*haciendo más con menos*" (WBCSD, 2002a: 17).

Para realizar el análisis, el Instituto primero determinó lo que debe ser un negocio sustentable, señalando qué es la capacidad de "*anticipar y satisfacer las necesidades económicas, sociales y ambientales de las generaciones presentes y futuras de los clientes y las partes interesadas*" (WBCSD, 2002a: 17). El desarrollo sustentable únicamente se puede lograr cuando se genere una verdadera sinergia entre la sustentabilidad y la rentabilidad de una empresa. Para lograr esto el programa de investigación buscó conductores que tradujeran el desarrollo sustentable hacia la generación de valor para la empresa. Por ejemplo, utilizar residuos como materia prima y mejorar la eficiencia energética que conlleva a reducir costos de la operación y a un mejor uso de los activos (WBCSD, 2002a).

Posteriormente analizó las fuerzas de cambio que fomentan que las empresas cementeras adopten estrategias enfocadas hacia el desarrollo sustentable, así

como las barreras que limitan este cambio, entre las principales fuerzas se encuentran (WBCSD, 2002a: 18-20):

- Demanda de las partes interesadas; las cuales expresan cada vez más sus puntos de vista e inclusive toman acciones políticas.
- Necesidades de los clientes; que demandan cementos y concretos especiales que satisfagan sus preferencias ambientales y durabilidad.
- Economías en desarrollo; que representan una oportunidad de negocio para el sector privado debido a que su población está en constante crecimiento. Sin embargo, algunos grupos de estas poblaciones exigen que el crecimiento económico no ocurra a expensas del bienestar ambiental y social.
- Preocupaciones ambientales; a nivel local, en donde las comunidades demuestran sus preocupaciones por los impactos ambientales asociados a las plantas de cemento, ya sea por contaminación del agua, el impacto en la tierra, el polvo, el ruido y por emisiones de gases tóxicos.
- Políticas de regulación; las cuales están poniendo cada vez más restricciones sobre las emisiones de gases tóxicos que emiten las industrias, principalmente están adoptando políticas de gestión de emisiones de carbono.
- Innovación; la industria del cemento está en constante innovación, tanto en los materiales que se utilizan como materia prima para el cemento como en los procesos o en los materiales que se usan para construcción, como son los polímeros orgánicos con propiedades similares al cemento.
- Transparencia; las expectativas del público para que las empresas comiencen a ser más transparentes no sólo con la información financiera, sino también con las prácticas con respecto a los derechos humanos y el medio ambiente. Siendo la comunicación a través de medios electrónicos la que ha impulsado la rendición de cuentas y la transparencia mundial.
- Precios de la energía; la economía de la producción del cemento ha tenido que cambiar debido a la volatilidad de los precios de la energía, lo que ha generado que las empresas exploren alternativas a los combustibles fósiles convencionales.

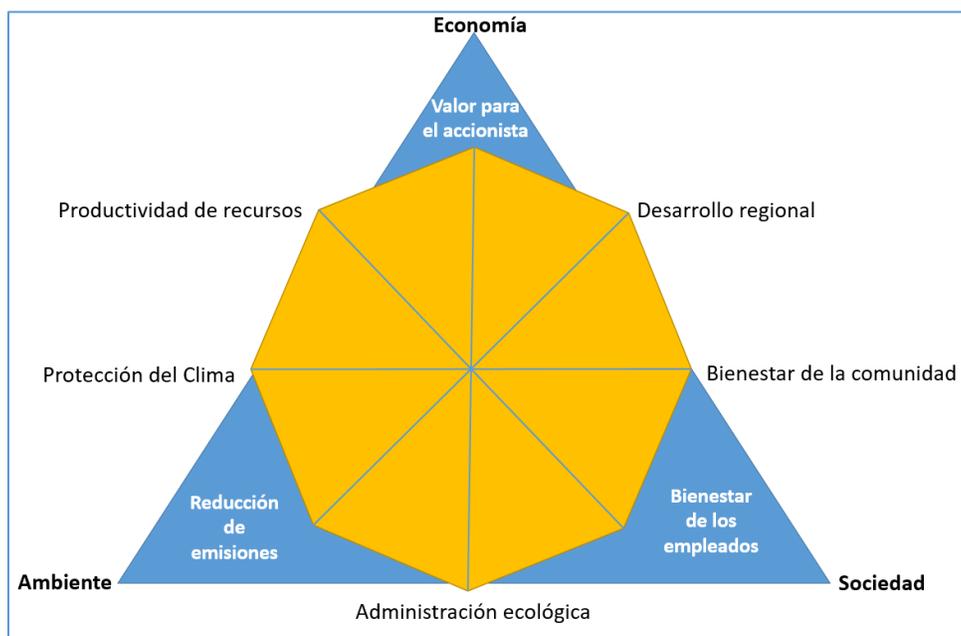
Entre las principales barreras que limitan a que las empresas se muevan hacia la sustentabilidad se tienen (WBCS, 2002a: 20,21):

- Cemento maduro; el cemento OPC es un producto que está consolidado en el mercado. Se ha demostrado que los consumidores se resisten al cambio en la composición del cemento OPC.
- Intensidad de los recursos; el cemento requiere una gran cantidad de energía y de materia prima, y aunque se sustituya dicha materia, se seguirá necesitando de la misma cantidad.
- Intensidad del capital; es una de las características de la industria que es una barrera para el cambio hacia la sustentabilidad, la modificación de una parte de la planta es muy cara, por lo que el periodo de recuperación de la inversión tiende a ser a largo plazo, lo que hace que los inversionistas tengan una actitud conservadora hacia el cambio.
- Estándares y especificaciones; el cemento y el concreto tiene estándares y especificaciones que garantizan su seguridad e integridad de las estructuras construidas, por lo que las innovaciones como cementos que contienen residuos son difíciles de usar.
- La inercia de la empresa; esta es la principal barrera hacia la sustentabilidad, las empresas cementeras quieren seguir operando como lo han hecho en el pasado, sin necesidad de invertir más y con las misma ganancias. Presentan una resistencia al cambio y escepticismo sobre las nuevas ideas.
- Presiones de mercado; se está presentando un uso más intenso del cemento, lo están ocupando en aplicaciones no críticas como son el enyesado y el embaldosado, lo que conduce a un agotamiento más rápido de los recursos.

Aunque el Instituto identifico estas barreras ya había algunas empresas cementeras que estaban implementando mejoras en su innovación para su desempeño ambiental y adoptando políticas y prácticas en plantas individuales. Sin embargo, la gran mayoría de las empresas que conformaban la industria del cemento no estaban contribuyendo en la medida de lo posible hacia la sustentabilidad en las regiones en las que operaban.

Una vez conocidas las fuerzas y barreras, el Instituto se enfocó en analizar las áreas en las que las empresas cementeras pueden contribuir al desarrollo sustentable a través de la triple cuenta de resultado (ambiental, social, económico), que derivó en 13 sub-estudios, de los cuales se identificaron ocho indicadores clave (KPIs) para que las cementeras contribuyan al desarrollo sustentable (ver figura 3.4).

Figura 3.4
Indicadores clave de la industria del cemento



Fuente: World Business Council for Sustainable Development. (2002). *Toward Sustainable Cement Industry. An independent study Comissioned by WBCSD*. Battelle Memorial Institute, Ginebra Suiza, p.27.

El instituto Battelle señala que cada uno de los ocho indicadores se puede medir y propone KPIs generales para cuatro (WBCSD, 2002a: 35):

- Productividad de recursos
 - Eficiencia de energía, toneladas de cemento por mega joule (en canteras y plantas)
 - Porcentaje de sustitución de combustibles
 - Porcentaje de sustitución de materia prima
- Protección del clima

- Emisiones netas de dióxido de carbono (Kg) por tonelada de cemento producido
- Reducción de emisiones
 - Basura producida por tonelada de cemento
- Bienestar del empleado
 - Porcentaje de incidentes (lesiones o enfermedades relacionadas con el trabajo) por 200 000 horas, ya sean empleados o contratistas

Determinando que para los otros cuatro indicadores (desarrollo regional, bienestar de la comunidad, administración ecológica y valor para el accionista) se necesita de investigaciones futuras, debido a que la mayoría de las empresas aún no generaban indicadores puesto que eran temas relativamente nuevos (WBCSD, 2002a).

A partir de los ocho indicadores identificados para el desarrollo sustentable, el Instituto propone diez recomendaciones principales, las cuales se dividen en dos grupos, las que abarcan temas específicos del desarrollo sustentable y las que permiten a la industria establecer los procesos internos y externos para facilitar las prácticas sustentables (WBCSD, 2002a).

Finalmente, el informe plantea una visión de la situación en la que deben estar las empresas cementeras para el 2020, las cuales deberán de haber integrado el desarrollo sustentable dentro de sus operaciones globales, ser conocidas como líderes en la industria ecológica e innovadoras en la gestión del dióxido de carbono, ser consideradas como empleadoras atractivas y haber establecido relaciones de confianza con las comunidades en la que operan (WBCSD, 2002a).

3.3.2 Agenda de Acción

Una vez identificados los ocho puntos críticos y las posibles soluciones, la iniciativa publicó en el mismo año la Agenda de Acción, en la cual se detalló el programa de trabajo que la Iniciativa tenía para los cinco años consecutivos a su publicación.

La Agenda de Acción partió de las diez recomendaciones que presentó el Instituto Bettelle en el Informe de *“Hacia una administración sustentable”*. Estas recomendaciones las dividió en seis áreas, cada una se enfocó en dos tipos de

proyectos: (1) proyectos conjuntos que involucran a varias empresas trabajando juntas para un solo objetivo, con la participación de las partes interesadas; (2) proyectos individuales, implementados de manera independiente por las empresas en las operaciones dentro de la empresa (WBCSD, 2002b).

La Iniciativa (WBCSD, 2002b: 18) señaló que a través de las seis áreas se puede lograr contribuciones significativas para alcanzar la sustentabilidad en sus tres esferas, social, ambiental y económica. Las seis áreas claves que propone la Iniciativa son:

- Protección del clima
- Combustibles y materia prima
- Salud y seguridad de los empleados
- Reducción de emisiones
- Impactos locales
- Procesos internos de negocios

Para el 2009 la Iniciativa agregó dos áreas (WBCSD-CSI, 2012):

- Reciclado de concreto
- Construcción sustentable

Cada una de las ocho áreas definidas, tiene medidas para implementarse a corto plazo y algunas requieren de un periodo más largo de planificación, adaptación y participación activa de otras partes interesadas.

Las estrategias que propuso la Agenda de Acción se presentan en la tabla 3.2, cada una de las áreas tuvo propuestas tanto en conjunto como individual para cada miembro de la Iniciativa. Las estrategias más importantes para combatir el cambio climático fueron las que pertenecen a las áreas de protección del clima, combustible, materias primas y reducción de emisiones.

- **Protección del clima**

Debido a que la producción del cemento tiene un uso intensivo de energía que genera una alta cantidad de emisiones de CO₂, la Iniciativa propuso como primera

etapa para abatir este tipo de emisiones y en general los GEI, el medir e informar esas emisiones (partiendo del principio de que no se puede controlar lo que no se mide), para que las empresas puedan fijar metas significativas para reducir sus emisiones, entender sus costos y monitorear el progreso. Para lograr este fin la Iniciativa en colaboración con el Consejo y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en inglés) desarrollaron un protocolo de CO₂, titulado Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (WBCSD, 2002b).

El protocolo estableció un enfoque común a todas las industrias, de cómo se deben medir y reportar las emisiones directas e indirectas de CO₂ en términos absolutos (toneladas de CO₂ por año) y específicas en unidades (kilogramo de CO₂ por tonelada de cemento producida). En el protocolo no se establecieron metas de reducción, cada empresa establece y pública sus propias metas, así como las estrategias más apropiadas para lograr dicha reducción (GreenHouse Gas Protocol, 2016; WBCSD, 2002b).

Entre las estrategias que propuso la Iniciativa en la Agenda de Acción para disminuir las emisiones de CO₂ se encuentran (WBCSD, 2002b: 20):

- Innovación para mejorar la eficiencia energética de los procesos y equipos
- Cambiar a combustibles con menor contenido de carbono
- Utilizar materias primas alternativas para reducir el uso de la piedra caliza
- Desarrollar técnicas de captura y secuestro de CO₂
- Aprovechar los mecanismos del mercado como el comercio de emisiones y las iniciativas voluntarias

La Iniciativa no delimitó los pasos que deben seguir las empresas para alcanzar las posibles estrategias; sin embargo, en los informes posteriores comienzan abarcar cada una de las áreas, sus posibles estrategias detalladas, así como los objetivos y metas alcanzadas.

Tabla 3.2
Resumen de la Agenda de Acción

Proyectos conjuntos	Acciones individuales
Protección del clima	
<ul style="list-style-type: none"> • Protocolo de CO₂ para la industria del cemento. • Trabajar con el WBCSD/Instituto Mundial de Recursos (WRI, por sus siglas en inglés) y otras organizaciones para investigar las políticas públicas y mecanismos de mercado para la reducción de emisiones de CO₂. 	<ul style="list-style-type: none"> • Usar las herramientas establecidas en el protocolo de CO₂ para definir y publicar sus emisiones base. • Desarrollar una estrategia de mitigación del cambio climático, y publicar las metas y avances para el 2006. • Elaborar un reporte anual sobre las emisiones de CO₂ de acuerdo al protocolo.
Combustible y materias primas	
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un conjunto de lineamientos para el uso responsable de combustibles y materias primas convencionales y alternativas en los hornos de cemento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar los lineamientos desarrollados para el empleo de combustible y materias primas
Salud y seguridad de empleados	
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer un Grupo de Trabajo de Salud y Seguridad. • Establecer un intercambio de información sobre Salud y Seguridad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Responder a las recomendaciones que el Grupo de Trabajo de Salud y Seguridad proponga para los sistemas, mediciones, y reportes públicos.
Reducción de emisiones	
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un protocolo de la industria para la medición, monitoreo y reporte de emisiones, y encontrar soluciones para la fácil evaluación de emisiones de sustancias como dioxinas y compuestos orgánicos volátiles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar el protocolo de medición, monitoreo y reporte de emisiones. • Disponer de un acceso público a los datos de emisiones para las audiencias de interés para el año 2006. • Fijar metas para emisiones de materiales relevantes y hacer público el reporte de los avances.
Impactos locales	
<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar lineamientos para un proceso de Evaluación del Impacto Ambiental y Social (ESIA) que se pueda usar en todas las plantas de cemento y canteras asociadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar los lineamientos ESIA, y desarrollar herramientas para integrarlas en el proceso de toma de decisiones. • Establecer planes de rehabilitación para sus canteras y plantas, y comunicárselos a las audiencias de interés locales para el año 2006.

Continua

Procesos empresariales internos	
<ul style="list-style-type: none"> • Investigar métodos para verificar el desempeño de la industria del cemento, incluyendo su desarrollo y el uso de los indicadores clave de desempeño. • Elaborar un informe de avance completo después de 5 años, y un reporte provisional después de 3 años. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar los programas de Desarrollo Sostenible a los sistemas de administración, monitoreo y reporte existentes. • Publicar una declaración de la ética empresarial para el 2006. • Establecer un proceso de diálogo sistemático con las audiencias de interés para comprender y atender sus expectativas. • Reportar el avance del desarrollo de los programas de participación de audiencias de interés. • Desarrollar sistemas de administración ambiental documentados y verificables en todas las plantas.

Fuente: World Business Council for Sustainable Development, (2002b:19) *The cement sustainability initiative, our agenda for action*. World Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

Combustibles y materias primas

Para esta área la Iniciativa recomendó acciones para el reciclaje y reuso de materias primas, energía y residuos de otras empresas. Lo que ha representado para la industria del cemento una oportunidad para reducir su impacto ambiental, orientado en disminuir residuos; por ejemplo, los subproductos minerales producidos por la industria de la minería, contienen materiales útiles que se pueden extraer para la producción del cemento. Además los residuos también se pueden llegar a ocupar como combustibles alternos, en lugar de los combustibles fósiles tradicionales, que en algunas ocasiones genera menores emisiones de CO₂ dependiendo del materia que reúsen como combustible (WBCSD, 2002b).

- **Reducción de emisiones**

En la Agenda de Acción se estableció que dentro de la prioridades de la Iniciativa, se encuentra el trabajar con partes interesadas y expertos para establecer un protocolo común para el monitoreo de emisiones como compuestos de azufre que pueden combinarse con agua y otras sustancias que están en la atmosfera y producir "lluvia ácida", NO_x que son responsables de la contaminación local de bajo

nivel, comúnmente llamado “smog” y partículas de polvo que deben ser monitoreadas para su control.

Al igual que en el área de protección al clima, las empresas deben informar sus indicadores de emisiones sobre materiales, así como indicar el progreso de cada uno de sus objetivos.

Todas las estrategias que recomienda la Iniciativa tienen un enfoque de eco-eficiencia, a pesar de que no se nombra como tal, buscan reducir el uso de los recursos maximizando los beneficios de las empresas.

3.3.3 Estrategias propuestas por CSI para lograr la Agenda de Acción

A partir de que se publica la Agenda de Acción, se comenzó a evaluar los avances cada año, así como el cumplimiento de las metas propuestas por cada empresa. De esta forma la Iniciativa ha publicado informes para establecer diferentes tipos de protocolos, indicadores claves y estrategias que pueden adoptar las empresas cementeras para lograr el cumplimiento de la Agenda de Acción y de los objetivos propuestos.

En los proyectos conjuntos se establecieron las mejores prácticas que deberían tener las empresas cementeras, resultado de estos proyectos el Protocolo de CO₂ del cemento publicado en el 2005 y la Guía de Monitoreo y Reportes de Emisiones publicada en el mismo año,

La mayoría de las estrategias propuestas por la Iniciativa tanto en sus informes como en los protocolos se han orientado al objetivo de mitigar las emisiones de CO₂, estrategias creadas bajo un enfoque de eco-eficiencia. Dado que el mayor costo de producción del cemento se presenta en la etapa del precalentamiento y en la obtención del Clinker, con el consumo de energía, abarcando un aproximado del 34% de energía térmica y 10% de energía eléctrica (Soria, 1982). Más aún, es en estas etapas donde se presenta las mayores emisiones de GEI, principalmente de CO₂, cerca de 900Kg de CO₂ por cada tonelada de cemento producida (Hasanbeigi, Menke y Price, 2010).

Es por esto que la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), la CSI y el WBCSD en el 2008 trabajaron juntos para identificar la tecnología que se necesita para reducir el impacto de CO₂ de la producción del cemento (principalmente de las etapas de precalentamiento y obtención del Clinker). Con los hallazgos desarrollaron una hoja de ruta tecnológica para el cemento, basada en los escenarios Azules¹³ que propone IEA y en los resultados de la investigación de la Academia Europea de Investigación en el Cemento patrocinada por la CSI (WBCSD-IEA, 2009a).

La hoja de ruta tecnológica (gráfica 3.5) propone cuatro niveles de reducción disponibles para la industria del cemento: eficiencia térmica y eléctrica, uso de combustibles alternativos, sustitución de Clinker y captura y almacenamiento de carbono. Todas las tecnologías propuestas tienen que aplicarse de manera conjunta si se quieren lograr los objetivos planteados en escenarios Azules ya que ninguna opción por si sola puede lograrlo (WBCSD-IEA, 2009a).

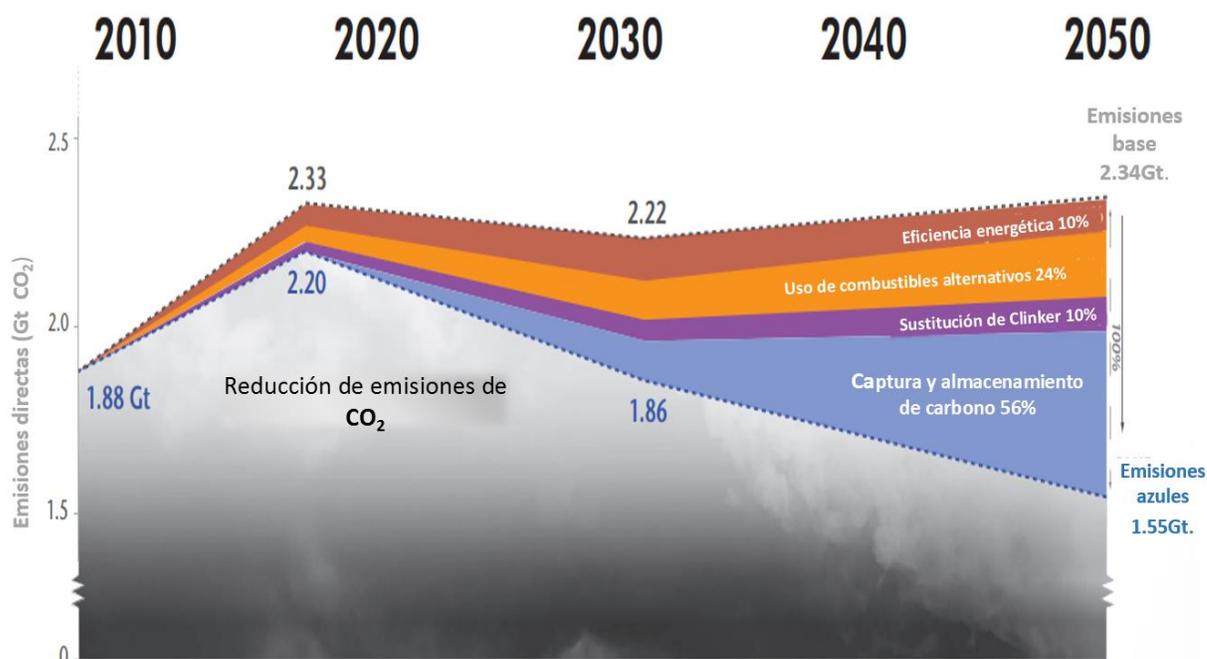
Cada una de las estrategias y tecnologías que se deben implementar en cada nivel se describen a continuación (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b; WBCSD-CSI 2014):

- **Eficiencia energética:** se propone que las cementeras hagan uso de tecnologías de vanguardia en nuevas plantas y en la modernización de equipos, principalmente hornos, para fomentar la eficiencia energética aprovechando la nueva tecnología. Las prácticas que sugieren son:
 - Uso y producción de energías renovables
 - Implementación de sistemas de recuperación de calor residual
 - Eliminar hornos de secado ineficientes, procesos de producción húmedos
 - Realizar auditorías energéticas regulares

¹³ Los escenarios azules son las perspectivas de tecnología energética que desarrolla IEA, en las cuales se describe “[...] como la economía energética global puede ser transformada para 2050, [con respecto al 2006] para alcanzar el objetivo global de reducir a la mitad las tasas anuales de emisiones de CO₂. El modelo MARKAL utiliza la optimización de costos para identificar mezclas de menor costo de tecnologías energéticas y combustibles para satisfacer la demanda de energía, dadas las limitaciones como la disponibilidad de recursos naturales” (WBCSD-IEA, 2009a: 3).

La implementación de estas prácticas favorece a la empresa, se incurre en menores costos energéticos mientras se aumenta la eficiencia energética.

Gráfica 3.5
Reducción de emisiones de CO₂, bajo escenario de demanda



Fuente: World Business Council Sustainable Development-International Energy Agency (2009b). *Cement Technology Roadmap 2009*, WBCSD-IEA, Ginebra, Suiza, p.1.

La eficiencia energética está en función de las inversiones iniciales y posteriores de las plantas de cemento, que las empresas quieran realizar y a menudo por los precios locales de la energía. Por ejemplo, las empresas que operan en India generan una fuerte inversión para implementar en sus plantas la eficiencia energética y térmica, debido a que en India se tienen altos precios de energía e inadecuada disponibilidad de carbón.

La principal limitación de esta estrategia es la alta inversión; para tener una buena reducción de consumo de energía se necesita de determinada tecnología que genera altos costos de inversión, de modo que la modernización de las plantas es limitada (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b; WBCSD-CSI 2014).

- **Uso de combustibles alternos:** se propone sustituir en el proceso de producción de cemento los combustibles convencionales (carbón y/o petcoke) por combustibles fósiles menos intensivos en carbono y combustibles alternativos como la biomasa (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b; WBCSD-CSI 2014).
 - Combustibles alternativos: incluyen los desechos que se queman en incineradores (textiles, plásticos), esparcidos en vertederos (neumáticos desechados, plásticos) o destruidos indebidamente (residuos aceites y disolventes).
 - Uso de biomasa: comida de animales, troncos, virutas de madera y residuos, madera y papel reciclado, residuos agrícolas como cascara de arroz, aserrín, lodos de depuradora, cultivos de biomasa, entre otros.

La ventaja de esta estrategia es disminuir los costos en los que se incurrirá si se sigue teniendo como materia prima el carbón y el petcoke, en vista de que la IEA estima que en el 2050, estos dos componentes tengan altos precios (WBCSD-IEA, 2009a).

Entre las limitaciones que tiene este tipo de estrategia se encuentran:

- El uso de combustibles alternos está limitado a sus propiedades físicas y químicas, las cuales difieren significativamente de las propiedades de los combustibles convencionales. Tal es el caso de los metales volátiles que necesitan de un pretratamiento para asegurar una composición uniforme y una combustión óptima (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b).
- Se estima que los costos de combustibles alternos aumenten conforme aumenten los altos costos de CO₂. Puede ser cada vez más difícil para la industria del cemento obtener cantidades significativas de biomasa a precios aceptables. La Iniciativa presupone que será económicamente viable para la industria del cemento utilizar

combustibles alternos hasta el 2030, cuando los precios lleguen a alrededor del 30% del costo de los combustibles convencionales, aumentando al 70% para 2050 (WBCSD-IEA, 2009a: 12).

- Las legislaciones sobre gestión de los residuos afecta significativamente la disponibilidad, puesto que la sustitución de los combustibles se facilita si la legislación local o regional restringe el llenado de tierras o la incineración específica y permite que se lleve a cabo la recolección y tratamiento controlado de los combustibles alternos (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b).
- **Sustitución de Clinker:** la producción del Clinker genera las mayores emisiones de CO₂ de todo el proceso, por tanto la sustitución de este componente es primordial. En esta estrategia se busca sustituir el Clinker con otros materiales de bajo contenido de carbono y con propiedades cementosas. Es importante destacar que nunca se podrá lograr la sustitución completa del Clinker (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b; WBCSD-CSI 2014).

Entre los materiales que más ocupan las empresas para sustituir el Clinker se encuentran: escorias de altos hornos (subproducto de la industria siderúrgica), cenizas volantes (residuos de centrales térmicas de carbón) y cenizas volcánicas naturales.

Entre las limitaciones que tiene este tipo de estrategia se encuentran (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b):

- El uso de escorias y cenizas volantes como sustituto del Clinker genera menores emisiones de CO₂, pero mayor consumo energético, se requiere de más energía para moler finamente el cemento.
- El uso de los materiales sustitutos está limitado a la disponibilidad regional, al aumento de los precios, a las propiedades de los materiales y a la aplicación prevista del cemento, estándares

nacionales para el OPC y cementos compuestos y a la aceptación de los cementos compuestos por contratistas de construcción y clientes.

- **Captura y almacenamiento de CO₂:** se propone capturar el CO₂ a medida que se emite, comprimirlo en un líquido que pase a través de tuberías para ser almacenado permanentemente bajo tierra. Este tipo de tecnología aún no se ha probado a escalas industriales en la producción de cemento (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b; WBCSD-CSI 2014).

Entre las limitaciones que tiene este tipo de estrategias se encuentran (WBCSD-IEA, 2009a, 2009b):

- La principal limitación para implementar este tipo de tecnología son sus altos costos que se espera que con la investigación y desarrollo vayan bajando.
- Se ha investigado la captura y almacenamiento del CO₂ determinando que la implementación de esta estrategia aumenta el consumo de energía entre el 50% a 120%, puesto que se necesita potencia para la separación del aire, extracción, purificación, compresión de CO₂, entre otras actividades, que consumen mucha energía.
- Está limitada a los apoyos públicos, incentivos gubernamentales, financiación de la investigación, cooperación de los propietarios y de residentes locales para obtener permisos y aprobaciones necesarias para los sitios de transporte y almacenamiento de CO₂ y esfuerzos por parte del gobierno y la industria para informar y educar al público y a las partes interesadas acerca de la captura y almacenamiento del CO₂.

Como se puede apreciar en la gráfica 3.5, el desarrollo e implementación en la captura y almacenamiento del CO₂ es vital para disminuir las emisiones de dióxido de carbono, porque con esta tecnología se lograría reducir el 56% del CO₂ emitido. Sin embargo, aunque se logre obtener este tipo de tecnología, la producción del

cemento seguirá siendo una actividad con emisiones de carbono. Actualmente no existe ninguna alternativa para el cemento como principal material de construcción mundial que se pueda aplicar a las escalas suficientes (WBCSD-IEA, 2009a:3).

Cabe señalar, que cada nivel o estrategia propuesta, necesita tener mayor investigación y desarrollo, para eliminar las limitaciones que tienen, con el objetivo de poder aplicarlas de manera íntegra en todo el proceso de producción del cemento y no se contraponga una con otra. Sin embargo, esto sigue siendo limitado a la inversión que quiera implementar la empresa cementera.

Por otra parte, desde que fueron propuestas las tecnologías y estrategias para mitigar las emisiones de CO₂, las empresas cementeras las han tratado de implementar e inclusive las han ampliado. Es por esto que en el 2015 crearon la Iniciativa de asociación de bajo carbono (LCTPi, por sus siglas en inglés), con el objetivo de reducir 1Gt de CO₂ en el 2030 (WBCSD-CSI, 2015).

En el reporte de LCTPi se impulsa a que las empresas implementen cuatro estrategias (WBCSD-CSI, 2015):

- **Eficiencia térmica y eléctrica**, plantean una política que asegure que las inversiones en eficiencia energética sean recompensadas en proporción a sus beneficios sociales.
- **Uso de combustibles alternos**, proponen asociarse con otros sectores industriales para aumentar la disponibilidad de combustibles alternos.
- **Reducción del contenido de Clinker en el cemento**, presentan una propuesta para desarrollar estudios independientes de impacto ambiental sobre el uso de materiales de sustitución clave por el Clinker.
- **Evaluar la oportunidad de capturar, usar y almacenar carbono**, proponen desarrollar mecanismos de incentivos financieros. Apoyo gubernamental para la financiación de proyectos de investigación, piloto y demostración, que conducen a plantas de demostración a escala comercial.

Las estrategias adicionales que proponen para la mitigación de emisiones de CO₂ son (WBCSD-CSI, 2015):

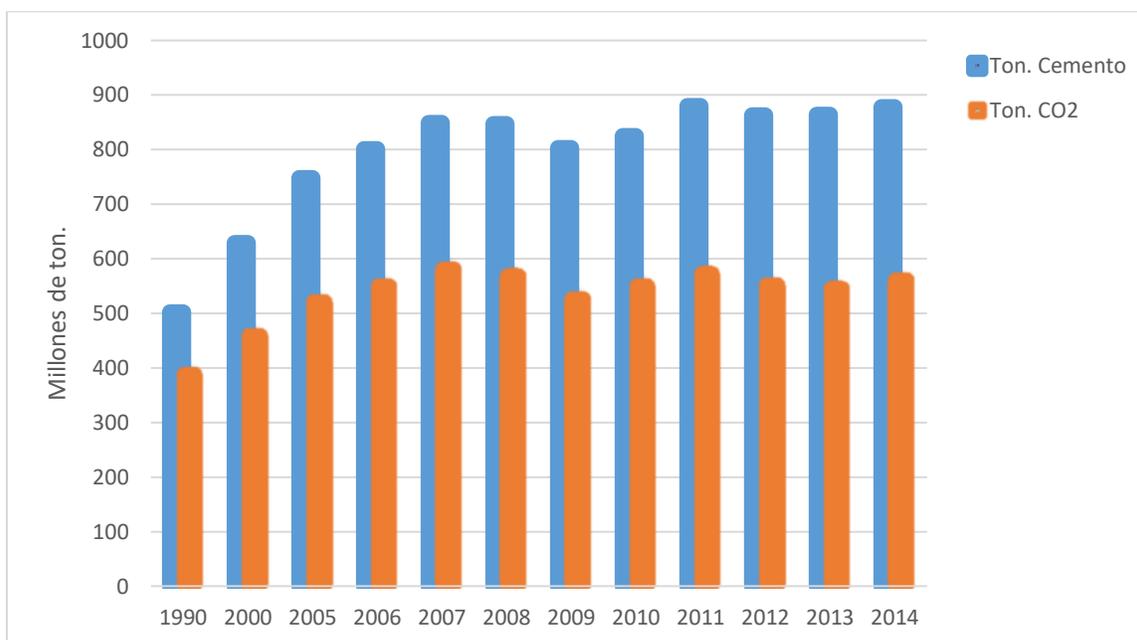
- **Desarrollo de nuevos tipos de Clinker de cemento bajo en carbono**, proponen hacerlo bajo dos enfoques básicos. El primero, utilizar menos cal para reduce las emisiones generadas en la calcinación y a su vez disminuir el requerimiento de energía que reduce las emisiones de CO₂. El segundo, se utilizan silicatos de calcio que secuestren el CO₂ para formar carbonatos con propiedades endurecedoras similares a las del Clinker.
- **Abordar el desafío de las emisiones evitadas**, busca fomentar estrategias de mitigación de emisiones de CO₂ a lo largo de la cadena de valor del cemento y del ciclo de vida del producto.

Indicadores por sector de la Iniciativa

Con base en las estrategias implementadas basadas en las guías proporcionadas por la IEA y la CSI, las empresas que componen el programa “*Teniendo los números correctos*” (GNR, por sus siglas en inglés) produjeron un total de 878 millones de toneladas de cemento en el 2014, de las cuales se generó un total de 563 millones de toneladas de CO₂ (ver gráfica 3.6). El porcentaje de crecimiento de la producción de cemento de 1990 a 2014 fue de 75%, mientras que el de emisiones de CO₂ para el mismo periodo fue de 44%, en promedio el cemento creció anualmente el 4% a partir del 2000, mientras que las emisiones de CO₂ crecieron en promedio un 2% a partir de la misma fecha (WBCSD-CSI, 2014).

Estos resultados indican que no se ha generado una disminución significativa de emisiones de CO₂. Esto se puede apreciar en la gráfica 3.7, en la que se presentan las emisiones de CO₂ por tonelada de Clinker producido por región. La región de Norteamérica es la que ha tenido mayores emisiones, en promedio tienen 872 Kg de CO₂ por tonelada de Clinker producido de 1990-2014, siendo la India y Europa las regiones que en promedio tienen las menores emisiones con 825 Kg de CO₂ por tonelada de Clinker.

Gráfica 3.6
Total de emisiones¹ de CO₂ y producción de cemento
 (Ton de CO₂/Ton de cemento²)



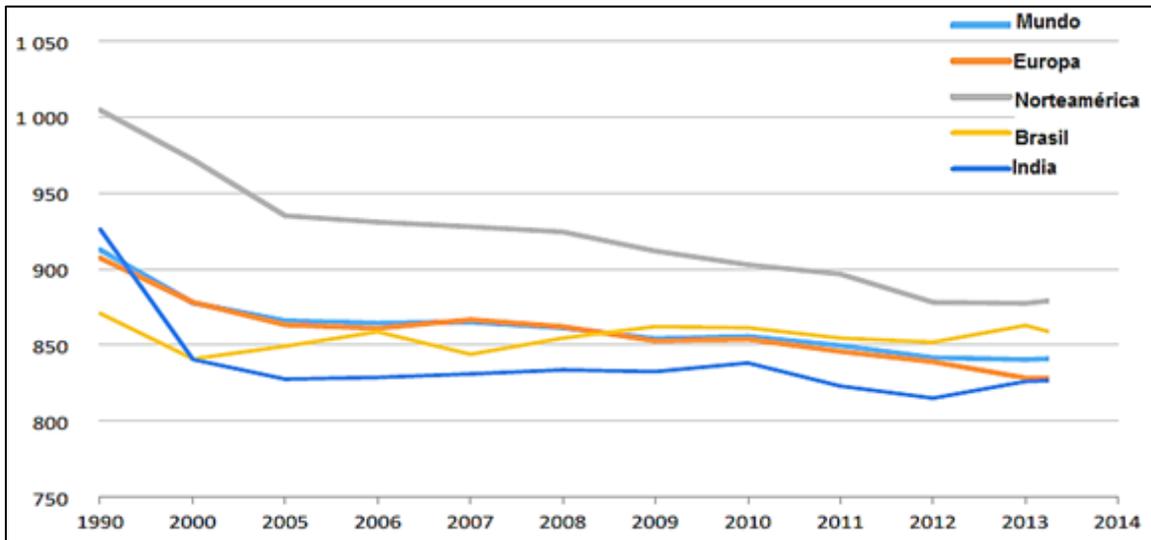
¹ Son todas las empresas que participan en el programa “Teniendo los números correctos” (GNR, por sus siglas en inglés) tiene una cobertura de 25% en el 2010, 21% en el 2013 y 21% en el 2014.

² Lo componen el cemento gris y blanco.

Fuente: elaboración propia con base en datos de World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative (2014). *Getting Number Right Project Reporting CO₂*, recuperado de <http://www.wbcsdcement.org/GNR-2014/world/GNR-Indicator_59cAG-world.html>, (26 de marzo de 2017).

Por otra parte, dentro del programa GNR, también se tienen los datos por estrategia para conocer que tanto las empresas cementeras han logrado disminuir su consumo energético, sustituir combustibles alternos y Clinker. No se toman en cuenta las demás estrategias propuestas por la IEA y la CSI, puesto que se necesita de mayor tecnología y pocas empresas las han implementado y algunas como la captura y almacenamiento de CO₂ siguen en investigación.

Gráfica 3.7
Emisiones de Kg CO₂ por región
 (Kg de CO₂/Ton de Clinker)



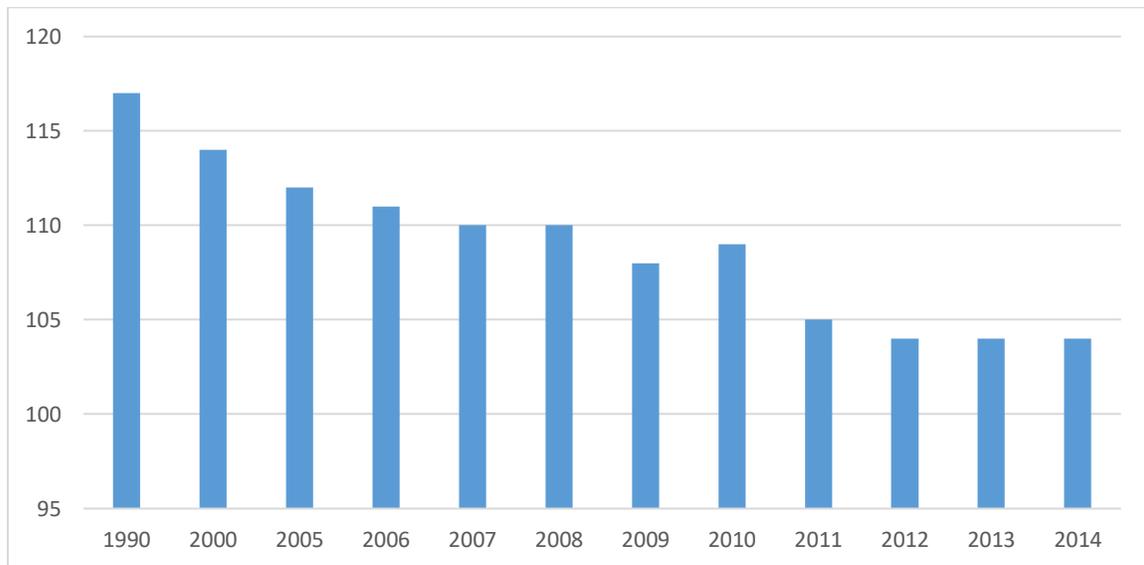
Fuente: elaboración propia con base en datos de World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative (2014). *Getting Number Right Project Reporting CO₂*, recuperado de <http://www.wbcscement.org/GNR-2014/world/GNR-Indicator_59cAG-world.html>, (26 de marzo de 2017), p.98.

Resultados por estrategia o nivel propuesto por IEA y CSI:

- Eficiencia energética:** la mayoría de las plantas cementeras han eliminado progresivamente del horno el proceso húmedo tradicional, tan solo de 1990 a 2014 la producción húmeda de los participantes del GNR cayó de 61 millones a 16 millones de toneladas. Actualmente los hornos húmedos funcionan sólo para producir productos de nichos, abastecer a pequeños mercados o utilizar materias primas húmedas (WBCSD-CSI, 2016a: 12).

También han logrado reducir el uso de electricidad, de 1990 al 2014 se logró reducir el 11% del consumo de electricidad por tonelada de cemento producida (ver gráfica 3.8).

Gráfica 3.8
Emisiones de Kg CO₂
(KWh/ Ton de Cemento¹)



¹Lo componen el cemento gris y blanco.

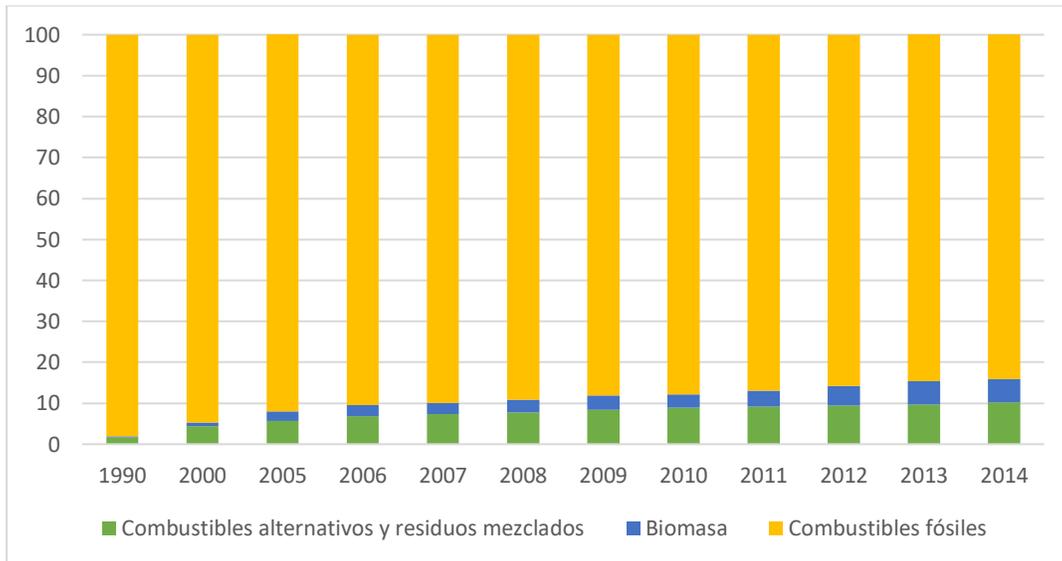
Fuente: elaboración propia con base en datos de World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative (2014). *Getting Number Right Project Reporting CO₂*, recuperado de <http://www.wbcdcement.org/GNR-2014/world/GNR-Indicator_59cAG-world.html>, (26 de marzo de 2017).

- **Uso de combustibles alternos:** las plantas cementeras han empezado a utilizar combustibles alternos que han surgido como remplazos prácticos, de bajo costos y menos intensivos en carbono que los combustibles convencionales. En 1990 el consumo de energía térmica correspondía al 98% de combustibles fósiles, el 1.66% a combustibles alternos y el 0.29% a la biomasa, en cambio en el 2014 se tuvo un consumo de combustibles fósiles del 84%, combustibles alternos 10.2% y biomasa 5.77%. De esta forma se tuvo una disminución del 14% en el uso de combustibles fósiles de 1990 a 2014 (ver gráfica 3.9).

Los combustibles alternos que más se ocuparon en el 2014 fueron las llantas con una participación del 21.2%, seguidos de otros desechos a base de combustibles fósiles con el 15.4% y residuos industriales mezclados con 14.4%. Por otro lado el combustible que menos se ocupó fue el polvo de

sierra únicamente abarco el 2.1% de los combustibles fósiles (ver gráfica 3.10).

Gráfica 3.9
Consumo de energía térmica
(% de total de energía)



Fuente: elaboración propia con base en datos de World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative (2014) *GNR Project Reporting CO₂*, recuperado de http://www.wbcsdcement.org/GNR-2014/world/GNR-Indicator_59cAG-world.html, (26 de marzo de 2017).

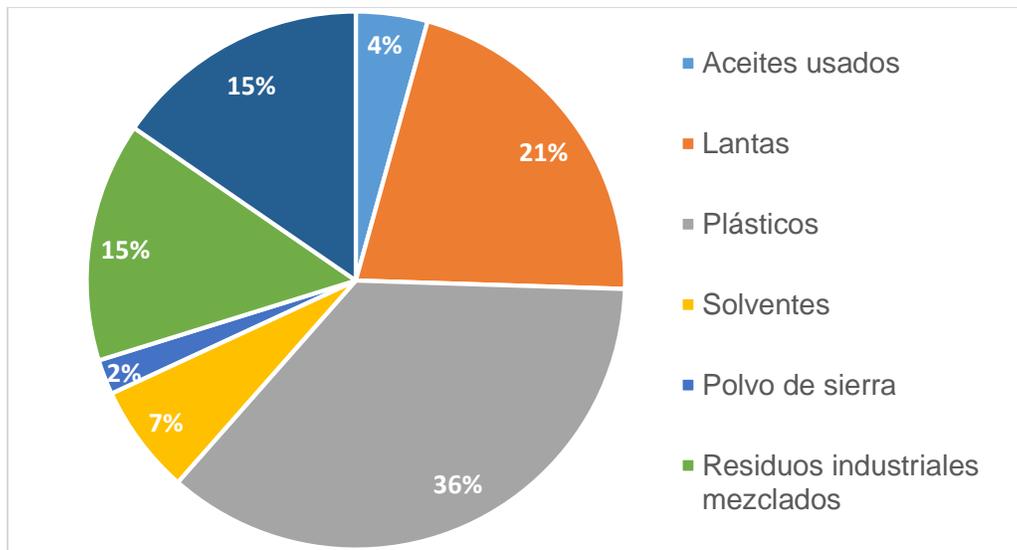
En el nivel regional se tiene que Europa tiene el menor porcentaje de combustible convencional (ver tabla 3.3), mientras que China es el que mayor porcentaje de combustible convencional ocupa, siendo este país el principal productor de cemento y por ende el que genera mayores emisiones de CO₂ en el nivel mundial, ambos casos en el 2014.

Tabla 3.3
Combustible convencional en el 2014

Región	% Combustible convencional
CSI	90.00
China	98.20
India	97.00
Norteamérica	85.60
Brasil	85.60
Europa	59.40

Fuente: World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative (2016b) *Cement Industry Energy and CO₂ Performance: Getting the Numbers Right (GNR)*, WBCSD-CSI, Ginebra Suiza, p.43.

Gráfica 3.10
Combustibles alternativos y residuos mezclados, 2014

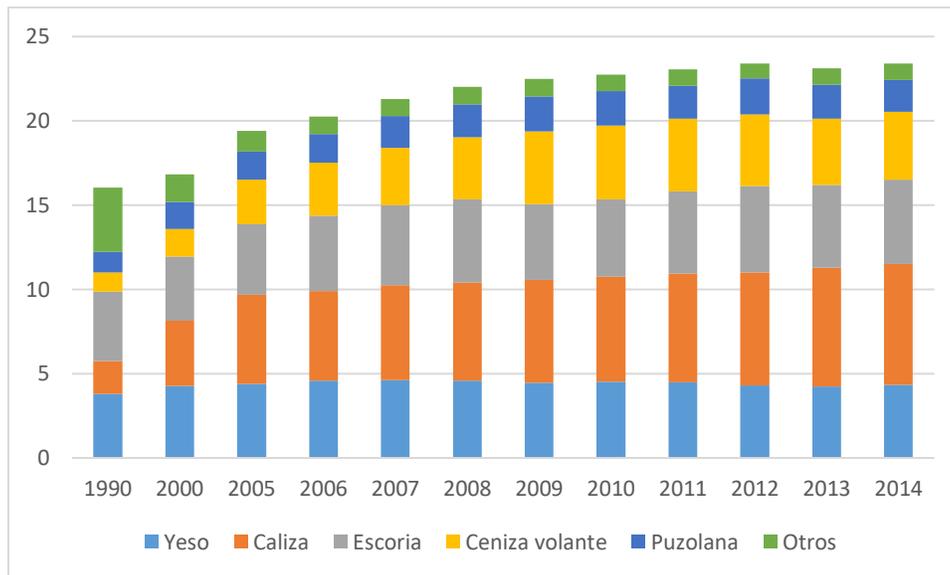


Fuente: elaboración propia con base en datos de World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative, Ginebra, Suiza. (2014) *GNR Project Reporting CO₂*, recuperado de <http://www.wbcscement.org/GNR-2014/world/GNR-Indicator_59cAG-world.html>, (26 de marzo de 2017), p.65.

- **Sustitución de Clinker:** la disminución del uso del Clinker en el cemento es una de las estrategias más vitales para reducir las emisiones de CO₂. En 1990 se tenía una media del uso de Clinker en el cemento del 83%, para 2014 se obtuvo una media del 76%, se tuvo un incremento en uso de componentes minerales del 46% de 1990 al 2014 (WBCSD, 2016b: 15).

Los componentes minerales que más se han utilizado son: la piedra caliza, la escoria y el yeso (ver gráfica 3.11). Este tipo de materiales son más usados debido a su mayor accesibilidad, y a las costumbres y prácticas que tienen los países, tal es el caso de Estados Unidos que se acostumbró agregar a las plantas de concreto todas las cenizas volantes y escorias, lo que ha generado que tengan una media de uso de Clinker del 84.5%, en el 2014 (WBCSD, 2016b).

Gráfica 3.11
Componentes minerales para producir cemento portland
 (% en el volumen total del cemento)



Fuente: elaboración propia con base en datos de World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative, Ginebra, Suiza. (2014) *GNR Project Reporting CO₂*, recuperado de <http://www.wbcscement.org/GNR-2014/world/GNR-Indicator_59cAG-world.html>, (26 de marzo de 2017), p.21.

Capítulo 4 Análisis de eco-eficiencia

Introducción

El presente capítulo tiene como objetivo analizar la eco-eficiencia de las principales cementeras de acuerdo a sus emisiones de CO₂, principal contaminante que resulta del proceso de producción del cemento. Para analizarlas se aplicó la metodología que propone Figge y Hahn (2013), que es una de las metodologías más completas y que de acuerdo con Huppés e Ishikawa (2005c) se clasifica dentro de las puntuación ambiental con enfoque de eficiencia comparativa; por lo que la metodología indica la eficiencia relativa de las empresas cementeras en relación con la eficiencia del sector.

Además, se analiza el múltiplo de rendimiento sobre el capital (ROC, por sus siglas en inglés) que forma parte de la metodología de eco-eficiencia de Figge y Hahn (2013), con el objetivo de conocer si las empresas que implementan estrategias eco-eficientes para mitigar las emisiones de CO₂ tienen un mayor ROC, o al contrario de lo propuesto por la teoría, registran una disminución del indicador.

4.1 Metodología

Para el estudio se realizaron tres tipos de análisis, el primero se enfocó en analizar el indicador de eco-eficiencia de CO₂ de las empresas que cumplieron con los criterios de inclusión, junto con un análisis de diferencia de medias para determinar si existe alguna diferencia en el indicador de eco-eficiencia entre las empresas que forman parte del CSI y las que no forman parte, además se realizó un análisis de correlación entre las variables de apalancamiento de CO₂ y ROC, para conocer la relación entre éstas. El segundo análisis se orientó en revisar los informes de las empresas las estrategias que implementan para mitigar las emisiones de CO₂, comparándolas con los indicadores de eco-eficiencia que se obtienen del primer análisis, finalmente el tercer análisis se enfocó en analizar el indicador ROC para las empresas que cumplieron con los criterios de inclusión, aplicando un análisis de diferencia de medias del múltiplo ROC de las empresas que no reportan información

de sus emisiones de CO₂ y de las que si las reportan, sin importar si son de la Iniciativa o no.

Para el análisis se había considerado a las 75 principales empresas cementeras del mundo listadas en el Directorio Global de Cemento del 2013 (Saunders, 2013) de las cuales se buscaron sus indicadores económicos en la base de datos Capital IQ, encontrándose a 63 en la base, las demás empresas o no cotizan en bolsa o son Holding y no dividen sus datos económicos por empresa.

4.1.1 Metodología del análisis de eco-eficiencia del CO₂

Para el análisis de eco-eficiencia se identificó a las empresas que reportan en sus informes de sustentabilidad las emisiones de CO₂ (kg de CO₂ por tonelada de cemento producido), y la producción de cemento que tuvieron en cada año. Se encontró que de las 63 empresas cementeras únicamente 20 empresas cumplen con los criterios de inclusión:

- Tener información de kilogramo de CO₂ por tonelada de cemento producida.
- Información de toneladas de cemento producidas anuales.
- Cumplir con información para el periodo de 2006-2014.
- La información debe ser continua para todo el periodo.

De las 20 empresas que cumplieron con los criterios de inclusión, 15 pertenecen a la Iniciativa de Cemento Sostenible y 6 no pertenecen. Actualmente la Iniciativa tiene 24 empresas asociadas, de las cuales diez (Cemex, Cimpor, Holcim, Italcementi, Lafarge, Siam, Heidelberg, Taiheiyo, Votoratim y RMC) son las empresas que comenzaron con la Iniciativa y en su mayoría reportan emisiones de CO₂ desde el 2002. Además, todos sus informes cumplen con los KPI propuestos por la Iniciativa y tienen un nivel de aplicación del Global Reporting Initiative (GRI) de G-4 A+¹⁴, lo que indica que sus informes son auditados. Ocho de las diez

¹⁴ Existen tres niveles de aplicación de las guías que propone el GRI, C, B y A, estos niveles reflejan la cobertura que tiene el reporte de acuerdo con el marco del GRI G-4. Si se agrega un “+” a cualquiera de los niveles, significa que un agente externo verificó el informe (GRI, 2012).

empresas fundadoras forman parte de la muestra del análisis de eco-eficiencia (ver tabla 4.1).

Por otra parte, es importante destacar que las cinco empresas chinas que están asociadas a la Iniciativa, no reportan emisiones de CO₂, y no cumplen con ningún KPI propuesto por la Iniciativa, sus informes son de Responsabilidad Social Empresarial (no consideran al GRI) y cuatro de las cementeras (Sinoma, China Resources Cement, China National Building Materials) comenzaron a publicarlos a partir del 2010, mientras Tianrui aún no ha publicado ningún informe con objetivos hacia el desarrollo sustentable.

Cabe señalar que en la parte ambiental de los informes de Responsabilidad Social Empresarial, todas las cementeras chinas se centran en reportar indicadores del óxido de nitrógeno (NO_x), así como sus estrategias para disminuir sus emisiones. Las cementeras chinas están enfocadas en un problema local, para disminuir la cantidad de smog en el ambiente, además, se han desarrollado nuevas normativas que obligan a las empresas a disminuir las emisiones de NO_x, lo que genera que no se le dé prioridad a implementar estrategias para mitigación las emisiones de CO₂ generadas (Wang y Hao, 2012).

En el 2002 la industria del cemento en China era la que menos dinero gastaba para reducir las emisiones de CO₂ en comparación con otros sectores industriales. El poco dinero que se gastaba se enfocaba en la disminución de las emisiones de partículas que en ese momento era el mayor problema ambiental, puesto que las cementeras aportaban el 40% de las emisiones de partículas en China, este problema le restó importancia a otros problemas de contaminación, como son las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente el dióxido de carbono (Nordqvist, Boyd y Klee, 2002).

Por lo que las cementeras Chinas siempre se han enfocado únicamente a los problemas locales que se suscitan en el momento, en el 2002 la emisión de partículas y actualmente la emisión de óxido de nitrógeno.

Tabla 4.1
Empresas cementeras asociadas a la Iniciativa

Empresa Cementera	País	Asociación al CSI	Inicio de publicación de reportes	GRI	Tipo de reporte	Año en que empiezan a reportar sus emisiones	Capacidad (Mt/2014)	
Cementos Argos	Colombia	2007	2007	G-4	Informe de sostenibilidad	2005	12	
Cementos Chihuahua	México	2008	2010*		Informe de sostenibilidad	2009		
Cemex	México	1999	2002	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2002	76	
Cementos Liz	Brasil	2012	No publica ningún reporte con indicadores de desempeños hacia el desarrollo sustentable					
China Resources	China	2010	2010		Reporte de responsabilidad social corporativa	S.I.F	59	
Cimpor	Portugal	1999	2007	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2002	35	
Cimsa	Turquía	2007	2007	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2006	8	
Cimenterie Nationale	Líbano	2012	No publica ningún reporte con indicadores de desempeños hacia el desarrollo sustentable					
CNBM	China	2009	2010		Reporte de responsabilidad social corporativa	S.I.F	128	
CRH	Irlanda	2005	2005	G-4 A+	Informe de desempeño sustentable y crecimiento	2005	12	
Heidelberg	Alemania	1999	2004	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2002	90	
Dalmia Bharat	India	2010	2009		Reporte de responsabilidad social corporativa	S.I.F	11	
Holcim	Suiza	1999	2002	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2002	174	
InterCement	Brasil	2003	2003		Reporte anual (apartado de sustentabilidad y gestión de riesgos)	2002	9	
Italcementi	Italia	1999	2002	G-4	Informe de sustentabilidad	2002	80	
Lafarge	Francia	1999	2002	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2002	205	
Secil	Portugal	2011	2011		Informe de Gestión del Consejo	2006	7	

Continúa

Tabla 4.1
Empresas cementeras asociadas a la Iniciativa

Empresa Cementera	País	Asociación al CSI	Inicio de publicación de reportes	GRI	Tipo de reporte	Año en que empiezan a reportar sus emisiones	Capacidad (Mt/2014)	
Shree Cement	India	2005	2005	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2003-2005/ 2009-2014**	14	
Siam	Tailandia	1999	2005	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2005	31	
Siam City	Tailandia	2008	2010	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2005***	15	
Sinoma	China	2008	2010	N.A	Reporte de responsabilidad social corporativa	No reporta	53	
Taiheiyō	Japón	1999	2002	G-4 A+	Informe de sustentabilidad	2002	43	
Tianrui	China	2008	No publica ningún reporte con indicadores de desempeños hacia el desarrollo sustentable					
Titan	Grecia	2003	2005	G-4	Reporte anual integrado	2002	20	
UltraTech	India	2009	2010	G-4A+	Informe de sustentabilidad	2006	49	
Votoratin	Brasil	1999	2002	G-4A+	Informe de sustentabilidad	No divide emisiones por cemento producido.	34	
West China Cement	China	2013	No publica ningún reporte con indicadores de desempeños hacia el desarrollo sustentable					

N.A: no aplica

CNBM: China National Building Material

SIF: No señala información de emisiones de CO₂, únicamente cuanto se redujo

*Único reporte

**Del 2006 al 2009, reportan emisiones de CO₂ generadas en el transporte de trabajadores, no de las emisiones que se generan por la producción.

***No reporta toneladas de cemento producida.

Fuente: elaboración propia con base en los informes de sustentabilidad de las empresas en el periodo de (2005-2014).

Por su parte las seis empresas que no forman parte de la CSI pero que reportan emisiones se presentan en la tabla 4.2, la mayoría de las empresas comenzaron a reportar emisiones desde el 2006.

Tabla 4.2
Empresas cementeras no asociadas a la Iniciativa y que reportan emisiones de CO₂

Empresa Cementera	País	Inicio de publicación de reportes	GRI	Tipo de reporte	Año en que empiezan a reportar sus emisiones	Capacidad (Mt/2014)
Ambuja Cementos	India	2005	G-4	Informe de sustentabilidad	2002	
Buzzi	Italia	2002	G-4	Informe de sustentabilidad	2002	36
Cementir Holding	Italia	2007		Reporte ambiental	2005	12
Cementos Moctezuma SA de CV	México	2010	N.A	Informe de sustentabilidad	2006	7
Cementos Portland Portland	España	2005	G-4	Memoria de sostenibilidad	2004	9
Vicat	Francia	2006		Reporte anual	2006	25

N.A: No aplica

Fuente: elaboración propia con base en los informes de sustentabilidad de las empresas en el periodo de 2005-2014.

Para el análisis del indicador de eco-eficiencia se utilizó la metodología que proponen Figge y Hahn (2013), que distingue desde la perspectiva de un inversionista la noción de eco-eficiencia y su relación con la eficiencia del capital, señalando el costo de oportunidad de utilizar los recursos naturales y económicos.

Además tiene un enfoque de eficiencia comparativa, calcula el costo de oportunidad de las empresas, determinando qué empresa usa más eficientemente los recursos en comparación con la muestra. Es decir, si una empresa A obtiene un indicador de eco-eficiencia mayor a uno y la empresa B obtiene un indicador menor a uno, significa que la empresa A utiliza más eficientemente sus recursos (produce más con menos recursos), en tanto que la empresa B no, lo que genera un costo de oportunidad para los recursos ocupado por la empresa B que se podrían estar ocupando en la empresa A que tiene un uso más eficiente de sus recursos naturales.

Por otro lado la metodología es aplicable a la industria del cemento, porque su indicador ambiental son las emisiones de CO₂ que se generan por la actividad de la empresa. Para el caso de las cementeras este indicador es muy importante,

por la problemática de la reacción química que ocurre al producir el Clinker, y si se considera que el cemento más comercializado es el cemento ordinario portland (OPC) compuesto por 95% Clinker, se tiene que el principal contaminante de la producción del cemento son sus emisiones de CO₂. Para contrarrestar esto, las empresas cementeras han realizado estrategias eco-eficientes enfocadas a la reducción de las emisiones de CO₂, así que la metodología de Figge y Hahn (2013) representa una oportunidad para evaluar dichas estrategias y su rendimiento económico, mediante el indicador de eco-eficiencia de CO₂ y en los múltiplos que lo componen.

Cabe señalar que con la metodología de Figge y Hahn (2013) se pueden transferir los aspectos ambientales en unidades monetarias usando las emisiones de CO₂. La fórmula que proponen para el cálculo tiene dos bases fundamentales:

1. Se basa en la en la fórmula que propone el Consejo (4.1), y que es ampliamente aceptada entre los académicos para medir la eco-eficiencia.

$$Eco - eficiencia = \frac{Valor\ económico}{Impacto\ ambiental} \quad (4.1)$$

2. Para la parte económica se basa en la formula DuPont que mide la eficiencia de capital y se desagrega en tres componentes: margen de ventas, rotación del capital y apalancamiento financiero (4.2).

$$ROE = \frac{Utilidad\ neta}{Ventas} \times \frac{Ventas}{Total\ Activos} \times \frac{Total\ de\ activos}{Capital} \quad (4.2)$$



Margen de
ventas



Rotación de
capital



Apalancamiento
financiero

Para medir el indicador de eco-eficiencia Figge y Hahn (2013) modificaron la fórmula DuPont para integrar la parte económica y la parte ambiental que componen a la eco-eficiencia. En la parte económica mantienen los dos primeros componentes y sustituyen en el margen de ventas la utilidad neta por utilidad operacional. En la parte ambiental, utilizan las emisiones de CO₂ en el último indicador, nombrándolo apalancamiento de CO₂ (formula 4.3). Se plantea de esta forma para poder reconocer cuál de los indicadores le está dando mayor

peso a la eco-eficiencia, si es el rendimiento económico de capital (ROC, por sus siglas en inglés) que comprende el producto del indicador de margen de ventas y rotación de capital, o es el apalancamiento de CO₂.

$$Eco - eficiencia = \frac{Utilidad\ operacional}{Ventas} \times \frac{Ventas}{Total\ Activos} \times \frac{Total\ de\ activos}{Emisiones\ de\ CO_2} \quad (4.3)$$

Rendimiento económico de capital ROC
Apalancamiento de CO₂

Se utilizó la fórmula 4.3 para realizar el análisis de cada una de las cementeras y conocer sus indicadores de eco-eficiencia.

Posteriormente, para calcular el costo de oportunidad que tiene cada uno de los recursos de ser usados por una empresa alterna, se utilizó la fórmula 4.4 que propone Figge y Hahn (2013), en la que se divide cada uno de los indicadores de eco-eficiencia de cada empresa entre la media de cada indicador de toda la muestra.

$$\frac{Eco - eficiencia^c}{Eco - eficiencia^b} = \frac{\frac{Utilidad\ operacional^c}{Ventas^c} * \frac{Ventas^c}{Activo\ total^c} * \frac{Activo\ total^c}{Emisiones\ de\ CO_2^c}}{\frac{Utilidad\ operacional^b}{Ventas^b} * \frac{Ventas^b}{Activo\ total^b} * \frac{Activo\ total^b}{Emisiones\ de\ CO_2^b}} \quad (4.4)$$

↓
↓
↓

Múltiplo de margen de ventas (comp. I)
Múltiplo de rotación de capital (comp. II)
Múltiplo de apalancamiento de CO₂ (comp. III)

c=datos de la empresa
b=datos del promedio de la muestra

Al aplicar la metodología de Figge y Hahn (2013) en las empresas de la muestra, se encontró entre los resultados, que tanto Cementos Moctezuma como CRH tuvieron indicadores muy altos de apalancamiento de CO₂, por lo que se revisó cada componente de la metodología aplicada así como los reportes y cifras originales de cada empresa, encontrándose que ninguna de las dos empresas ha reducido sus emisiones de CO₂ durante el periodo estudiado y, por el contrario, son ineficientes con sus activos para producir cemento, ya que tienen activos ociosos (ver anexo A).

Debido a este resultado, se eliminaron las dos cementeras (Cementos Moctezuma y CRH) de la muestra del análisis de eco-eficiencia de CO₂, porque son datos atípicos que al momento de calcular la media de la muestra para determinar la eco-eficiencia de CO₂ de cada empresa, alteraban los resultados

de los múltiplos de apalancamiento de CO₂ de cada empresa y se obtenían resultados no confiables.

Cabe señalar que los datos que pública Cementos Moctezuma en sus informes de sustentabilidad no se basan en una metodología del GRI, ni en la metodología del WBCSD para determinar las emisiones de CO₂ ni son auditados. De manera que sus datos no son muy confiables, así que se eliminó de la muestra del análisis de eco-eficiencia de CO₂. De modo que la muestra para el análisis de la eco-eficiencia quedó con un total de 19 empresas, 14 que pertenecen al CSI y 5 que no pertenecen (ver tabla 4.3).

Tabla 4.3
Muestra para el análisis de eco-eficiencia

	País	CSI
Ambuja	India	X
Buzzi	Italia	X
Cementir	Italia	X
Cementos argos	Colombia	✓
Cementos Portland	España	X
CEMEX	México	✓
Cimpor	Portugal	✓
Cimsa	Turquía	✓
Heidelberg	Alemania	✓
Holcim	Suiza	✓
Inter cement	Brasil	✓
Italcementi	Italia	✓
Lafarge	Francesa	✓
Secil	Portugal	✓
Taiheiyo	Japón	✓
Siam	Tailandia	✓
Titan	Grecia	✓
Ultratech	India	✓
Vicat	Francia	X

Fuente: Elaboración propia con base en los informes de sustentabilidad de las empresas en el periodo de 2005-2014.

A parte de la metodología de Figge y Hahn (2013), se realizó un análisis de diferencia de medias para determinar si existe alguna diferencia en el indicador entre las empresas que forman parte de la Iniciativa (grupo 1a, constituido por 15 empresas) y de las que no lo son (grupo 2a, constituido por 12 empresas) (ver tabla 4.4).

4.1.2 Metodología del análisis del ROC

Para el análisis del indicador del ROC se partió de la muestra de 63 empresas que tenían información financiera y se filtraron a todas aquellas que cumplieran con los criterios de inclusión:

- Información de sus ventas, utilidad operacional y activos para el periodo de 1995-2014
- Que la información sea continua para todo el periodo
- Si es un Holding que la información de sus ventas, utilidad operacional y activos totales la tenga separada por empresa

De 63 empresas únicamente 26 empresas cumplieron con los criterios de selección, de las 26 se hicieron dos grupos (ver tabla 4.4):

- Grupo 1b, constituido por 14 empresas cementeras que cumplen con los criterios de selección para el análisis de eco-eficiencia de CO₂ y que reportan información financiera desde 1995.
- Grupo 2b, constituido por 12 empresas cementera que no cumplen con los criterios de selección para el análisis de eco-eficiencia de CO₂ y que reportan información financiera desde 1995.

Se utilizó un análisis de diferencia de medias entre los dos grupos para conocer si existe alguna diferencia entre los indicadores de ROC, se supone que el implementar estrategias de eco-eficiencia debería de aumentar la rentabilidad puesto que disminuyen costos, por lo que el grupo 1b debería de tener una media mayor en su indicador del ROC contra la media del grupo 2b, grupo que no pública información sobre sus emisiones y abatimiento de ellas.

Tabla 4.4
Muestra para el análisis del indicador ROC

Grupo 1b		
	País	Asociada a la CSI
<i>Buzzi</i>	Italia	X
<i>Cementir</i>	Italia	X
<i>Cementos argos</i>	Colombia	✓
<i>Cementos Portland</i>	España	X
<i>CEMEX</i>	México	✓
<i>Cimpor</i>	Portugal	✓
<i>Cimsa</i>	Turquía	✓
<i>Heidelberg</i>	Alemania	✓
<i>Italcementi</i>	Italia	✓
<i>Lafarge</i>	Francia	✓
<i>Taiheiyo</i>	Japón	✓
<i>Siam</i>	Tailandia	✓
<i>Titan</i>	Grecia	✓
<i>Vicat</i>	Francia	✓
Grupo 2b		
	País	Asociada a la CSI
Arabian Cement	Egipto	X
Cementos Molins	España	X
Moctezuma	México	X
Eagle Materials	Estados Unidos	X
Chihuahua	México	✓
Jilian	China	X
PPC	Sudáfrica	X
PT SEMEN	Indonesia	X
Osaka	Japón	X
Texas industries	Estados Unidos	X
TPI	Tailandia	X
UBE	Japón	X

Fuente: Elaboración propia con base en WBCSD-CSI (2016a), Producción del cemento, recuperado de <<http://www.wbcscement.org/index.php/en/about-cement/cement-production>> (23 de noviembre 2016).

4.2 Resultados del análisis de eco-eficiencia

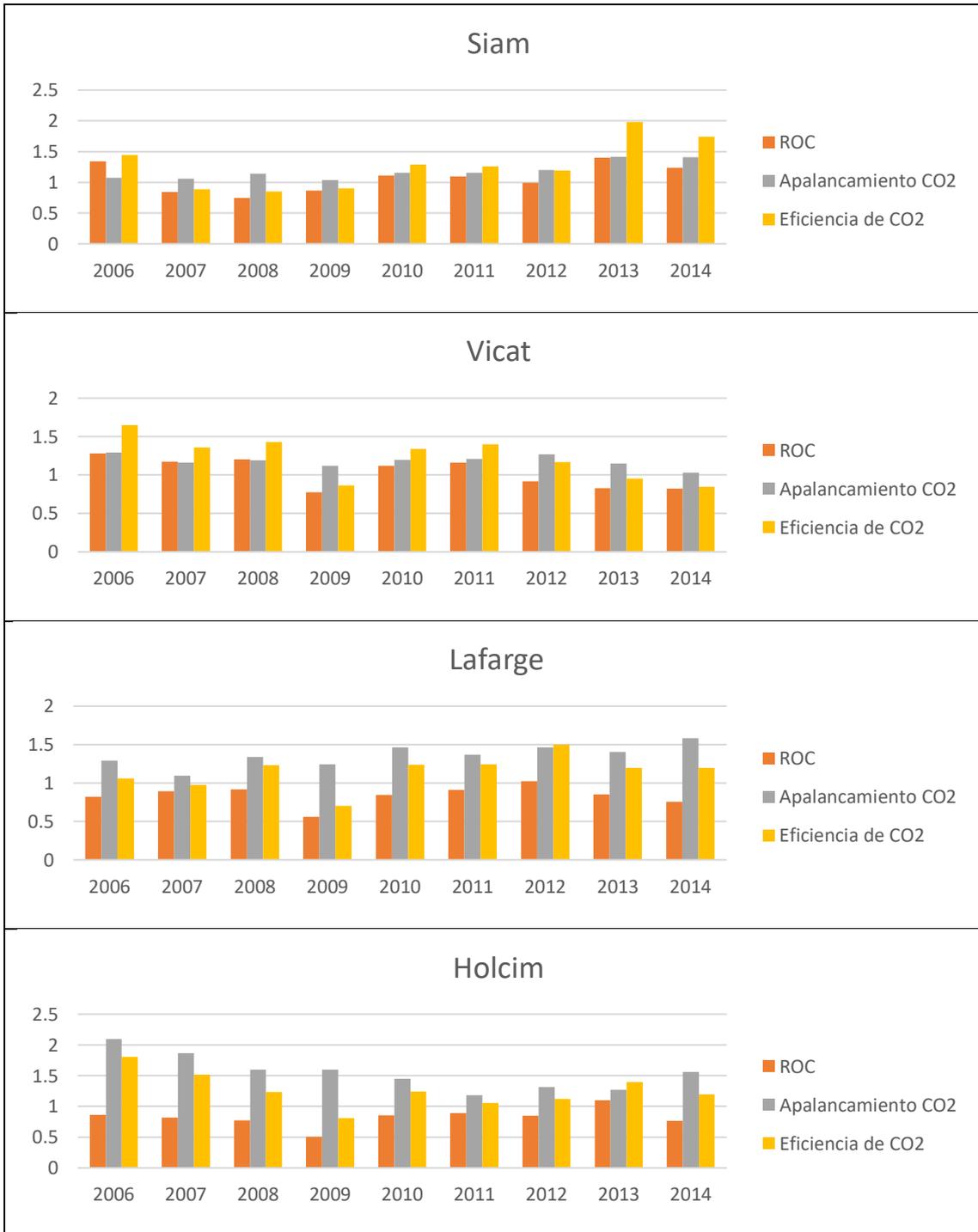
El análisis de eco-eficiencia de CO₂ que propone Figge y Hahn (2013) se enfoca en evaluar a las empresas con respecto a la media de la industria a la que pertenecen las empresas evaluadas. Para el presente estudio se utilizó como punto de comparación la media de la muestra, de esta manera se evalúa el costo de oportunidad que tiene cada empresa con respecto a las demás teniendo un mismo punto de comparación.

Es importante remarcar que cuando el valor de eco-eficiencia de CO₂ es mayor a uno, indica que se está utilizando de manera eficiente tanto los recursos naturales como económicos y que está por arriba de la media de la muestra. En caso de que únicamente el múltiplo de apalancamiento de CO₂ este por arriba de uno y el múltiplo de ROC por debajo de uno, significa que la empresa es eficiente con sus recursos naturales pero ineficiente con sus recursos económicos y viceversa.

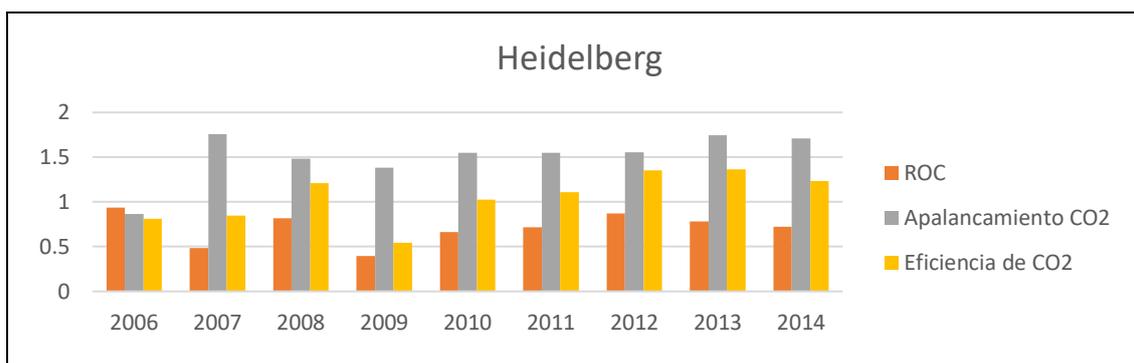
Según los resultados obtenidos del análisis de eco-eficiencia de CO₂ de las 19 empresas que resultaron de la muestra, se encontró que las empresas que han mantenido un indicador de eco-eficiencia mayor a uno durante más de cinco años fueron: Holcim con una media de 1.1373, Lafarge con 1.0124, Heidelberg con 1.0561, Siam con 1.1216 y Vicat con una media de 1.923, esta última no pertenece a la Iniciativa del Cemento Sostenible, y se mantuvo con indicadores altos de eco-eficiencia de CO₂ hasta el 2013 (grafica 4.1).

Al analizar cada uno de los múltiplos que conforman el indicador de eco-eficiencia de CO₂, se observa que las empresas que mantienen una media mayor a uno en ambos indicadores (ROC y apalancamiento de CO₂) para todo el periodo estudiado, son Siam y Vicat (ver tabla 4.6), lo que indica que ambas empresas tienen un uso más eficiente que el promedio de la muestra tanto en sus recursos económicos como naturales.

Grafica 4.1
Comportamiento de Siam, Vicat, Lafarge y Holcim con respecto a los múltiplos del ROC, apalancamiento del CO₂ y eco-eficiencia de CO₂



Continúa



Fuente: Elaboración propia con base en la metodología utilizada por Figge y Hahn (2013) Value drivers of corporate eco-efficiency: Management accounting information for the efficient use of environmental resources. *Management Accounting Research*, Vol. 24(4), pp. 387-400 y datos obtenidos de la base de datos Capital IQ (2006-2015) y en los Informes de Sustentabilidad de Siam, Vicat, Lafarge, Holcim y Heidelberg (2006-2014).

Siam Cement Group (SCG)

Es una empresa cementera tailandesa que forma parte de las diez empresas fundadoras de la Iniciativa Sostenible del Cemento, inició la publicación de sus Informes de Sustentabilidad desde el 2005, así como la publicación de sus emisiones de Kg de CO₂ por tonelada de cemento producido (Siam Cement Group [SCG], 2005). Además, Siam es la única empresa en la que sus indicadores van creciendo gradualmente hasta alcanzar en el 2013 el más alto con una eco-eficiencia de CO₂ de 1.9812, para bajar el siguiente año 12% a pesar de esta disminución, se mantiene como una de las empresas cementeras de la muestra con un alto indicador de eco-eficiencia de CO₂ en el 2014.

Entre las estrategias implementadas por Siam para la mitigación de sus emisiones de CO₂ destacan:

- Desarrollo e investigación de un **nuevo tipo de cemento híbrido** amigable con el medio ambiente SCG Marine Cement, resistente al agua de mar y disminuye 350 kilogramos de emisiones de gases de efecto invernadero por tonelada de cemento producida (Leelakulthanit, 2014: 4).
- **Eficiencia energética:**
 - Sustitución del proceso de molienda húmedo para obtener polvo para la fabricación de baldosas con un proceso de molienda seco, con el fin de reducir un equivalente de 6.35 toneladas de CO₂ al año (SCG, 2014: 13).

- Sistema de transporte de logística multimodal, que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la mejora de su red de transporte y sistemas de entrega (SCG, 2015: 14).
- Uso del exceso de calor que se genera en la torre de precalentamiento y en el enfriamiento del Clinker, mediante un generador de calor residual que impulsa una turbina de vapor para generar electricidad de vuelta al proceso de fabricación (Khompat y Handunyaphan, 2011; SCG, 2014: 41).
- Uso de nuevas tecnologías aplicadas a las máquinas para mejorar la eficiencia energética, disminuyendo el consumo de energía mientras se reduce la carga sobre el abastecimiento de energía (SCG, 2014: 16).
- Instalación de un sistema de pre-molienda, que resulta en un menor uso de electricidad en la molienda de los materiales, y reduce un total de 6 500 toneladas de gases de efecto invernadero por año (SCG, 2015: 41).
- **Uso de combustibles alternos**, se ha llegado a sustituir el 12.5% de combustibles, utilizando energías renovables como los residuos agrícolas, la biomasa, desechos industriales y basura de la comunidad mediante el proyecto Combustible Derivado de Basura reduciendo en el 2013 un total de 12 600 toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero (SCG, 2014: 45).
- **Creación de un Comité de energía**, se enfoca en vigilar que todos los programas de energía que se proponen tengan consistencia con las políticas y guías de eficiencia energética enfocadas a mejorar la conservación de la energía, el apropiado uso de las energías renovables y minimizar el impacto ambiental (SCG, 2015).
- **Creación de un comité de cambio climático**, que se orienta en establecer las políticas, estrategias y objetivos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la actividad de la cementera (SCG, 2015).

Cabe señalar que las estrategias que ha implementado para la mitigación de las emisiones de CO₂ se fundamentan en las estrategias que propone la Iniciativa,

de las cuales no ha generado estrategias enfocadas a la sustitución del Clinker. Además durante el periodo de estudio, Siam no tiene una disminución significativa en sus emisiones de CO₂, únicamente disminuye 2.35% del 2006 al 2014 (ver anexo B).

Vicat

Por su parte **Vicat** es una empresa cementera francesa que no se ha unido a la Iniciativa Sostenible del Cemento, pero que para reportar su actuación ambiental se ha basado en los criterios relevantes que ha publicado la Iniciativa Sostenible del Cemento (indicadores de emisiones de CO₂, de polvo, NO_x, y SO_x), que reporta desde el 2006 (Vicac, 2008).

A diferencia de Siam, los múltiplos de Vicat se mantienen entre 1 y 1.5 durante el 2006 al 2011, posterior a este año comienzan a disminuir, hasta que el indicador de eco-eficiencia de CO₂ llega a 0.8449 en el 2014, debido a que su eficiencia en sus recursos económicos disminuye.

Entre las estrategias que propone para mitigar las emisiones de CO₂ se encuentran:

- Vicat generó en el 2013 un **nuevo tipo de cemento híbrido ecológico** que reduce las emisiones de CO₂ disminuyendo la cantidad de calor necesaria para producirlo Alpenat (Vicac, 2015: 19).
- **Uso de combustibles alterno**, derivados de la biomasa, aceites usados, disolventes no clorados, llantas, desechos residuales de los coches compactados, harinas de hueso, combustibles sólidos recuperados y lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (Vicac, 2016).
 - Uso de semillas de *Jatropha*¹⁵ que producen un aceite que puede utilizarse como fuente de combustible alternativo, 100% de biomasa, resultado de un estudio realizado con el Instituto Senegalés de Investigación Agrícola (ISRA, por sus siglas en francés) (Vicac, 2016).

¹⁵ La *Jatropha Curcas* es un arbusto perenne caducifolio que puede llegar a medir hasta 8 metros de altura, su semillas tienen un alto contenido de aceite que tras un determinado proceso puede convertirse en biodiesel (Pramanik, 2003).

- **Eficiencia energética:**
 - Inyección de combustible en la boquilla del horno (horno de cocción), para generar llamas que alcanzan una temperatura tan alta como 2000°C (Vicat, 2015: 90).
 - Implementación de políticas de inversión en las mejores tecnologías para los sistemas de cocción industrial, que buscan mejorar el balance térmico en los hornos de las fábricas de cemento y reducir las emisiones de CO₂ utilizando menos energía (Vicat, 2015: 92).
- **Sistema de “cap and trade”¹⁶:** Las emisiones de CO₂ de las cementeras que se localizan en Francia están sujetas a cuotas en el programa Exchange Trade System (ETS) europeo, por lo que son monitoreadas bajo programas de vigilancia y son verificadas anualmente (Vicat, 2015: 83).

Sin embargo las estrategias implementadas por Vicat realmente no han logrado disminuir las emisiones de Kg de CO₂ por tonelada de cemento producida, tiene la media más alta de toda la muestra con 821 Kg de emisiones de CO₂, cantidad que se ha mantenido durante todo el periodo entre 813 y 828, sin presentar una tendencia a disminuir (ver anexo B). Vicat es una de las empresas que exhibe transparencia en sus indicadores, ha implementado sistemas de vigilancia y notificación basados en el Protocolo de las Naciones Unidas sobre Gases de Efecto Invernadero y es auditada por la Asociación Industrial Cemsuisse.

¹⁶ Es un sistema en el que el gobierno establece un límite máximo de emisiones para los distintos sectores empresariales, los cuales compran o reciben derechos de emisión que pueden negociar entre las empresas. También pueden comprar cantidades limitadas de créditos internacionales de proyectos de reducción de emisiones en todo el mundo. Cada año la empresa debe de entregar los derechos suficientes para cubrir todas sus emisiones, sino se imponen fuertes multas. Si una empresa reduce sus emisiones, puede mantener los derechos de emisión para cubrir sus necesidades futuras o venderlos a otras empresas (European Commission, 2016).

Tabla 4.5
Medias de los múltiplos ROC y apalancamiento de CO₂ (2006-2014)

Empresa	Múltiplo de ROC	Múltiplo de apalancamiento de CO ₂
Siam	1.0712	1.1832
Vicat	1.0383	1.1813
Lafarge	0.8414	1.3620
Holcim	0.8244	1.5511
Heidelberg	0.7111	1.5211
Cementos Argos	0.3808	2.0586
Cementos Portland	0.1634	1.3260
CEMEX	0.5114	1.4006
Taiheiyo	0.4419	1.8311
Ambuja	2.649	0.1503
Cimsa	1.6942	0.2657
Intercement	1.3979	0.5089
Italcementi	1.6411	0.2129
Ultratech	1.9536	0.2749
Cimpor	0.9162	0.9679
Titan	0.7437	0.8247
Buzzi	0.6769	0.8997
Cementir	0.5506	0.8082
Secil	0.5897	0.6854

Fuente: elaboración propia con base en metodología de Figge y Hahn (2013). Value drivers of corporate eco-efficiency: Management accounting information for the efficient use of environmental resources. *Management Accounting Research*, Vol. 24(4), pp. 387-400 y datos obtenidos de la base de datos Capital IQ /2006-2014) e informes de sustentabilidad de las empresas analizadas (2006-2014).

Holcim, Lafarge y Heidelberg

Al analizar Holcim, Lafarge y Heidelberg se observa un comportamiento similar en sus indicadores, las tres cementeras en cada año del periodo estudiado tienen múltiplos más altos de apalancamiento de CO₂ que sus múltiplos de ROC, lo que indica que son eficientes con sus recursos naturales, porque están por arriba del promedio de la muestra “1” (ver tabla 4.5). No obstante, tienen altos múltiplos de

apalancamiento de CO₂, lo cual genera que su indicador de eco-eficiencia de CO₂ sea alto.

Las tres empresas tienen menores emisiones de CO₂ por dólar invertido en el activo que el promedio de la muestra, esto se debe a sus estrategias para disminuir sus emisiones de CO₂ que iniciaron desde el 2002, puesto que las tres empresas son fundadoras de la CSI. Entre las estrategias que destacan se encuentran:

- **Creación de nuevos tipos de cementos ecológicos:**
 - Lafarge generó un nuevo tipo de cemento híbrido ecológico de bajo contenido de carbono Aether en el 2013, el cual requiere de menos piedras calizas para su producción, así como de temperaturas bajas, consumiendo menos energía que el cemento OPC, reduciendo así entre el 25 y 30% de emisiones de CO₂ durante el proceso de fabricación (Lafarge, 2015: 12).
 - Como resultado de la constante investigación y desarrollo para la sustitución del Clinker, Holcim presentó en el 2014 un nuevo tipo de cemento Holcim Majter Green, que reduce hasta el 25% de emisiones de CO₂ comparado con el cemento tradicional que vende Holcim Majter, esta reducción se logró a través de la disminución del contenido de Clinker (Holcim, 2014: 25).
- **Eficiencia energética:**
 - Holcim ha optimizado equipos, procesos y operaciones, entre los que destaca la “iniciativa del ventilador”, la cual funciona mediante el sellado de los ventiladores para que no entren corrientes de aire y se tenga que ocupar más energía. De 1990 a 2015, Holcim ha logrado reducir el 24.66% de consumo de energía por tonelada de Clinker producida (Holcim, 2015: 24).
 - Heidelberg tiene un programa para utilizar el calor residual que se genera al fabricar el Clinker que se utiliza para generar energía eléctrica. También invierte en tecnología para la eficiencia energética de la maquinaria, y desarrolla procesos de producción que busquen minimizar el uso de energía (Heidelberg, 2016a: 10).

- Lafarge ha utilizado energías renovables; sin embargo, aún sigue siendo muy costosa su instalación debido al alto uso de energía eléctrica en las plantas. Moroco es la única planta que ha podido implementar un parque de energía eólica que satisface sus necesidades energéticas (Lafarge, 2015: 12).
También ha invertido en tecnología que ocupa menos energía, principalmente en los hornos, para reducir la cantidad de energía requerida por tonelada de Clinker (Lafarge, 2014: 25).

- **Sustitución de combustibles fósiles con alternos:**

- Heidelberg ha utilizado biomasa para sustituir sus combustibles fósiles, lo que constituyó el 22% del consumo de energía en el 2015, los combustibles alternos que utilizó fueron desechos, subproductos de otras industrias como materias primas y combustibles (Heidelberg, 2015).
- En el 2015, Holcim logró generar el 12% de energía térmica con combustibles alternos, utilizando principalmente residuos de la comunidad e industriales de materia prima (cenizas volantes, escorias de alto horno, arenas de fundición y residuos de acerías) utilizando el co-procesamiento¹⁷ (Holcim, 2015: 23).
- Lafarge ha sustituido los combustibles fósiles que se ocupan en el calentamiento del horno, por combustibles alternos como residuos industriales, domésticos, agrícolas y biomasa (café, arroz y cascara de maíz), que han generado una tasa de sustitución en 2015 de 20.7% lo que resultó en una reducción de 6.3 millones de toneladas de CO₂ (Lafarge, 2015: 11).

- **Sustitución de Clinker en el cemento:**

- Holcim en el 2015 logró reducir el contenido de Clinker en el cemento, hasta obtener un contenido del 69.8% de Clinker, esto se logró con el uso de componentes minerales neutros en carbono, tales como escorias de altos hornos granulado o cenizas

¹⁷ El co-procesamiento es cuando se reocupa la basura para generar energía o como materia prima, para remplazar recursos naturales no renovables (Holcim, 2015: 26).

volantes¹⁸, que dieron como resultado la disminución de 23.9% de emisiones de CO₂ (Holcim, 2015: 22).

- Lafarge ha reducido la cantidad de Clinker en el cemento un 15% desde 1990 a 2015, se utilizan aditivos minerales suplementarios o materiales cementosos para sustituir el Clinker (Lafarge, 2015: 12).
- Desde el 2010 Heidelberg comenzó a investigar posibles soluciones para disminuir la cantidad de Clinker en el cemento, hasta que en 2012 encontró una forma de fabricar Clinker sin ser tan dañino para el medio ambiente, registrando así dos patentes para fabricar Clinker que contienen belite-calciumsulfoaluminate-ternesite (BCT). Debido a la composición química del ternesite y a su fabricación a bajas temperaturas, se disminuye hasta un 30% las emisiones de CO₂ (Heidelberg, 2015).

- **Sistema de “cap and trade”:**

- Las emisiones de CO₂ de las cementeras Lafarge, Holcim¹⁹ y Heidelberg están sujetas a cuotas en el programa Exchange Trade System (ETS) europeo, por lo que son monitoreadas bajo programas de vigilancia y verificadas anualmente (Holcim, 2013; Lafarge, 2012; Heidelberg, 2014).

- **Captura y almacenamiento de CO₂,**

- A partir del 2014 Heidelberg inicio el desarrollo de investigaciones enfocadas a la captura del CO₂ y a su reciclaje, mediante la separación de sus componentes para utilizarlos como combustible (Heidelberg, 2016a).

Heidelberg junto con Cemex están financiando la investigación de LEILAC (Low Emissions Intensity Lime & Cement) en la planta de Liche en Australia para implementar la captura del CO₂ a través de un reactor de separación directa en la etapa de calcinación, sin generar penalizaciones energéticas significativas en los costos de

¹⁸ Las cenizas volantes son un polvo fino procedente del carbón pulverizado quemado que posee propiedades puzolánicas (Navarro y Vasco, 2007).

¹⁹ En julio de 2015 se fusionaron Holcim y Lafarge, hasta ese momento las emisiones de Holcim no estaban sujetas a cuotas al programa ETS de la Unión Europea, mientras que Lafarge si lo estaba (LafargeHolcim, 2016).

capital comparables a los equipos de producción de cemento convencionales (Edwards, 2017).

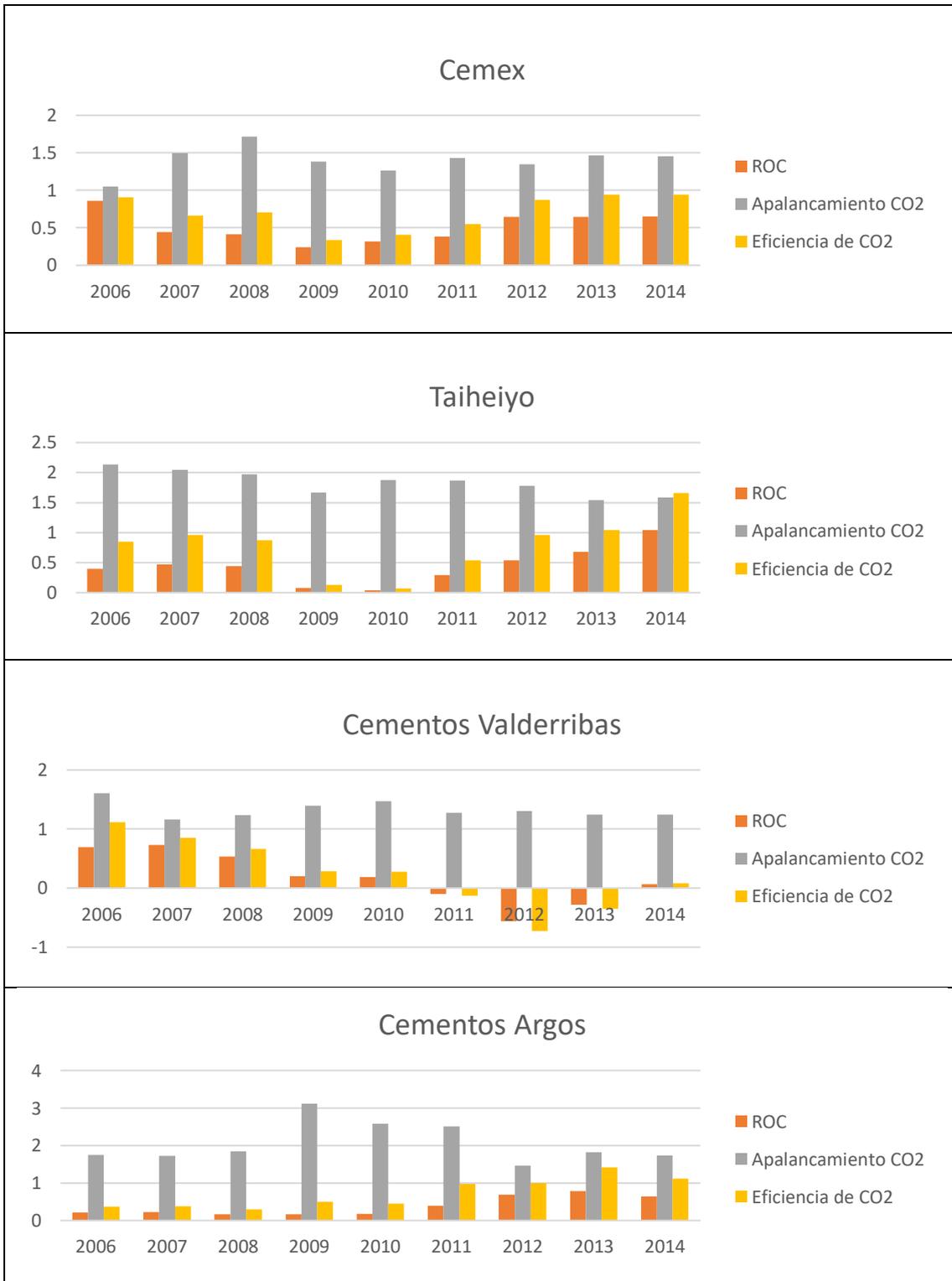
- Lafarge ha estado investigado junto con otras instituciones, la posibilidad de captura, almacenamiento y transformación del CO₂, utilizando micro algas que absorban el CO₂ liberado por los hornos de cemento y reutilizando como biocombustible. La investigación ya se encuentra en etapa de experimentación con una planta en Francia; sin embargo, aún tienen que trabajar la parte económica, debido al alto costo de implementación (Edwards, 2013).
- Para el 2015, Heidelberg, Holcim y Lafarge reportaban una **disminución en sus emisiones de CO₂** del 22% por tonelada de cemento producida con respecto a las de 1990 (Lafarge, 2015; Holcim, 2015; Heidelberg, 2015).

Holcim, Lafarge y Heidelberg se posicionaron dentro de las cinco primeras empresas en tener menores emisiones por Kg de cemento producido de la muestra, Holcim tuvo una disminución de 10.85%, Lafarge de 12.65% y Heidelberg del 8.68% en el periodo de 2006-2014. Sin embargo, también son las empresas que tienen la mayor producción de cemento, por lo que sus emisiones anuales de CO₂ son de las más altas de la muestra (ver anexo B). A pesar de este contraste, las estrategias que han implementado y la inversión en activos, las ha llevado a tener indicadores de eco-eficiencia de CO₂ mayores a uno.

Taiheiyo, Cemex, Cemento Portland y Cementos Argos

Resultados semejantes se obtuvieron con las empresas Taiheiyo, Cemex, Cemento Portland y Cementos Argos, estas empresas tuvieron un buen indicador de eficiencia con sus recursos naturales pero una mala eficiencia en sus recursos económicos, puesto que sus indicadores de apalancamiento de CO₂ fueron muy altos durante todo el periodo (ver gráfica 4.2).

Gráfica 4.2
Comportamiento de CEMEX, Taiheiyo, Cemento Portland y Cementos Argos con respecto a los múltiplos del ROC, apalancamiento del CO₂ y eco-eficiencia de CO₂



Fuente: Elaboración propia con base en la metodología utilizada por Figge y Hahn (2013). Value drivers of corporate eco-efficiency: Management accounting information for the efficient use of environmental resources. *Management Accounting Research*, Vol. 24(4), pp. 387-400 y datos obtenidos de la base de datos Capital IQ (2006-2014) y en los Informes de Sustentabilidad de CEMEX, Cementos Argos, Taiheiyo y Cementos Portland (2006-2014).

Por su parte, Cementos Argos fue la empresa que presentó una media de apalancamiento de CO₂ de 2.058 durante el periodo, la más alta de toda la muestra, y por el contrario, sus indicadores de ROC se posicionaron entre los más bajos de la muestra con una media de 0.3808; mientras que Cemento Portland tuvo la media más baja de toda la muestra en su indicador de ROC, debido a que desde 2011 al 2013 presentó indicadores negativos de ROC.

Cabe señalar que, Cemento Portland no pertenece a la Iniciativa Sostenible del Cemento; no obstante, presenta estrategias similares a las propuestas por la Iniciativa para mitigar las emisiones de CO₂.

Entre las estrategias implementadas por Cemex, Taiheiyo, Cementos Valderrivas y Cementos Argos se presentan:

- **Eficiencia energética**

- En el 2015 Cemex generaba el 28.8% de la energía requerida para la producción del cemento mediante energías renovables a través de granjas eólicas. Asimismo, sustituyó el proceso de molienda húmedo por uno seco utilizando el calor residual de los hornos de Clinker (Cemex, 2015: 20).
- Taiheiyo invirtió en equipos de eficiencia energética e instalación de equipos internos adicionales de generación de energía, como los sistemas de generación de calor residual y uso de fuentes de energías renovables. (Taiheiyo, 2015: 20).
Además, ha desarrollado esferas huecas funcionales compuestas por óxidos (óxido de aluminio y aluminosilicatos), con características específicas que proporcionan un rendimiento de aislamiento térmico superior en comparación con las partículas convencionales, lo que genera que se obtenga mejor eficiencia energética (Taiheiyo, 2015: 11).
- En el 2015, Cementos Portland sometió a todas sus plantas ubicadas en Europa a una auditoría energética, por un auditor

externo autorizado con el objetivo del cumplimiento de RD 56/2016²⁰ (Cementos Portland, 2015: 60).

- Durante el 2015, Cementos Argos realizó en diferentes plantas el montaje de nuevos molinos verticales que contribuyen a la reducción de consumo de energía eléctrica, debido a que tienen una mayor eficiencia energética (Cementos Argos, 2015: 85). Además, se realizaron auditorías internas sobre la eficiencia energética en todas las plantas productoras de cemento, para conocer las líneas de trabajo y prioridades de cada planta para generar una mayor eficiencia energética (Cementos Argos, 2015: 85).

- **Sustitución de combustibles fósiles**

- Cemex realizó el co-procesamiento de la cogeneración de 466 mil toneladas de residuos diversos, lo que evitó que se emitieran 365 mil toneladas de emisiones de CO₂, alcanzado una sustitución del 16.33% de combustibles alternos en el total de consumo de combustibles (Cemex, 2015: 64).
- Taiheiyo ha utilizado recursos energéticos alternativos como son: los neumático de desechos, los plásticos, el petróleo y la madera para la producción del cemento, alcanzó en el 2014 una sustitución del 15% de todos los combustibles utilizados (Taiheiyo, 2015: 41).
- Cementos Argos logró remplazar cerca del 6.1% de combustibles fósiles por combustibles alternos en el 2015, como llantas, plásticos e insumos no convencionales (Cementos Argos, 2015).
- Entre los combustibles alternos que utiliza Cementos Portland se encuentran: harinas cárnicas, neumáticos usados, plásticos, marro de café, cascarilla de cacao, residuos de fragmentación ligera de vehículos fuera de uso, disolventes, lodos de depuradora, restos de podas y biomasa vegetal, residuos industriales y aceites

²⁰ El RD 56/2016 es un decreto real del parlamento europeo y del consejo que tiene la finalidad de impulsar y promocionar un conjunto de acciones a realizar dentro de los procesos de consumo energético que puedan contribuir al ahorro y a la eficiencia de la energía primaria consumida, así como a optimizar la demanda energética de la instalación, equipos o sistemas consumidores de energía (Rodríguez, 2016).

usados. Con todo esto, en el 2014 lograron sustituir el 11.4% de los combustibles utilizados (Cementos Portland, 2014).

- **Sustitución de Clinker en el cemento**

- En el 2015 Cemex había logrado disminuir el porcentaje de Clinker en el cemento en 5.6%, utilizando sustitutos como escorias de altos hornos, ceniza volante y puzolanas, representando ahorros en el uso de energía eléctrica y en combustibles (Cemex, 2015: 64).
- Cementos Portland utiliza para la elaboración del Clinker materiales como: cenizas, escorias de distintos tipos, escorias de fundición, lodos de carbonato, lodos industriales, restos de concreto, cascarilla de hierro y yesos de desmolde, para la elaboración del Clinker y adiciones al cemento (Cementos Portland, 2015: 57).
- Durante el 2015, Cementos Argos utilizó aditivos químicos que mejoran la resistencia, lo que generó que disminuyera el consumo del Clinker (Cementos Argos, 2015: 90).

- **Captura y almacenamiento de CO₂**

- Desde el 2002, Cemex ha investigado, junto con otras organizaciones internacionales y universidades, la captura y almacenamiento de carbón. Para el 2009 logró obtener en conjunto con el Laboratorio Nacional de Tecnología Energética un financiamiento por parte del Departamento de Energía de los Estados Unidos, para el desarrollo y demostración de su proyecto de captura de CO₂ a escala comercial en las plantas de Odessa Cemex, obteniendo como resultado que la implementación a escala comercial genera costos muy altos, por lo que se sigue investigando (Cemex, 2010b).

- **Sistema de “cap and trade”:**

- Desde el 2008, Cemex entró al programa Exchange Trade System de Europa para monitorear sus emisiones de CO₂ de sus plantas. El uso de energías renovables le permitió a Cemex tener proyectos en el marco de Mecanismo para el Desarrollo Limpio (MDL) de las Naciones Unidas, obteniendo Certificados de Reducción de

Emisiones (bonos de carbono) que vende en el mercado europeo (Cemex, 2008, 2014).

- Taiheiyo participa en el Programa de Comercio de Emisiones para la Prefectura de Saitama, en el que han obtenido créditos de carbono. Asimismo, han obtenido Certificados de Reducción de Emisiones verificados por Japón (Taiheiyo, 2015: 20).

- **Porcentaje de reducción de emisiones**

- En el 2015, Cemex presentó una reducción del 21.6% de Kg de emisiones de CO₂ por tonelada de cemento producida, en comparación con las emitidas en 1990 (Cemex, 2016). Mientras que Taiheiyo tuvo una reducción del 5% de Kg de emisiones de CO₂, del 2000 al 2015 (Taiheiyo, 2015). En tanto que Cementos Argos reportó una disminución del 29% en sus emisiones de CO₂ del 2006 al 2015 (Cementos Argos, 2015: 84).
- Cementos Portland creó un **nuevo tipo de cemento ecológico**, RapidVal cemento natural para reparaciones urgentes y restauraciones que reduce el 20% de las emisiones de CO₂ en su fabricación (Cementos Portland, 2015: 57).

Cemex y Taiheiyo son empresas que debería de estar dentro del grupo de Lafarge, Holcim y Heidelberg, ya que son fundadoras del CSI, y han implementado estrategias eco-eficientes para la mitigación de emisiones de CO₂ desde el 2002 para el caso de Cemex, y a partir del 2005 para el caso de Taiheiyo. Sin embargo, han tenido múltiples de ROC bajos.

Por una lado, Cemex en el 2007 adquirió la empresa australiana Rinker Group Limited por un total de 15 mil 300 millones de dólares (Cemex, 2007b), y en el 2008 estalló la crisis suprime, lo que género que en el 2009 Cemex tuviera el más bajo múltiplo de ROC durante el periodo de estudio con 0.2437. Por otra parte, las ventas de Taiheiyo comenzaron a disminuir a partir de la crisis del 2008, lo que género que en el 2010 se obtuviera el múltiplo de ROC más bajo del periodo con 0.0358, desde entonces Taiheiyo se ha podido recuperar logrando un múltiplo de ROC mayor a uno en el 2014. No obstante, Cemex ha

tenido una recuperación más lenta ya que su múltiplo de ROC no ha logrado superar el uno.

Por su parte, Cementos Portland durante todo el periodo de estudio tuvo un indicador de ROC muy bajo, inclusive llegó a ser negativo durante tres años consecutivos, de 2011 al 2013. Esto se debió, principalmente, a malas estrategias implementadas por su controladora Fomento de Construcción y Contratos (FCC) que obtiene la mayoría de sus ingresos mediante la adjudicación pública de España. Cementos Portland es su principal proveedor de cemento (FCC, 2016). Cuando comenzó la crisis de España y paralizaron las obras públicas, hubo un desplome en las ventas de FCC y en el consumo de cemento del 50% en el 2011 (FCC, 2016). Además, que en el 2006 Cementos Portland se convirtió en la primera cementera española, al comprar el 51% de la cementera catalana Uniland por un total de 1.092 millones de euros (Muñoz, 2006).

Por ello en 2011 Cemento Portland acumuló una pérdida de 72 millones de euros, la empresa tuvo que comenzar un plan de reestructura, vendiendo dos plantas españolas y disminuyendo el número de empleados (Fernández, 2013). Además con la inversión que realizó Carlos Slim en la controladora FCC (lo que hizo que se convirtiera en el accionista mayoritario de la controladora a partir del 2014), se destinaron 100 millones a la reducción de la deuda de Cementos Portland (Fernández, 2015).

Caso contrario fue el de Cementos Argos, a lo largo del periodo estudiado su indicador de ROC fue creciendo hasta llegar a 0.6416 en el 2014. Además, en el 2016, fue reconocida como la empresa cementera más sustentable del mundo, por parte de Dow Jones Sustainability (Cementos Argos, 2015). Sin embargo, el caso de Cementos Argos requiere de una investigación más profunda, ya que tiene el mayor porcentaje de disminución de CO₂, 29% de 2006 al 2015, inclusive es mayor que las empresas que comenzaron a implementar estrategias para la mitigación de emisiones de CO₂ desde 1990. Más aún, en los reportes que pública no informa de estrategias superiores a las demás cementeras que le generen una mayor disminución de emisiones de CO₂.

En contraste con el grupo anterior, se encontraron empresas como Ambuja, Cimsa, Italcement, Italcementi y Ultratech, que obtuvieron indicadores muy altos de ROC, destacando Ambuja con una media de 2.0649 para el periodo, la más alta de la muestra. En cambio, tuvieron los indicadores más bajos para el apalancamiento de CO₂, lo que indica que son eficientes con los recursos económicos pero ineficientes con los recursos naturales.

De estas empresas, únicamente Ambuja no pertenece a la Iniciativa, mientras que Italcementi es una de las fundadoras pero no ha tenido un buen desempeño en el indicador de apalancamiento de CO₂ a lo largo del periodo de estudio (ver gráfica 4.3).

De este grupo de empresas las principales estrategias que han implementado para disminuir sus emisiones de CO₂ son:

- **Eficiencia energética**

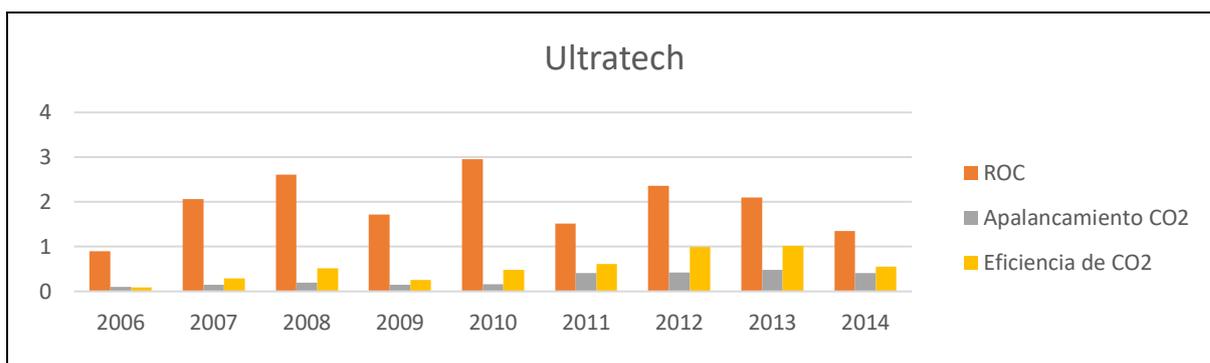
- En el 2015, Ambuja produjo el 4.6% de la energía utilizada a través de energías renovables, como son el uso de la biomasa, energía eólica y energía solar (Ambuja, 2015: 8). Además, cuenta con proyectos de recuperación de calor residual, que se han registrado bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio, y ha invertido en plataformas de almacenamiento y pretratamiento que aumentan el uso de los combustibles alternos (Ambuja, 2015: 38).
- Para aumentar la eficiencia energética, Cimsa ha utilizado equipos que disminuyen el uso de energía en instalaciones de trituración, combustión y mezcla (Cimsa, 2015: 41).
- Italcementi desarrolló una hoja de ruta basada en la renovación de sus activos industriales, aumento del uso de combustibles no fósiles y composición de productos menos intensivos en energía. Además, durante el 2015, sometió a todas sus plantas a una auditoría energética, para que cumplan con las legislaciones de la Unión Europea (Italcementi, 2015: 344).
Por otra parte, Italcementi tiene en determinadas plantas un sistema de cogeneración de calor residual, así como plantas eólicas (Italcementi, 2015: 345).

- Intercement ha generado energía renovable a través de plantas hidroeléctricas (Intercement, 2015: 38).
- En el 2014 Ultratech implementó sistemas de recuperación residual en dos plantas para cemento gris. También desarrolló una Plataforma de Simulación Avanzada de Cemento (CASP) en la planta de Andhra Pradesh, con el objetivo de conocer el desempeño de su sistema existente, analizar parámetros de procesos y optimizarlos para lograr la mezcla óptima de combustibles, harina cruda y aire terciario (Ultratech, 2014: 52). Para disminuir el consumo de combustibles fósiles ha implementado dos tipos de energías renovables, la principal energía en la que invierten es la solar que genera 400KW y la segunda es la energía eólica (Ultratech, 2014: 54).
- **Sustitución de combustibles fósiles**
 - Durante el 2015, Ambuja logró co-procesar 2.6 mil toneladas de combustibles alternos y materiales de desecho de bajo costo (coque de petróleo), alcanzando una tasa de sustitución térmica del 5.71% con respecto al 2006 (Ambuja, 2015: 3).
 - Cimsa alcanzó una tasa de 7.79% de sustitución de combustibles fósiles por alternos en el 2015 (Cimsa, 2015: 37).
 - Intercement generó co-procesamiento de residuos urbanos, logrando en el 2013 una tasa de sustitución de combustibles fósiles del 15% con respecto a 1990 (Intercemnt, 2015: 39).
 - Italcementi en el 2015 logró sustituir el uso de combustibles fósiles en 12% por combustibles alternos con respecto a 1990, entre los que se encuentran la madera troceada, tallo de algodón, residuos agrícolas, neumáticos, vidrio y plástico (Italcementi, 2015: 344).
 - Ultratech logro una sustitución de combustibles fósiles del 8.4% para el 2014, como combustibles alternos utilizó: cáscara de arroz, virutas de neumáticos de caucho, carbono gastado, residuos de destilación, lodos de fondo y residuos de algodón (Ultratech, 2014: 57).

Gráfica 4.3
Comportamiento de Ambuja, Cimsa, Italcement, Italcementi y Ultratech
con respecto a los múltiplos del ROC, apalancamiento del CO₂ y eco-
eficiencia de CO₂



Continua



Fuente: Elaboración propia con base en la metodología utilizada por Figge y Hahn (2013) Value drivers of corporate eco-efficiency: Management accounting information for the efficient use of environmental resources. *Management Accounting Research*, Vol. 24(4), pp. 387-400 y datos obtenidos de la base de datos Capital IQ (2006-2014) y en los Informes de Sustentabilidad de Ambuja, Cimsa, Italcement, Italcementi y Ultratech (2006-2014).

- **Sustitución de Clinker en el cemento**

- Ambuja fomenta la sustitución hasta del 30% del Clinker, mediante el uso de cenizas volantes, en su principal cemento Portland Pozzolana Cement (PPC) (Ambuja, 2015: 39).
- Cimsa logró alcanzar una tasa de sustitución de Clinker del 26% en el 2015, a través de aditivos naturales (Cimsa, 2015: 38).
- Intercement logró alcanzar una tasa de sustitución de Clinker del 28% en el 2013, mediante el uso de aditivos como yeso y puzolanas naturales (Intercement, 2015: 9).
- Durante el 2015, Italcementi fomentó la reducción del contenido de Clinker a través del uso de materiales reciclados como la escoria y la ceniza volante, logrando una sustitución del 9% de Clinker en las plantas ubicadas en la India (Italcementi, 2015: 346).
- Ultratech ha utilizado materiales como cenizas volantes y escorias de centrales térmicas y plantas de acero, para sustituir la proporción de Clinker en el cemento, logrando una tasa del 13% en el 2014 (Ultratech, 2014: 58).

- **Captura y almacenamiento de CO₂**

- Italcementi desarrolla investigaciones en asociaciones con universidades para la generación de programa de micro algas que puedan capturar el CO₂ producido por la planta (Intercement, 2015: 47).

- **Sistema de “cap and trade”**
 - Ambuja tiene registrados proyectos bajo el Marco de Mecanismo para el Desarrollo Limpio (MDL) de las Naciones Unidas, obteniendo 30 000 Certificados de Reducción de Emisiones por año durante los próximos diez años, los cuales ha ido vendiendo para generar ingresos (Ambuja, 2015: 39).
 - En las plantas de Italcementi ubicadas en Italia, se recompensaron los programas enfocados a la eficiencia energética a través de Certificados de Eficiencia Energética (TEE), que se negociaron en National Energy Exchange. Por otra parte, las plantas ubicadas en India generaron Certificados de Ahorro de Energía (Italcementi, 2015: 345).
- **Porcentaje de reducción de emisiones de CO₂**
 - Ambuja ha disminuido sus emisiones de CO₂ en 28.3% en el periodo de 1990 al 2014 (Ambuja, 2015: 40). Mientras que Italcementi redujo sus emisiones en 5% en el 2015 con respecto a 1990. En tanto que, Utratech ha reducido sus emisiones en 2.96% del 2009-2014.

Tanto Ambuja como Italcementi son empresas que tienen las más bajas emisiones de kilogramo CO₂ por tonelada de cemento producida de toda la muestra durante el periodo estudiado (ver anexo B). Ambuja tiene una media del periodo de 575.11 Kg de CO₂ por tonelada de cemento producida, mientras que Italcementi tiene una media de 593.09. Al contrario de sus bajas emisiones por tonelada de cemento producida, presentan bajos indicadores de apalancamiento de CO₂, debido a su alta producción de cemento y a la baja inversión en activos.

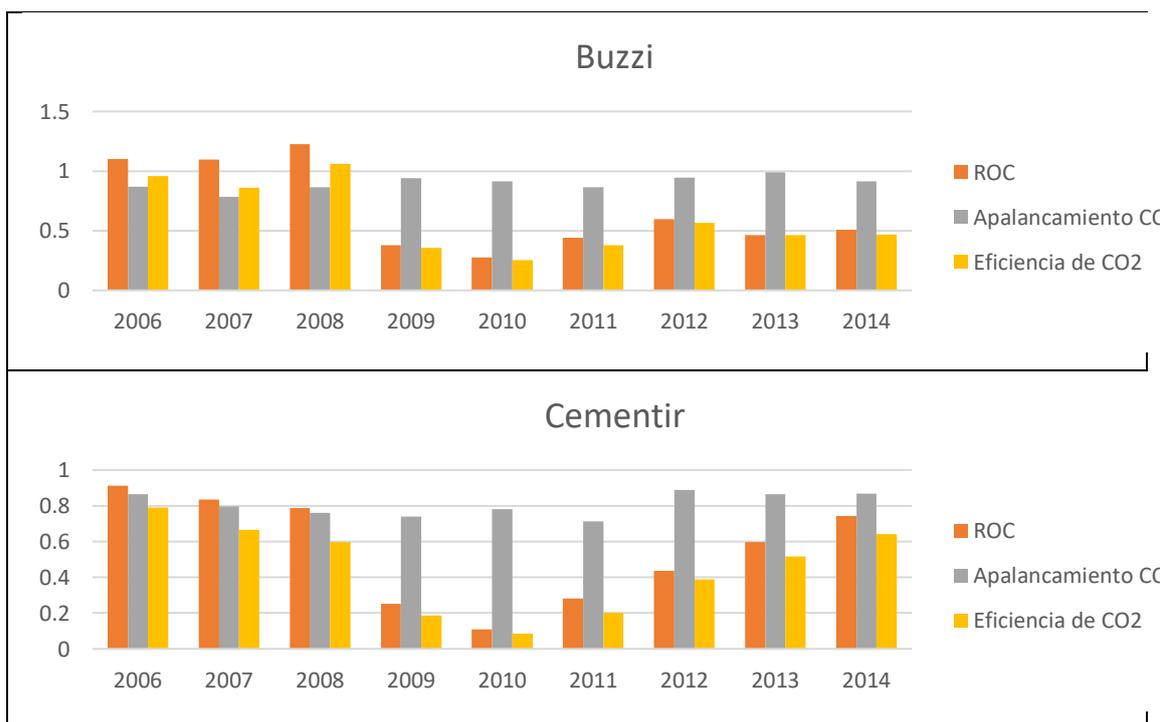
Es importante destacar que LafargeHolcim tienen el 63.62% de participación accionaria de Cementos Ambuja (LafargeHolcim, 2016), mientras que Heidelberg tiene el 100% de la participación accionaria de Italcementi (Heidelberg, 2016b).

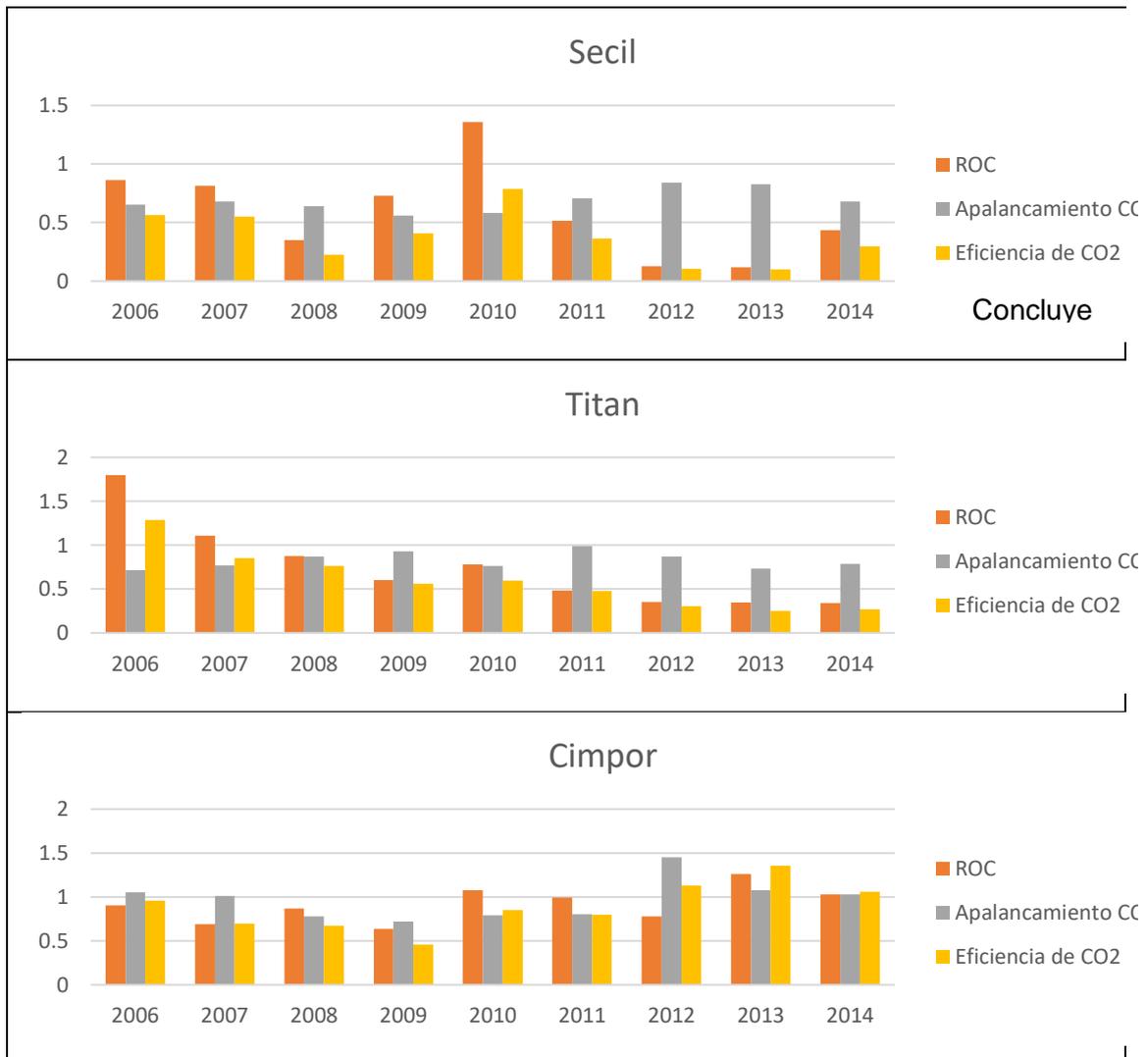
Buzzis, Cementir, Secil, Titan y Cimpor

Finalmente se agruparon las empresas que no tuvieron un desempeño mayor a uno durante todo el periodo de estudio en dos de sus múltiplos, como son Buzzi, Cementir, Secil, Titan y Cimpor (ver gráfica 4.4). Para el caso de las tres primeras, obtuvieron una media en el indicador de eco-eficiencia de CO₂ menor a 0.5 (ver tabla 4.4), lo que indica una baja eficiencia tanto con los recursos económicos como con los recursos naturales. Buzzi y Cementir no pertenecen a la Iniciativa.

En tanto que Titan y Cimpor tuvieron mejor desempeño. Titan con una media en su múltiplo de apalancamiento de CO₂ de 0.8247 y un ROC de 0.7437. Mientras que, Cimpor obtuvo una media de apalancamiento de CO₂ de 0.9679 y un ROC de 0.9162.

Gráfica 4.4
Comportamiento de Buzzi, Cementir, Secil, Titan y Cimpor con respecto a los múltiplos del ROC, apalancamiento del CO₂ y eco-eficiencia de CO₂





Fuente: Elaboración propia con base en la metodología utilizada por Figge y Hahn (2013). Value drivers of corporate eco-efficiency: Management accounting information for the efficient use of environmental resources. *Management Accounting Research*, Vol. 24(4), pp. 387-400; datos obtenidos de la base de datos Capital IQ (2006-2014) y en los Informes de Sustentabilidad de Buzzi, Cementir, Secil, Titan y Cimpor (2006-2014).

De las cinco empresas que conforman este grupo, únicamente Cimpor es fundadora del CSI, y a pesar de esto su desempeño en el indicador de apalancamiento de CO₂ se ha mantenido constante, no ha aumentado de acuerdo a las estrategias que ha implementado.

Entre las estrategias que han implementado las empresas anteriormente mencionadas para mitigar sus emisiones de CO₂ se encuentran:

- **Eficiencia energética**

- Cimpor ha utilizado líneas de producción de sistemas secos con tecnología eficiente en el uso de energía y en la mayoría poseen sistemas de conducción automática (Cimpor, 2012: 74).
- Buzzi mejoró su eficiencia energética con la modernización y sustitución de las líneas de producción tradicionales que tenían un alto consumo de combustibles (Buzzi, 2015: 45).
- El 42% de la energía que ocupó Cementir en el 2014 provino de energías renovables, principalmente basura. Además, una planta contó con sistemas que recuperan el calor residual que se destinan a calentar Florencia (Cementir, 2015: 29).
- Titan no presenta estrategias enfocadas a la eficiencia energética, más allá de la sustitución de combustibles, se enfoca en la búsqueda de eficiencia en energía térmica (Titan, 2015: 24).
- Para la eficiencia energética, Secil tiene un proyecto en la planta de Túnez para producir electricidad a partir del viento y energía solar (Secil, 2014: 98).

- **Sustitución de combustibles fósiles**

- Cimpor logró una tasa de sustitución de combustibles fósiles del 13% en el 2014 a partir del co-procesamiento de residuos agrícolas, urbanos, industriales y uso de coque de petróleo (Cimpor, 2014: 50).
- Buzzi obtuvo una tasa de sustitución del 8% en el 2015, con el uso de plásticos, combustibles a partir de residuos, aceites usados, disolventes y biomasa como combustibles alternos (Buzzi, 2015: 70).
- Cementir tuvo una tasa de sustitución del 8%, para ello ocupó neumáticos, harinas y grasas animales de carne y huesos, aceites usados, desechos textiles contaminados, y combustibles sólidos secundarios (Cementir, 2015: 29).

- Durante el 2014, Titan obtuvo una tasa de sustitución de 6.9%, utilizó principalmente biomasa (Titan, 2015: 45).
- Secil ha estado invirtiendo en el co-procesamiento de combustibles alternativos utilizando materias primas secundarias (biomasas vegetales y biomasas animales) y combustibles con componentes biogénicos (Secil, 2014: 199).
- **Sustitución de Clinker en el cemento**
 - Cimpor logró una tasa de sustitución de Clinker de 14.5% en el 2014, utilizando cenizas volantes y escorias (Cimpor, 2014: 50).
 - Buzzi obtuvo una tasa de sustitución de Clinker del 19% en el 2014, a partir de cascarilla de laminación, polvos de aluminio, ceniza volante, escoria, lodo, yeso y escoria química (Buzzi, 2015: 45).
 - Cementir ha sustituido el Clinker por piedra caliza y arcilla quemada, en una tasa del 6% en el 2014 (Cementir, 2015: 42).
 - Titan fomenta la venta de su cemento mezclado, el cual disminuye la cantidad de Clinker que compone el cemento y agrega escorias granuladas de hornos altos, puzolanas, y cenizas volantes. La tasa de sustitución de Clinker en el cemento fue del 7% en el 2014 (Titan, 2015: 45).
 - Secil tuvo una tasa de sustitución de Clinker del 13% en el 2014 (Secil, 2014: 123).
- **Captura y almacenamiento de CO₂**
 - Cimpor participa en investigaciones con otras cementeras para desarrollar programas pilotos que faciliten la captura y almacenamiento del CO₂ de las chimeneas de los hornos de Clinker para producir biocombustibles y biomasa de micro algas (Cimpor, 2012: 22)
- **Sistema de Cap and trade**
 - Secil tiene registradas sus emisiones de CO₂ para que sean monitoreadas desde el 2013 (Secil, 2013). Además, tuvo ingresos por un total de 1.5 millones de euros, por la venta de derechos de emisión de CO₂ en el 2014 (Secil, 2014: 27).

- Titan está sujeto al límite máximo del régimen de comercio de emisiones de la Unión Europea y a las cuotas comerciales (Titan, 2015: 65).
- **Porcentaje de reducción de emisiones de CO₂**
 - Para el 2014, Cimpor tenía un porcentaje de reducción del 15% de emisiones de CO₂ por tonelada de cemento producida con respecto a 1990 (Cimpor, 2014: 51).

En el 2012 Secil adquirió el 100% del Grupo Lafarge en Portugal, en ese mismo año adquiere el 13% de la participación accionaria de la cementera brasileña Cementos Supremo, e inicia la construcción de una nueva planta de cemento en Andrinópolis en Brasil (Secil, 2013b: 13). Al analizar cada uno de los múltiplos de Secil y las estrategias implementadas se observa que, comenzó a vender Certificados de emisión de CO₂, para recuperarse de la caída que traía en sus utilidades a partir del 2011.

4.2.1 Análisis de la eco-eficiencia anual

Con el fin de conocer la posición de cada una de las empresas con respecto a la media, se realizó un análisis comparativo de cuatro años específicos, 2006, 2009, 2012 y 2014. Este análisis se muestra en la tabla 4.6, en cada cuadrante se presenta en el eje de las ordenadas el múltiplo del ROC, en el eje de las abscisas el múltiplo de apalancamiento de CO₂, que al ubicarse en la gráfica dan como resultado la eco-eficiencia de CO₂ de cada empresa.

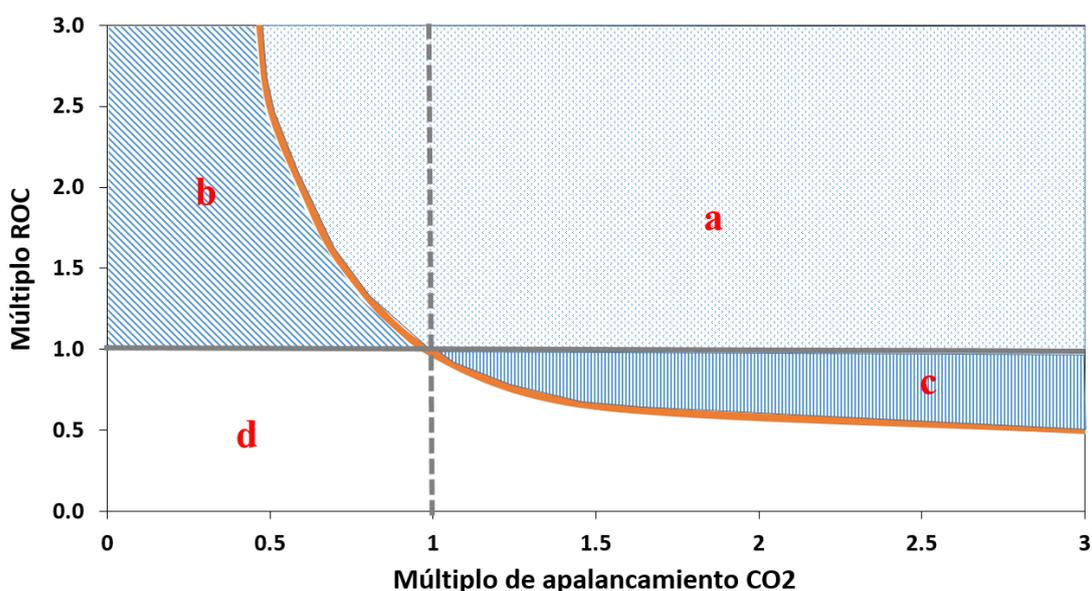
La línea convexa indica la media de la muestra, así que los indicadores de eco-eficiencia de CO₂ de las empresas que se acerquen a esta línea, muestran que cumplen con la eco-eficiencia del promedio del mercado, por lo que no se genera ningún costo de oportunidad tanto para los recursos económicos como para los naturales. En tanto que, la línea horizontal que cruza en uno en el eje de las ordenadas, muestra la media del mercado del múltiplo de ROC, mientras que la línea vertical que cruza en uno en el eje de las abscisas, representa la media del múltiplo del apalancamiento del CO₂ (Figge y Hahn 2013: 392).

De manera que, las empresas que se encuentren por debajo de la línea horizontal, tienen una baja eficiencia en sus recursos económicos comparada

con la media de la muestra, generando costos de oportunidad para esos recursos. Por otro lado, las empresas que se encuentran de lado izquierdo de la línea vertical, tienen una baja eficiencia de sus recursos naturales comparado con la media de la muestra. Tanto las líneas verticales y horizontales, como la línea convexa dividen el gráfico en cuatro cuadrantes (ver gráfica 4.5).

Dicho lo anterior, al analizar la gráfica del **2006**, se puede observar que únicamente tres empresas Siam, Vicat y Titan se encuentran en el cuadrante “a” (abarca toda el área que se encuentra por arriba de la línea convexa y arriba de la línea horizontal), Titán se encuentra del lado superior izquierda, lo que indica que el valor de eco-eficiencia de CO₂ se debe principalmente al alto ROC que maneja de 1.79, impulsado por su margen de ventas. En tanto que, Siam y Vicat se posicionan por arriba de la línea horizontal y vertical, Siam con un ROC de 1.34 veces mayor al promedio de la muestra y emitió 1.07 veces menos emisiones de CO₂ por dólar invertido que el promedio de la muestra, y Vicat con un ROC de 1.27 veces mayor a la muestra y emitió 1.28 veces menos emisiones de CO₂ que la media de la muestra. Ambas empresas durante el 2006 utilizaron de manera eficiente tanto sus recursos económicos como naturales.

Gráfica 4.5
Cuadrantes de la eficiencia de capital económico y ambiental



Fuente: Figge, F. y Hahn, T. (2013: 391). Value drivers of corporate eco-efficiency: Management accounting information for the efficient use of environmental resources. *Management Accounting Research*, Vol. 24(4), pp. 387-400.

Por otra parte, Lafarge, Holcim, Cimpor y Portland se ubicaron en el cuadrante “c”, indicando que las tres empresas tienen un buen desempeño en el múltiplo de apalancamiento de CO₂ ya que se encuentran por arriba de la media de la muestra. Holcim es la segunda empresa con mejor múltiplo de apalancamiento de CO₂ de la muestra, emitiendo 2.095 veces menos emisiones de CO₂ por dólar invertido. En cambio, los múltiplos de ROC de las cuatro empresas no son tan buenos, ya que se encuentra por debajo de la media de la muestra, aunque es superior a 0.87.

En tanto que, en el cuadrante “b” se ubicaron las empresas Ambuja, Cimsa, Italcementi y Buzzi, demostrando que son empresas que tienen un mejor múltiplo de ROC que de apalancamiento de CO₂, por lo que sus recursos naturales no están siendo utilizados de manera eficiente. Ambuja fue la empresa con mejor ROC de la muestra, siendo su ROC 1.86 veces mayor a la media de la muestra.

Por último, las empresas que se ubicaron en el cuadrante “d” son Ultratech, Secil, Heidelberg, Intercement, Cementir, Cemex, Taiheiyo, y Cementos Argos. Las primeras cuatro empresas tienen un bajo desempeño tanto económico debido a su múltiplo de margen de ventas, como ambiental debido a sus altas emisiones de CO₂. En cuanto a CEMEX, Cementos Argos y Taiheiyo, tienen una baja eficiencia con sus recursos económicos. Cementos Argos y Cemex en sus múltiplos de margen de ventas y rotación de activo, mientras que Taiheiyo únicamente en su margen de ventas. En relación a su múltiplo de apalancamiento de CO₂, las tres empresas están por arriba de la media de la muestra, lo que indica un uso eficiente de sus recursos naturales. Taiheiyo en este año se posiciona como la empresa con mejor apalancamiento de CO₂ teniendo 2.13 veces menos emisiones de CO₂ por dólar invertido que la media de la muestra.

Al analizar el cuadrante del **2009** se observa que la media de la muestra para el múltiplo de ROC disminuye a 0.69, indicando que la mayoría de las empresas analizadas fueron afectadas por la crisis financiera del 2008. La media del múltiplo de apalancamiento de CO₂ se mantiene en uno.

Siam y Vicat se mantienen en el cuadrante “a”, aunque su ROC es menor a uno, pero superior a la media de la muestra. Asimismo, Lafarge y Holcim se mantienen en el cuadrante “c”, que al igual que las empresas cementeras anteriores disminuyen su múltiplo de ROC y en el caso de Holcim también el de apalancamiento de CO₂ de 2.133 en el 2006 a 1.60 en 2009.

En tanto que Italcementi, Ultratech e Inter cement son las únicas empresas que aumentan su múltiplo de ROC. Fue Inter cement la que mayor aumento registró, en el 2006 obtuvo un ROC de 0.3955 y para el 2009 logra obtener 1.115, debido al aumento en su margen de ventas y rotación de capital, consecuencia de las adquisiciones que comenzó a realizar desde el 2005 con la planta Loma Negra en Argentina, Grupo Equipav en 2007 y CIMEC Moagem en 2009 (Inter cement, 2010:7). En cambio el múltiplo de apalancamiento de CO₂ de Italcement disminuye 40%, mientras que Italcementi y Ultratech se mantienen con indicadores bajos de apalancamiento de CO₂.

Casos contrarios fueron CEMEX, Portland, Taiheiyo, Cementos Argos, Cementir y Buzzi, que para el 2009 sus múltiplos de ROC caen por debajo de 0.5, debiéndose principalmente al bajo margen de ventas que reportaron, y para el caso de CEMEX, Buzzi y Cementos Argos también a la baja rotación del activo total.

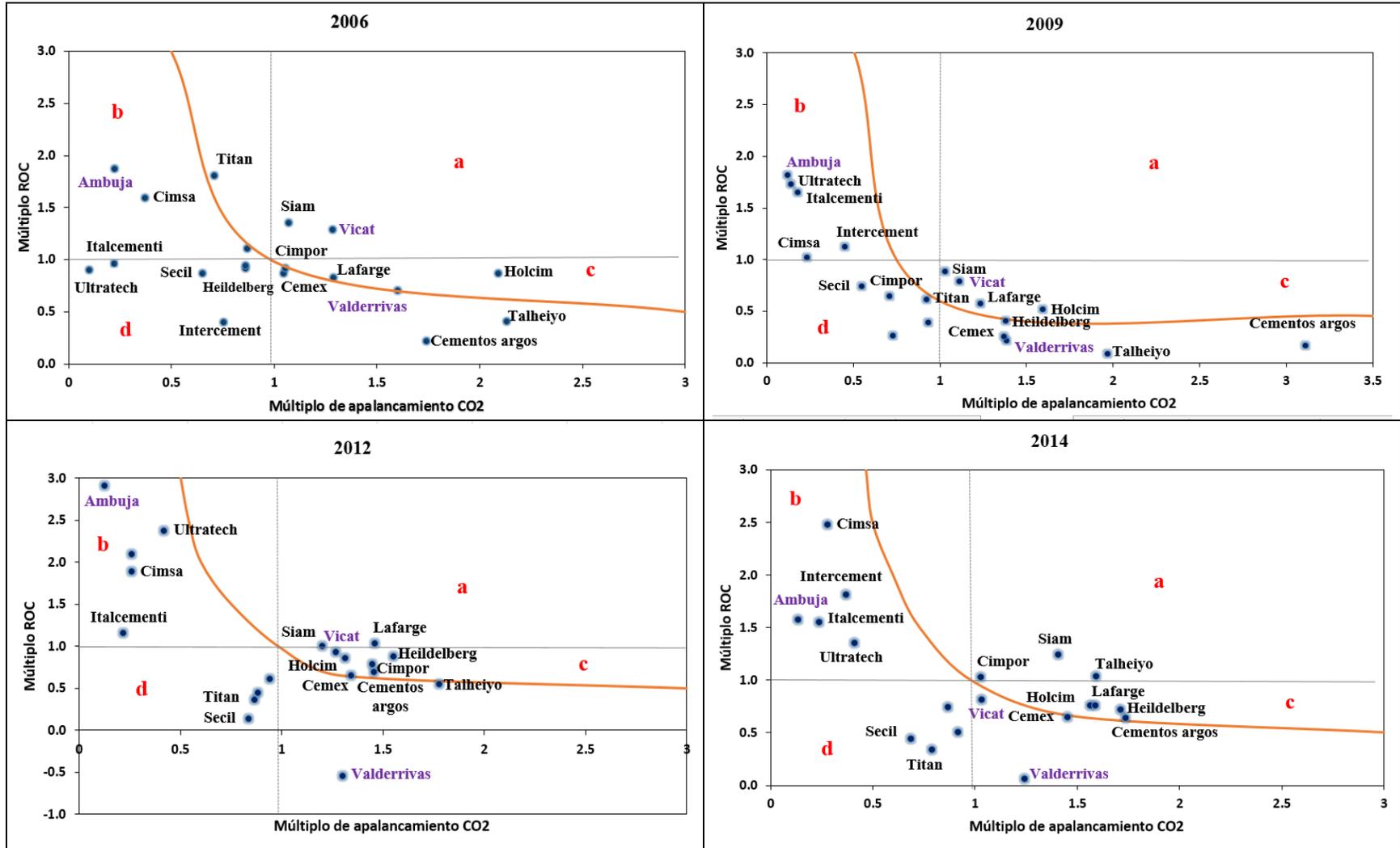
Sin embargo Cementos Argos, presentó un aumento en el múltiplo de apalancamiento de CO₂, alcanzando 3.118 veces menos emisiones de CO₂ que la media de la muestra, el máximo múltiplo alcanzado durante todo el periodo de estudio.

Para el **2012** se presenta una recuperación generalizada de las empresas cementeras en su múltiplo de ROC, con excepción de Cementos Portland, Titan y Secil, las cuales continúan disminuyendo su múltiplo de ROC debido a su bajo margen de utilidades. Cementos Portland inclusive llega a tener un indicador negativo de ROC desde el 2011, consecuencia de sus bajas ventas que no logran generar la utilidad operativa necesaria para cubrir los costos en los que incurre.

En ese año, Lafarge logró posicionarse en el cuadrante “a”, junto con Siam. Lafarge alcanzó un indicador de ROC de 1.02 veces mayor a la media de la muestra, y emitir 1.46 veces menos emisiones de CO₂ que la media de la muestra.

Cabe señalar que tanto Holim, Heidelberg, Cimpor, Vicat, Cementos argos y Cemex, lograron aumentar su múltiplo de ROC, aunque siguen por debajo de la media de la muestra, ubicándose en el cuadrante “c”. Para el caso de Cimpor, Heidelberg y Vicat, también aumentaron su múltiplo de apalancamiento de CO₂. En cambio Holcim y Cementos Argos disminuyeron este múltiplo.

Tabla 4.6
Análisis anual de la eco-eficiencia de CO₂ de las cementeras



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Capital IQ (2007-2014) e informes de sustentabilidad.

Es importante destacar que la empresa Ambuja obtuvo el mayor múltiplo de ROC durante el periodo de estudio con un máximo de 2.89 veces la media de la muestra. Por ello, en todo el periodo se ubicó en el cuadrante “b”, reflejando su indicador de eco-eficiencia de CO₂ la eficiencia de los recursos económicos.

Para el **2014** la gran mayoría de las empresas se recuperaron por completo, algunas se mantienen sin variaciones, y pocas disminuyen. Holcim, Cementos Argos y Heidelberg se mantienen en el cuadrante “c”, sin cambios significativos en sus múltiplos. Mientras que Lafarge disminuye su múltiplo de ROC y aumenta el de apalancamiento de CO₂, lo que genera que se posicione en el cuadrante “c” durante el 2014.

De igual modo Ambuja y Ultratech disminuyeron su múltiplo de ROC, si bien se mantienen en el cuadrante “b”, dejaron de representar la mayor eficiencia de recursos económicos, puesto que son desplazadas por Cimsa e Intercement. En particular Cimsa presentó un crecimiento de del 32% del 2012 al 2014 en su múltiplo de ROC, fomentado por el aumento de ventas.

En tanto que Siam, Cimpor y Taiheiyo, se posicionan en el cuadrante “a”. Siam se ha mantenido durante siete años en este cuadrante, reportando indicadores de eco-eficiencia de CO₂ mayores a la media de la muestra. En cambio Cimpor y Taiheiyo el 2014 es el primer año que lograron tener un indicador de eco-eficiencia de CO₂ mayor a la media de la muestra, ambos crecimientos son impulsados por un mejor margen de ventas y rotación de activos.

Por otro lado, es importante remarcar el desempeño que tuvo Vicat durante el periodo de estudio, ya que se mantuvo con un indicador eco-eficiencia de CO₂ mayor a uno de 2006 a 2014. Sin embargo, en el 2012 bajo su múltiplo de ROC por debajo de la media, lo que generó que se disminuyera su indicador de eco-eficiencia de CO₂. Para el 2014, todavía no recuperaba su nivel de múltiplo de ROC.

4.2.2 Análisis de correlación

En el análisis de eco-eficiencia de CO₂ por año, no se observa una relación directa entre el apalancamiento de CO₂ y el múltiplo del ROC, por lo que se realizó un

análisis de correlación para conocer qué tipo de relación tienen las variables en el periodo 2006-2014 a las 19 empresas.

En la tabla 4.7 se presentan los resultados del análisis de correlación, en los cuales se observa que de las 19 empresas 13 tienen un coeficiente de correlación negativo, al comparar el coeficiente con el promedio del indicador de eco-eficiencia de CO₂ se tiene que, 11 empresas no logran alcanzar un indicador de eco-eficientes de CO₂ de uno. Caso interesante es el de Holcim y Heidelberg, quienes tienen coeficiente de correlación negativo y un promedio de eco-eficiencia de CO₂ mayor a uno.

Tabla 4.7
Coeficiente de correlación para las variables apalancamiento de CO₂ y ROC
(2006-2014)

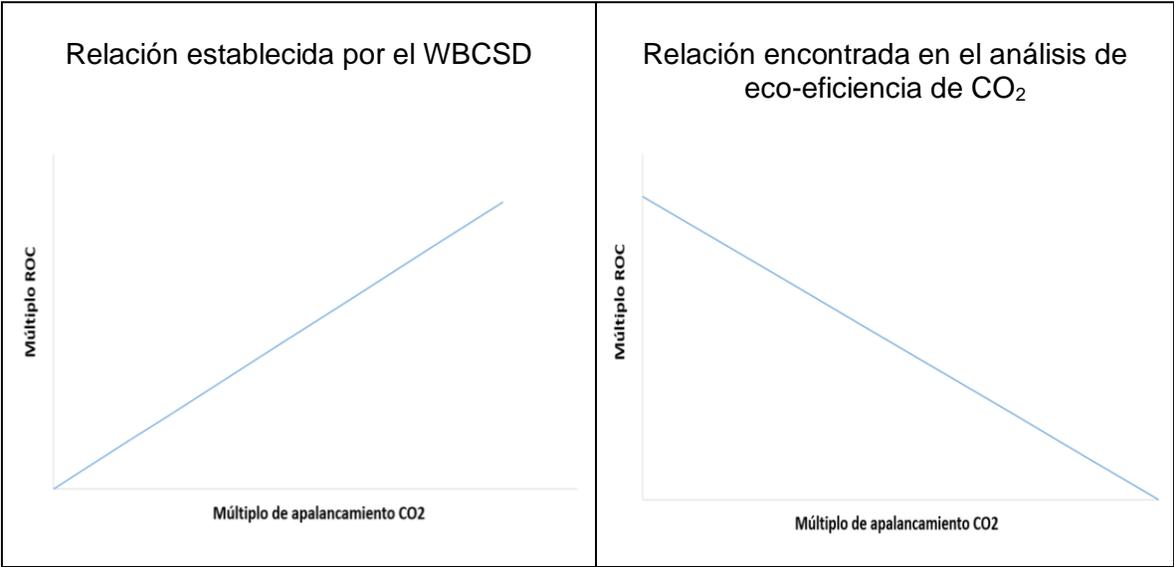
Empresa	Promedio de eco-eficiencia de CO₂	Correlación
Siam	1.2841	0.5907
Vicat	1.2229	0.6155
Holcim	1.2147	-0.3137
Lafarge	1.1483	0.1335
Heidelberg	1.0561	-0.3634
Cimpor	0.8873	0.0106
Talheiyo	0.7879	-0.3798
Cementos Argos	0.7229	-0.4979
Cemex	0.7026	-0.4309
Intercement	0.6005	-0.8902
Buzzi	0.5964	-0.6613
Titan	0.5959	-0.4361
Ultratech	0.5356	-0.0169
Cementir	0.4525	0.4540
Cimsa	0.4390	-0.4035
Secil	0.3779	-0.7738
Italcementi	0.3465	-0.3673
Ambuja	0.3083	-0.1651
Cementos Portland	0.2280	0.2073

Fuente: elaboración propia con base en datos de Capital IQ (2006-2014) e informes de sustentabilidad de las empresas de la muestra (2006-2014).

Para las 13 empresas que tienen coeficientes de correlación negativo se observa que la relación entre las variables es inversa; si se aumenta el apalancamiento de

CO₂ se disminuye el múltiplo de ROC y viceversa (ver tabla 4.8). Esta relación entre las variables es contraria a lo que señala el WBCSD (1996), De Simone y Propoff (2000) y Romero (2002) en la que se busca una correlación positiva entre las variables, generando una ganancia tanto para la empresa que implementa las estrategias eco-eficientes que disminuyen sus costos y aumentan su utilidad como para el medio ambiente al disminuir el impacto generado por el procesos de producción al usar eficientemente los recursos naturales. Por lo que de acuerdo a la metodología de Figge y Hahn (2013), se esperaría observar un aumento en el indicador de apalancamiento de CO₂ y a la vez un aumento en el múltiplo de ROC.

Tabla 4.8
Relación entre las variables de eco-eficiencia



Fuente: Elaboración propia con base en resultados obtenidos en el análisis de eco-eficiencia de CO₂ y en World Business Council for Sustainable Cement (1996). Eco-efficient leadership for improved economic and environmental performance. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

Por otra parte para Siam, Vicat, Lafarge, Cimpor, Cementir y Cementos Portland, se observa un coeficiente de correlación positivo, lo que genera una relación directa entre las variables, se aumenta el apalancamiento de CO₂ y aumenta el múltiplo de ROC. Para Siam y Vicat la correlación entre las variables es mayor, además estas empresas son las que tienen el más alto indicador de eco-eficiencia de CO₂ de toda la muestra. Por su parte Lafarge y Cimpor tienen una correlación muy baja entre sus

variables, aunque Lafarge tiene un indicador de eco-eficiencia de CO₂ mayor a uno, mientras que el indicador de Cimpor se acerca al uno. En tanto que Cementir y Cementos Portland tienen una correlación baja y además tienen un indicador de eco-eficiencia de CO₂ por debajo de 0.5.

4.2.3 Análisis de diferencia de medias

Para determinar si existe alguna diferencia entre el indicador de eco-eficiencia de CO₂ de las empresas cementeras que pertenecen al CSI (grupo 1a) y las que no pertenecen pero que reportan estrategias para mitigar sus emisiones de CO₂ en sus informes de sustentabilidad (grupo 2a), se utilizó el análisis estadístico de diferencia de medias.

Se plantearon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula indica si la media del indicador de eco-eficiencia de CO₂ de las empresas que pertenecen al CSI es igual a la media de las empresas que no forman parte de la Iniciativa.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

- La hipótesis alternativa indica si la media del indicador de eco-eficiencia de CO₂ en la muestra de empresas que forman parte de la CSI es diferente a la media de las empresas que no forman parte de la Iniciativa.

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Se parte del supuesto de que ambas muestras tienden hacia una distribución normal, y se realiza el análisis con un nivel de confianza del 99%, obteniendo los resultados que se observan en la tabla 4.9

De acuerdo al análisis de la diferencia de medias, se encontró que no existe diferencia significativa entre las medias de eco-eficiencia de CO₂ de los dos grupos para cada año del periodo.

Tabal 4.9
Resultados de análisis de diferencia de medias del indicador de eco-eficiencia de CO₂

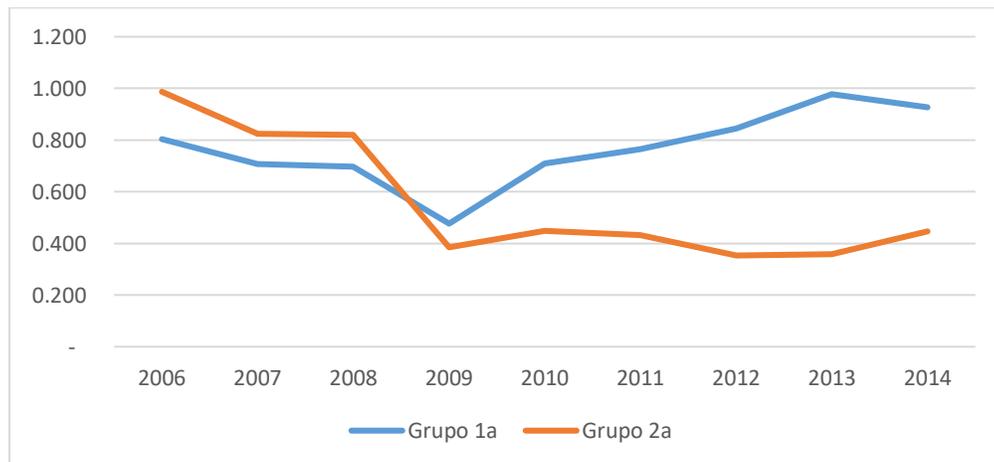
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Grupo 1									
Media	0.804	0.707	0.697	0.476	0.709	0.765	0.846	0.978	0.927
Varianza	0.242	0.111	0.123	0.049	0.145	0.121	0.186	0.289	0.224
Grupo 2									
Media	0.987	0.825	0.820	0.385	0.448	0.431	0.353	0.358	0.447
Varianza	0.205	0.125	0.180	0.075	0.256	0.333	0.468	0.228	0.098
T critica	0.726	0.669	0.637	-0.747	-1.210	-1.551	-1.882	-2.269	-2.092
T tablas	1.740	1.740	1.740	1.740	1.740	1.740	1.740	1.740	1.740
P valor	0.761	0.744	0.734	0.767	0.879	0.930	0.961	0.982	0.974

Acepta Ho

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Capital IQ e informes de sustentabilidad.

Al graficar las medias de los dos grupos (gráfica 4.6), se observa que en los primeros cuatro años tienen comportamientos muy similares, sin embargo la media del grupo 1a en estos años se encuentra por debajo de la del grupo 2a. Para ambos grupos se observa una fuerte caída en el 2009, el grupo 2a experimenta una mayor caída puesto que su indicador llega hasta 0.385, ya que Cementos Portland tuvo la mayor caída de ambas muestras para su indicador de eco-eficiencia de CO₂ y Cementir y Buzzi en la mayoría del periodo se mantuvieron en el cuadrante “d”.

Gráfica 4.6
Medias del indicador de eco-eficiencia de CO₂



Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos en los informes de sustentabilidad de las empresas (2006-2014) y en la base de datos Capital IQ (2006-2014).

Mientras que la caída del grupo 1a llegó hasta 0.47 y en los años subsecuentes se recuperó mucho más rápido que el grupo 2a, el cual vuelve a caer en el 2013, mostrando una pequeña recuperación en 2014.

Durante el periodo estudiado el indicador de eco-eficiencia de CO₂ del grupo 2a fue mejor durante seis años que el indicador del grupo 1a. Sin embargo, la diferencia entre estas dos medidas, no es significativa para determinar que el grupo 2a es mejor que el grupo 1a, según el análisis realizado.

4.3 Análisis de diferencia de medias del indicador ROC

Primero se analizó el indicador del ROC para cada empresa, con el fin de conocer cuáles son las empresas que tienen mayor eficiencia en sus recursos económicos, si las empresas que presentan información de estrategias e indicadores enfocados a la mitigación de emisiones de CO₂ o las empresas que no los presentan.

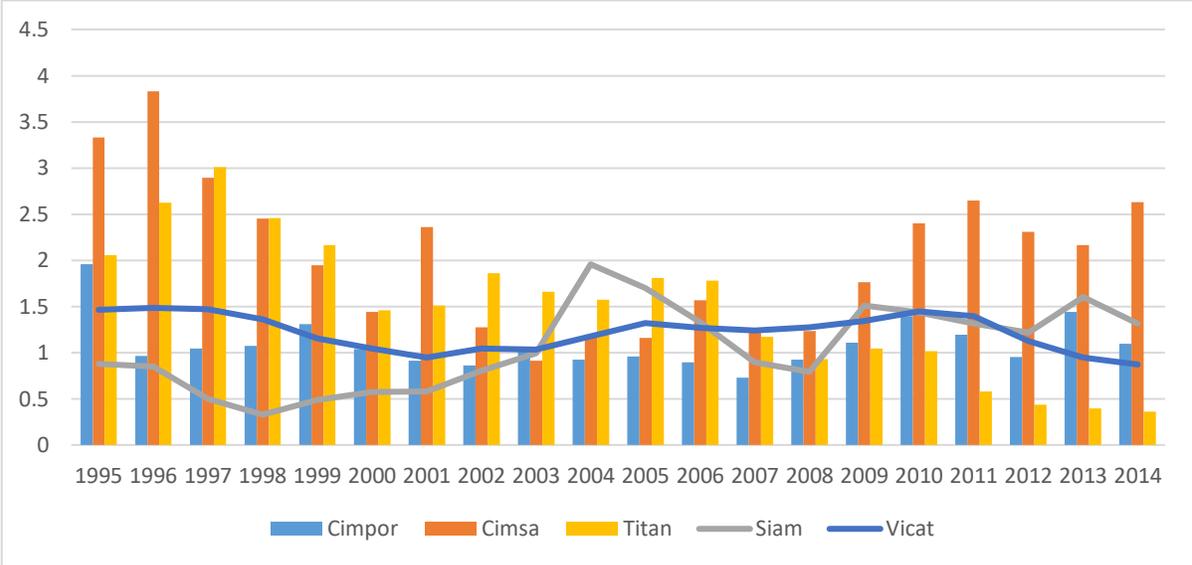
Entre los resultados del análisis del indicador del ROC se encontró que el grupo 1b (empresas que presentan información de estrategias para mitigar emisiones de CO₂), tuvo una media para todo el periodo de 0.989, mientras que la media del grupo 2b (empresas que no informan estrategias e indicadores para mitigar sus emisiones de CO₂) fue de 0.959.

Continuando con el análisis, observamos que únicamente 5 (Cimpor, Cimsa, Titan, Siam y Vicat) empresas que forman parte de una muestra de 14 para el grupo 1b, obtuvieron indicadores de ROC mayores a uno, destacando la participación de Cimsa con una media del periodo de 2.037, lo que indica que durante el periodo en promedio utilizó 2 veces mejor sus recursos económicos que la media. La segunda empresa que mayor indicador tuvo en el periodo fue Titan con una media de 1.44; cabe mencionar que Titan desde el 2011 presentó una tendencia a la baja (Ver gráfica 4.7).

También es interesante observar dentro de las cinco empresas con mejor indicador de ROC a Siam y Vicat, empresas que desde el análisis de eco-eficiencia de CO₂ presentaron buenos indicadores y se posicionaron en el cuadrante “a” en la mayoría del periodo. Ahora en el análisis del indicador del ROC con un periodo más amplio

se vuelven a colocar entre las empresas con mejor eficiencia de sus recursos económicos.

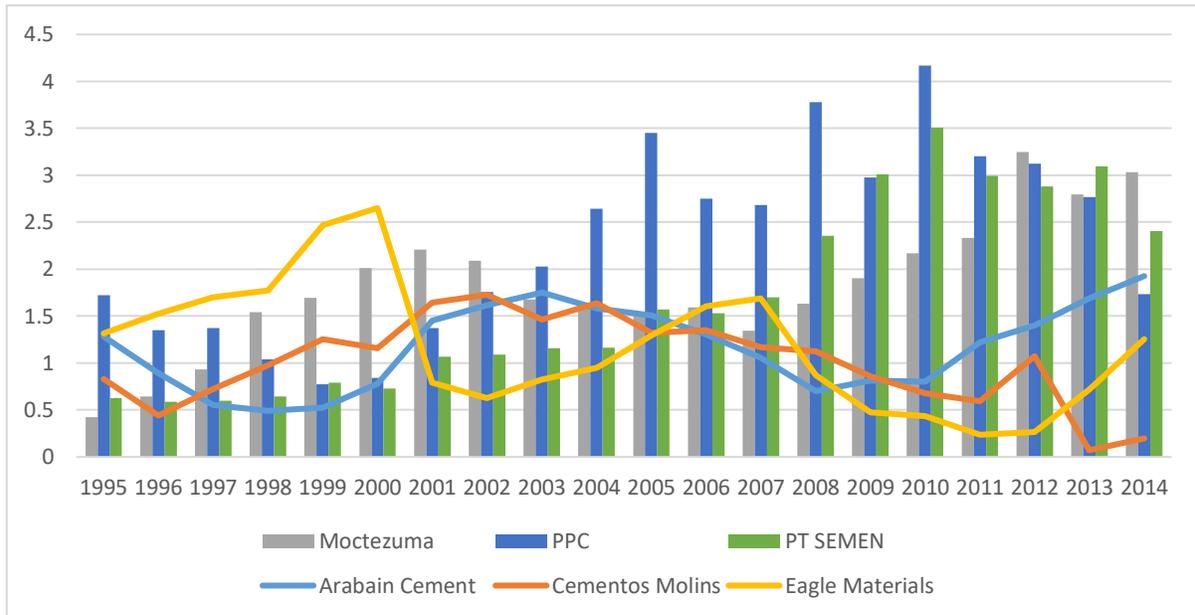
Gráfica 4.7
Indicador ROC del Grupo 1b



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Capital IQ (1995-2014).

Por otra parte, analizando los resultados del grupo 2b, se observa que 6 empresas que forman parte de la muestra de 12 del grupo 2b, obtuvieron indicadores de ROC mayores a 1, siendo PPC la empresa que obtuvo la mayor media del periodo con 2.27, lo que indica que durante el periodo en promedio utilizó 2 veces mejor sus recursos económicos con respecto a la media. La segunda empresa que tuvo mejor indicador fue Moctezuma con un múltiplo de ROC de 1.82, durante el periodo su múltiplo mostró una tendencia creciente, de 1990 a 2014 registró un crecimiento de 621%, fue la empresa que tuvo el mayor crecimiento en todo el periodo para ambas muestras (ver gráfica 4.8).

Gráfica 4.8
Indicador ROC del grupo 2b



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Capital IQ (1995-2014).

Posteriormente se realizó el análisis de diferencia de media planteando las siguientes hipótesis:

La hipótesis nula indica si la media del ROC en la muestra de empresas que implementan estrategias eco-eficientes es igual a la media de las empresas que no las implementan.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

La hipótesis alternativa indica sí la media del ROC en la muestra de empresas que implementan estrategias eco-eficientes es diferente a la media de las empresas que no las implementan.

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Se parte del supuesto de que ambas muestras tienden hacia una distribución normal, y se realiza el análisis con un nivel de confianza del 99%.

En la tabla 4.10, se observa el resultado del análisis de las diferencia de medias para los dos grupos, encontrándose que no hay alguna diferencia significativa para las medias del indicador de ROC entre los dos grupos. Sin embargo, al gráfica las medias de ambos grupos, se observa un cambio de tendencia tanto para las empresas que integran el grupo 1b como para las que integran el grupo 2b (ver gráfica 4.9).

Para las empresas del grupo 1b la media del indicador tiende a bajar, tan solo en 1995 la media era de 1.10, mientras que en 2014 la media fue de 0.954, bajando un 13%, siendo el 2011 el año en que la media cayó más.

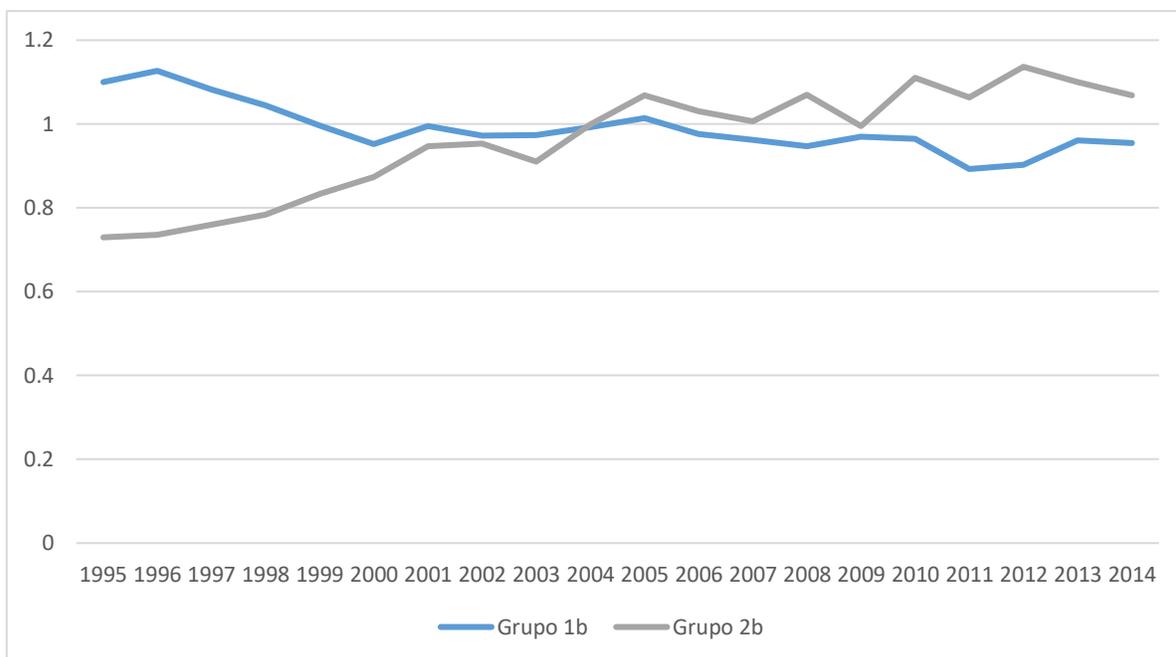
Para las empresas del grupo 2b la media del indicador tiende a subir, en 1995 se tuvo una media de 0.73, mientras que para el 2014 la media fue de 1.068 lo que indica un crecimiento del 46%, siendo el 2013 el año en que se tuvo la mayor media 1.136.

Tabla 4.10
Análisis de estadística descriptiva de los indicadores del ROC en los dos grupos

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Grupo 1b																				
Media	1.100	1.127	1.083	1.045	0.996	0.952	0.995	0.972	0.973	0.992	1.015	0.976	0.962	0.947	0.970	0.965	0.893	0.902	0.961	0.954
Varianza	0.856	1.112	0.771	0.569	0.314	0.148	0.274	0.171	0.144	0.199	0.223	0.176	0.350	0.303	0.534	0.629	0.473	0.423	0.385	0.385
Grupo 2b																				
Media	0.730	0.736	0.759	0.784	0.833	0.873	0.948	0.954	0.911	0.999	1.068	1.030	1.006	1.069	0.995	1.110	1.064	1.136	1.100	1.068
Varianza	0.315	0.231	0.238	0.267	0.487	0.598	0.403	0.488	0.476	0.574	0.898	0.624	0.571	1.116	1.090	1.964	1.351	1.586	1.352	0.984
T critica	1.252	1.245	1.182	1.040	0.648	0.320	0.204	0.080	0.280	-0.030	-0.178	-0.213	-0.164	-0.361	-0.071	-0.317	-0.447	-0.581	-0.372	-0.344
T tablas	2.508	1.729	1.721	1.714	1.721	1.746	1.721	1.740	1.740	1.740	2.583	1.746	1.721	1.746	1.729	1.740	1.740	1.746	1.746	1.734
P valor	0.888	0.886	0.875	0.845	0.738	0.624	0.580	0.531	0.609	0.512	0.570	0.583	0.564	0.639	0.528	0.622	0.670	0.715	0.643	0.633
Acepta Ho																				

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Capital IQ (1995-2014).

Gráfica 4.9
Medias del indicador de ROC



Fuente: elaboración propia con base en datos obtenidos de Capital IQ (1995-2014).

A pesar de que tienden a tener un comportamiento similar ambos grupos, se observa que el grupo 2b exhibe un mayor crecimiento a partir del 2003; caso contrario del grupo 1b que en este año comienza disminuir su indicador paulatinamente, hasta el 2014 no se observa alguna recuperación para alcanzar los niveles que tenía en 1995.

Discusión y conclusiones

En la revisión de la literatura se observan dos posturas sobre la eco-eficiencia: la primera (Schaltegger y Sturm, 1990; WBCSD, 1996; De Simone y Propoff, 2000; Romero, 2002) señala a la eco-eficiencia como la herramienta indispensable mediante la cual las empresas pueden lograr el desarrollo sustentable, impulsando tanto la eficiencia de sus recursos económicos como la eficiencia de su recursos naturales; la segunda postura (Callens y Tyteca, 1999; Dyllick y Hockerts, 2002; Hart y Milstein, 2003; Figge y Hahn, 2004; Braungart, McDonough, y Bollinger, 2007; Glavič y Lukman, 2007; Abukhader, 2008; Korhonen y Seager, 2008) se enfoca en una visión de sustentabilidad, en la cual la eco-eficiencia es parte de las estrategias que se deben adoptar para lograrla, señalan que es un buen punto de partida, pero que necesita escalar a otro tipo de estrategias que abarquen más aspectos.

Las empresas cementeras han comenzado a aplicar la eco-eficiencia bajo la primera postura, como su principal estrategia para llegar a la sustentabilidad, dirigidas por la Iniciativa Sostenible del Cemento y motivadas por el mejoramiento de su desempeño ambiental y ahorro de dinero mediante la reducción del uso de recursos en el proceso de producción, una relación de ganar-ganar que el WBCSD planteó desde 1996.

Han transcurrido ya 14 años desde la implementación de la eco-eficiencia en las empresas cementeras y, de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de esta tesis aún hace falta mucho por hacer para cumplir con los objetivos que se plantearon en la Agenda de Acción. Si bien algunas empresas (como las que integran el análisis de eco-eficiencia de CO₂) han realizado cambios en sus procesos para disminuir las emisiones de CO₂, otras empresas no han implementado dichos cambios que se reflejen en sus reportes, como ejemplo se tiene a las empresas chinas que no publican información sobre estrategias de mitigación de CO₂ (Anhui Conch, China Resources, China National Building Material y Jilin Yatai), a pesar de que China es el país con mayores emisiones de CO₂ y principal productor de cemento.

La mayoría de las empresas cementeras (14 de 19) que han generado estrategias de eco-eficiencia a lo largo del periodo 2006-2014 no han alcanzado la eco-eficiencia de sus recursos, sea porque no utilizan de manera eficiente sus recursos económicos o sus recursos naturales. Vicat, Siam, Holcim, Heidelberg y Lafarge son las empresas que presentan, en la mayoría del periodo estudiado, indicadores de eco-eficiencia de CO₂ cercanos (Heidelberg y Holcim) o por arriba de uno (Siam, Vicat y Lafarge), lo que significa que están cercanos a alcanzar o alcanzaron la eco-eficiencia de sus recursos naturales y económicos. Aunque Vicat al final del periodo tiende a disminuir su indicador de eco-eficiencia de CO₂.

Al realizar un análisis comparativo entre las estrategias implementadas por las empresas y sus indicadores de eco-eficiencia de CO₂, se observa que las empresas que únicamente implementan estrategias de eficiencia energética y uso de combustibles alternos para mitigar sus emisiones de CO₂ no logran obtener indicadores de eco-eficiencia de CO₂ mayores a uno que los ubique por arriba del promedio de la muestra en el cuadrante “a” (uso eficiente de sus recursos económicos y naturales). Mientras que las empresas que implementan estrategias que van más allá de la eco-eficiencia, como la implementación de bonos de carbono y creación de nuevos cementos amigables con el medio ambiente se ubican en el cuadrante “a”, como son Siam, Vicat y Lafarge.

Los resultados reflejan lo que señalan Hart y Milstein (2003) sobre la estrategia básica (eco-eficiencia) con la cual las empresas comienzan su camino hacia la sustentabilidad, buscando la reducción de la contaminación, basura y consumo de materiales, obteniendo un ahorro en costos y disminución de riesgos. Sin embargo, las empresas tienen que ir escalando sus estrategias hacia todo el ciclo de vida del producto, tomando en cuenta aspectos externos mediante una administración del producto, tecnología limpia que busque no sólo disminuir los impactos negativos sino que resuelva los problemas ambientales y finalmente alcanzar una visión sustentable.

En el análisis se observa que las empresas que están logrando mayores indicadores de eco-eficiencia (cercanas o por arriba de uno) son las que implementan

estrategias hacia una administración del producto y tecnologías limpias, por lo que se podría suponer que cada vez se acercan más hacia una visión sustentable. Mientras que las empresas que no lo hacen obtienen indicadores de eco-eficiencia de CO₂ por debajo de 0.5, tal es el caso de Ambuja, empresa que tiene las más bajas emisiones de Kg de CO₂ por tonelada de cemento producida, pero el menor indicador de apalancamiento de CO₂ y por consiguiente de eco-eficiencia de CO₂.

Por otra parte, se tiene que Schaltegger y Sturm, 1990; WBCSD, 1996; De Simone y Propoff, 2000 y Romero, 2002 plantean el objetivo de la eco-eficiencia como aquella relación de ganar-ganar en la que se busca reducir el uso de los materiales para la producción y a la vez reducir los impactos no deseados al medio ambiente. De esta forma se genera una reducción de costos y un aumento en el valor económico, obteniendo un balance entre el crecimiento económico y la protección al medio ambiente. En la metodología de Figge y Hahn (2013) este objetivo se logra, cuando los múltiplos de ROC y de apalancamiento de CO₂ son mayores o iguales a uno, ambas variables deben tener una relación directa para lograr la eco-eficiencia.

Contrario a lo anterior, se encontró dentro de los resultados del análisis gráfico de eco-eficiencia de CO₂ por año que las estrategias implementadas para la mitigación de emisiones de CO₂ no están alcanzando el objetivo de la eco-eficiencia. Por consiguiente, no se refleja una relación directa entre las variables utilizadas en el estudio (ROC y apalancamiento de CO₂). Conjuntamente con el análisis de correlación se observa que 13 de las 19 empresas analizadas tienen una correlación negativa en sus indicadores; es decir, presentan un alto indicador de ROC pero bajo múltiplo de apalancamiento de CO₂, mientras que las empresas que obtienen un alto múltiplo de CO₂ tienen un bajo indicador de ROC.

En el 2009 es el único año en el que se observa una relación directa entre las variables, tanto el apalancamiento de CO₂ como el múltiplo de ROC disminuyen para todas las empresas, inclusive la media de la muestra baja de uno, en los años subsecuentes la relación entre variables sigue inversa. Para las empresas cementeras el 2009 fue un año de bajas ventas y de acuerdo a los resultados obtenidos también de baja eficiencia en sus recursos naturales. Pareciera que las

estrategias de eco-eficiencia no se mantienen en este tipo de situaciones, por lo que para futuras investigaciones se necesita analizar el comportamiento de las variables en las crisis financieras.

La relación inversa entre las variables coincide con la relación encontrada en el análisis que realizaron Figge y Hahn (2013) para las empresas automotrices, en el cual no se observa una relación directa entre las variables que utilizaron para evaluar la eco-eficiencia de CO₂. Tanto en el estudio de Figge y Hahn (2013) como en el presente se observa más una relación como la que señalan Huppel e Ishikawa (2005b; 2007) en la que se busca una relación empírica sobre cuanta mejora ambiental se desea ofrecer a cambio de bienestar económico buscando una eco-eficiencia marginal que plantea no una relación de ganar-ganar sino de compensación entre el valor económico y el valor ambiental, en el que los aspectos ambientales pueden ser negociados contra los no ambientales, ayudando a buscar alternativas potencialmente óptimas en la toma de decisiones para las empresas.

Por otro lado se tiene que las empresas que forman parte del CSI después de la crisis del 2008 tienden a generar mejores indicadores de eco-eficiencia de CO₂, en comparación a las empresas que no forman parte del CSI. Esto debido a que tienen mejores resultados en sus indicadores de ROC y de apalancamiento de CO₂. Caso interesante de observar es el de Cemex, que comenzó a vender certificados de emisión de CO₂ a partir del 2008, de esta forma Cemex se apoyó de sus programas de energías renovables para generar ingresos que antes no había contemplado. Caso similar fue el de Secil, que aplicó la misma estrategia para generar ingresos y contrarrestar la caída de sus utilidades a partir del 2011.

Considerando a las empresas en un periodo mayor y utilizando únicamente el indicador del ROC, se observa que las empresas que publican indicadores de sus estrategias para mitigar las emisiones de CO₂ comienzan a disminuir su múltiplo de ROC después del 2004, en comparación con las empresas que no publican indicadores de sus estrategias implementadas para mitigar las emisiones de CO₂, ellas tienen una tendencia contraria a las que si publican, con crecimientos constantes en su múltiplo de ROC durante todo el periodo, logrando superar al

primer grupo. A pesar de estas tendencias, al igual que en el análisis de eco-eficiencia de CO₂ no se encuentra diferencia significativa entre los indicadores de ambas muestras.

Conforme a lo encontrado se concluye que la eco-eficiencia no puede ser el objetivo de las cementeras para alcanzar el desarrollo sustentable; si bien es una herramienta para comenzar el camino hacia la sustentabilidad, su desarrollo no implica o garantiza que se llegue a esta, por lo que se coincide con la segunda postura de la eco-eficiencia. Esta estrategia es limitada pues sólo mide dos dimensiones de las tres necesarios para la sustentabilidad y se enfoca en cuestiones internas de la empresa, no tiene ni visión hacia el futuro ni inclusión de las partes interesadas. Además, las empresas cementeras tienen una limitante inherente a su proceso, por mucho que disminuyan sus emisiones de CO₂ nunca podrán eliminarlas por completo, por lo que únicamente las empresas que inviertan en investigación y desarrollo de nuevos programas con un enfoque hacia la captura y almacenamiento de emisiones de dióxido de carbono superarán las estrategias de eco-eficiencia y estarán más cerca de la sustentabilidad.

Otra limitante a la que se enfrenta la industria del cemento son las exigencias del mercado, el cual demanda cemento con determinadas características, principalmente el cemento Ordinary Portland, por lo que las estrategias enfocadas a disminuir la cantidad de Clinker en el cemento se ven limitadas.

Finalmente queda para futuras investigaciones, proponer una modificación a la metodología utilizada, aumentando un múltiplo a la fórmula en el que se vea la relación de la innovación tecnológica sobre las emisiones de CO₂. Esto con el fin de tener un mejor análisis sobre lo que se está invirtiendo para lograr las estrategias de mitigación de emisiones de CO₂, y evaluar a las empresas que están desarrollando estrategias de tecnología limpia.

Referencias

- Abukhader, S. M. (2008). Eco-efficiency in the era of electronic commerce—should ‘Eco-Effectiveness’ approach be adopted? *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16(7), pp.801-808.
- Ambuja. (2015). *Sustainable Development Report 2015*. Ambuja, Mumbai, India.
- _____ (2014). *Sustainable Development Report 2014*. Ambuja, Mumbai, India.
- _____ (2013). *Sustainable Development Report 2013*. Ambuja, Mumbai, India.
- _____ (2012). *Sustainable Development Report 2012*. Ambuja, Mumbai, India.
- _____ (2011). *Sustainable Development Report 2011*. Ambuja, Mumbai, India.
- _____ (2010). *Sustainable Development Report 2010*. Ambuja, Mumbai, India.
- _____ (2009). *Sustainable Development Report 2009*. Ambuja, Mumbai, India.
- _____ (2008). *Sustainable Development Report 2008*. Ambuja, Mumbai, India.
- _____ (2007). *Sustainable Development Report 2007*. Ambuja, Mumbai, India.
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2016). *Standard Specification for cement*. ASTM International Recuperado de <<http://www.astm.org/Standards/C593.htm>> (7 noviembre 2016).
- Ayres, R. U. (2008). Sustainability economics: Where do we stand? *Ecological economics*, Vol. 67(2), pp. 281-310.
- Azapagic, A. y Perdan, S. (2000). Indicators of sustainable development for industry: a general framework. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 78(4), pp. 243-261.
- Banker, R.D., Charnes, A. y Cooper, W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale efficiencies in data envelopment analysis. *Manage Science*, Vol. 30, pp. 1078–1092.
- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E. y Bahadori, A. (2013). Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. *Journal of cleaner production*, Vol. 51, pp. 142-161.
- Branger, F. y Quirion, P. (2015). Reaping the carbon rent: Abatement and overallocation profits in the European cement industry, insights from an LMDI decomposition analysis. *Energy Economics*, Vol. 47, pp.189-205.

Braungart, M., McDonough, W. y Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions—a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of cleaner production*, Vol. 15(13), pp. 1337-1348.

Buzzi Unicem. (2015). Bilancio di Sostenibilità 2015. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

_____ (2014). Bilancio di Sostenibilità 2014. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

_____ (2013). Bilancio di Sostenibilità 2013. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

_____ (2012). Bilancio di Sostenibilità 2012. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

_____ (2011). Bilancio di Sostenibilità 2011. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

_____ (2010). Bilancio di Sostenibilità 2010. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

_____ (2009). Bilancio di Sostenibilità 2009. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

_____ (2008). Bilancio di Sostenibilità 2008. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

_____ (2007). Bilancio di Sostenibilità 2007. Buzzi Unicem, Milan, Italia.

Callens, I. y Tyteca, D. (1999). Towards indicators of sustainable development for firms: a productive efficiency perspective. *Ecological Economics*, Vol. 28(1), pp. 41-53.

Capital IQ (2016a). *Ambuja Cements Limited (BSE: 500425), Financials, Key Stats 1999-2015*. (12 de enero de 2016).

_____ (2016b). *Arabian Cement Co. (SASE: 3010), Financials, Key Stats 1995-2015*. (12 de enero de 2016).

_____ (2016c). *Buzzi Unicem SpA (BIT: BZU), Financials, Key Stats 1989-2014*. (12 de enero 2016).

_____ (2016d). *Cementir Holding SpA (BIT: CEM), Financials, Key Stats 1994-2015*. (12 de enero 2016).

_____ (2016e). *Cementos Argos S.A. (BVC: CEMARGOS), Financials, Key Stats 1995-2014*. (12 de enero 2016).

_____ (2016f). *Cementos Molins, S.A. (BDM: CMO), Financials, Key Stats 1991-2014*. (12 de enero de 2016).

_____ (2016g). *Cementos Portland Valderrivas SA (CATS: CPL), Financials, Key Stats 1991-2014*. (12 de enero de 2016).

_____ (2016h). *CEMEX, S.A.B. de C.V. (BMV: CEMEX CPO), Financials, Balance Sheet 1992-2015*. (12 de enero 2016).

- _____ (2016i). *CIMPOR - Cimentos De Portugal, SGPS, S.A. (ENXTLS: CPR), Financials, Key Stats 1995-2014.* (12 de enero de 2016).
- _____ (2016j). *Cimsa Cimento Sanayi ve Ticaret Anonim Sirketi (IBSE: CIMSA), Financials, Key Stats 1996-2015.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016k). *Corporación Moctezuma, SAB de CV (BMV: CMOCTEZ *), Financials, Key Stats 1995-2014.* (12 de enero de 2016).
- _____ (2016l). *CRH plc (ISE: CRG), Financials, Key Stats 1989-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016m). *Eagle Materials Inc. (NYSE:EXP), Financials, Key Stats 1995-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016n). *Grupo Cementos de Chihuahua SAB de CV (BMV: GCC *), Financials, Key Stats 1992-2014.* (12 de enero de 2016).
- _____ (2016o). *HeidelbergCement AG (DB: HEI), Financials, Balance Sheet 1989-2015.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016p). *InterCement Brasil S.A., Financials, Key Stats 2002-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016q). *Italcementi SpA (BIT: IT), Financials, Key Stats 1989-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016r). *Jilin Yatai (group) Co., Ltd. (SHSE: 600881), Financials, Key Stats 1995-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016s). *Lafarge S.A., Financials, Key Stats 1989-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016t). *PPC Limited (JSE: PPC), Financials, Key Stats 1989-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016u). *PT Semen Indonesia (Persero) Tbk (JKSE: SMGR), Financials, Key Stats 1991-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016v). *Secil - Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A., Financials, Key Stats 1998-2014.* (12 de enero de 2016).
- _____ (2016w). *Taiheiyo Cement Corp. (TSE:5233), Financials, Key Stats 1985-2014.* (12 de enero de 2016).
- _____ (2016x). *Texas Industries Inc., Financials, Key Stats 1990-2014.* (12 de enero 2016).
- _____ (2016y). *The Siam Cement Public Company Limited (SET: SCC), Financials, Key Stats 1992-2014.* (12 de enero 2016).

_____ (2016z). *UltraTech Cement Limited (NSEI: ULTRACEMCO), Financials, Key Stats 2004-2014*. (12 de enero 2016).

_____ (2016ab). *Vicat SA (ENXTPA: VCT), Financials, Key Stats 1994-2014*. (12 de enero 2016).

Cardona, A. M. L., Alzate, L. C. P., Rojas, C. A. C. y Bejarano, L. D. C. (2015). Evaluación de propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo después de ser usado como sustrato en humedales artificiales. *Ingenium*, Vol. 9(26), pp. 41-60.

Cementir Holding. (2015). *Environmental Report 2015*. Cementir Holding, Roma, Italia.

_____ (2014). *Environmental Report 2014*. Cementir Holding, Roma, Italia.

_____ (2013). *Environmental Report 2013*. Cementir Holding, Roma, Italia.

_____ (2012). *Environmental Report 2012*. Cementir Holding, Roma, Italia.

_____ (2011). *Environmental Report 2011*. Cementir Holding, Roma, Italia.

_____ (2010). *Environmental Report 2010*. Cementir Holding, Roma, Italia.

_____ (2009). *Environmental Report 2009*. Cementir Holding, Roma, Italia.

_____ (2008). *Environmental Report 2008*. Cementir Holding, Roma, Italia.

_____ (2007). *Environmental Report 2007*. Cementir Holding, Roma, Italia.

Cementos Argos. (2015). *Reporte Integrado 2015*. Cementos Argos, Colombia, Medellín.

_____ (2014). *Reporte Integrado 2014*. Cementos Argos, Colombia, Medellín

_____ (2013). *Reporte Integrado 2013*. Cementos Argos, Colombia, Medellín

_____ (2012). *Reporte Integrado 2012*. Cementos Argos, Colombia, Medellín

_____ (2011). *Reporte Integrado 2011*. Cementos Argos, Colombia, Medellín

_____ (2010). *Reporte Integrado 2010*. Cementos Argos, Colombia, Medellín

_____ (2009). *Reporte Integrado 2009*. Cementos Argos, Colombia, Medellín

_____ (2008). *Reporte Integrado 2008*. Cementos Argos, Colombia, Medellín

_____ (2007). *Reporte Integrado 2007*. Cementos Argos, Colombia, Medellín

Cementos Portland Valderrivas. (2015). *Memoria de sostenibilidad 2015*. Cementos Portland, Madrid, España.

_____ (2014). *Memoria de sostenibilidad 2014*. Cementos Portland, Madrid, España.

- _____ (2012). Memoria de sostenibilidad 2012. Cementos Portland, Madrid, España.
- _____ (2010). Memoria de sostenibilidad 2010. Cementos Portland, Madrid, España.
- _____ (2009). Memoria de sostenibilidad 2009. Cementos Portland, Madrid, España.
- _____ (2008). Memoria de sostenibilidad 2008. Cementos Portland, Madrid, España.
- _____ (2007). Memoria de sostenibilidad 2007. Cementos Portland, Madrid, España.
- _____ (2006). Memoria de sostenibilidad 2006. Cementos Portland, Madrid, España.
- Cemex. (2016). *Desarrollo Sostenible, Nuestra huella de Carbono*. Recuperado de <<http://www.cemex.com/ES/DesarrolloSustentable/NuestraHuellaCarbono.aspx>> (13 enero 2017).
- (2015). *Informe de desarrollo sustentable 2015*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- (2014). *Informe de desarrollo sustentable 2014*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- (2013). *Informe de desarrollo sustentable 2013*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- (2012). *Informe de desarrollo sustentable 2012*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- (2011). *Informe de desarrollo sustentable 2011*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- (2010a). *Informe de desarrollo sustentable 2010*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- _____ (2010b). *CEMEX's Position on Carbon Capture and Storage*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- (2009). *Informe de desarrollo sustentable 2009*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- (2008). *Informe de desarrollo sustentable 2008*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- (2007a). *Informe de sustentabilidad de Cemex 2007*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- _____ (2007b). *Informe anual 2007*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.

- _____ (2006). *Informe de sustentabilidad de Cemex 2006*. Cemex, Monterrey, Nuevo León, México.
- Charnes, A., Cooper, W.W. y Rhodes, E. (1979). Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, pp. 429–444.
- Cimpor. (2014). *Relatorio & Contas 2014*. Cimentos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- _____ (2012). *Sustainability report 2012*. Cimentos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- _____ (2011). *Sustainability report 2011*. Cimentos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- _____ (2010). *Sustainability report 2010*. Cimentos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- _____ (2009). *Sustainability report 2009*. Cimentos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- _____ (2008). *Sustainability report 2008*. Cimentos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- _____ (2007). *Sustainability report 2007*. Cimentos de Portugal, Lisboa, Portugal.
- Cimsa Cimento. (2015). *Sustainability Report 2015*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- _____ (2014). *Sustainability Report 2014*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- _____ (2013). *Sustainability Report 2013*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- _____ (2012). *Sustainability Report 2012*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- _____ (2011). *Sustainability Report 2011*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- _____ (2010). *Sustainability Report 2010*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- _____ (2009). *Sustainability Report 2009*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- _____ (2008). *Sustainability Report 2008*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- _____ (2007). *Sustainability Report 2007*. Cimsa, Estambul, Turquía.
- Cirerol, N. A. (2004). *Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical* (Tesis Doctoral), Universidad de Barcelona, España.
- Corporate Watch. (1997). *World Business Council on Sustainable Development*. Recuperado de <<http://www.corpwatch.org/article.php?id=4071>> (18 de agosto de 2016).
- Côté, R., Booth, A. y Louis, B. (2006). Eco-efficiency and SMEs in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14(6), pp. 542-550.
- Cross, P. (1944). Cement Production and Trade on the Great Lakes. *Economic Geography*, Vol. 20 (1), pp. 37-53.

- Damtoft, J. S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D. y Gartner, E. M. (2008). Sustainable development and climate change initiatives. *Cement and concrete research*, Vol. 38(2), pp. 115-127.
- De Benedictis, L., Nenci, S., Santoni, G., Tajoli, L. y Vicarelli, C. (2013). Network Analysis of World Trade using the BACI-CEPII dataset. *Global Economy Journal*, Vol. 14(3), pp. 287-343.
- DeSimone, L. D. y Popoff, F. (2000). *Eco-efficiency: the business link to sustainable development*. MIT press, Massachusetts, Estados Unidos.
- Días, A. C. y Arroja, L. (2012). Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint—case study of office paper. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 24, pp. 30-35.
- Dyllick, T. y Hockerts, K. (2002). Beyond the business case for corporate sustainability. *Business strategy and the environment*, Vol. 11(2), pp.130-141.
- Edwards, P. (2013), Lafarge Proyecto Aether - Una nueva vía para la mitigación del CO₂ de cemento. *Global Cement*, Julio-Agosto, Recuperado de <<http://www.globalcement.com/magazine/articles/782-lafarge-project-aetherr-a-new-avenue-for-cement-co2-mitigation>> (18 diciembre 2016).
- _____ (2017), Atrapando las emisiones de CO₂ de proceso con el proyecto LEILAC, *Global Cement*, Enero-febrero 2017, Recuperado de <<http://www.globalcement.com/magazine/articles/1004-trapping-process-co2-emissions-with-the-leilac-project>> (18 enero 2017).
- Erkko, S., Melanen, M. y Mickwitz, P. (2005). Eco-efficiency in the Finnish EMAS reports—a buzz word? *Journal of Cleaner Production*, Vol. 13(8), pp. 799-813.
- European Commission. (2016). *Climate Action, The EU Emissions Trading System (EU ETS)*. Recuperado de <http://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en>, (10 de diciembre 2016).
- FCC (2016). Noticias: FCC consolida su desarrollo con la compra de la empresa austriaca. Recuperado de <<http://www.fcc.es/es/-/fcc-consolida-su-desarrollo-europeo-con-la-compra-de-la-empresa-austriaca-alpine>> (2 de enero de 2017).
- Fernández, F. (2013). Cementos Portland pierde 147 millones, un 55% menos. *Cinco Días*, Recuperado de <<https://cincodias.elpais.com/cincodias/2013/02/28/empresas/1362046011572183.html>> (3 de enero 2017).
- Fernández, J. (2015). Slim toma las riendas de Cementos Portland. *Cinco días*, Recuperado de <https://cincodias.elpais.com/cincodias/2015/02/27/empresas/1425039751_84_1063.html> (3 de enero 2017).

- Figge, F. y Hahn, T. (2013). Value drivers of corporate eco-efficiency: Management accounting information for the efficient use of environmental resources. *Management Accounting Research*, Vol. 24(4), pp. 387-400.
- _____ (2004). Sustainable value added—measuring corporate contributions to sustainability beyond eco-efficiency. *Ecological economics*, Vol. 48(2), pp. 173-187.
- Glavič, P. y Lukman, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of cleaner production*, Vol. 15(18), pp. 1875-1885.
- Global Reporting Initiative [GRI]. (2012). GRI Application Levels, *Global Reporting Initiative*, 2000-2011, Recuperado de <https://www.globalreporting.org/resource/library/G3-Application-Levels.pdf>. (5 de noviembre 2016).
- GreenHouse Gas Protocol (2016). *What is the GHG Protocol?* Recuperado de <http://www.ghgprotocol.org/about-ghgp> (2 de noviembre de 2016).
- Grigore, R., Capat, C., Hazi, A. y Hazi, G. (2016). Eco-Efficiency Indicators in the Evaluation of Environmental Performance of Thermal Power Plants. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, Vol. 15(1), pp. 123-134.
- Hahn, T., Figge, F., Liesen, A. y Barkemeyer, R. (2010). Opportunity cost based analysis of corporate eco-efficiency: a methodology and its application to the CO₂ -efficiency of German companies. *Journal of Environmental Management*, Vol. 91(10), pp. 1997-2007.
- Hart, S. L. y Milstein, M. B. (2003). Creating sustainable value. *The Academy of Management Executive*, Vol. 17(2), pp. 56-67.
- Hasanbeigi, A., Menke, C. y Price, L., (2010). The CO₂ abatement cost curve for the Thailand cement industry. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18 (15), pp. 1509-1518.
- Heede, R. (2014). Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers, 1854–2010. *Climatic Change*, Vol. 122(1-2), pp. 229-241.
- Heidelberg. (2016a). *Energía y protección del clima, Medio Ambiente*. Recuperado de <http://www.heidelbergcement.com/en/environment> (10 de diciembre 2016).
- _____ (2016b). *Acquisition of Italcementi | HeidelbergCement Group*. Recuperado de www.heidelbergcement.com/en/acquisition-of-italcementi (13 de marzo de 2017).
- _____ (2015). Sustainability report 2015. Heidelberg, Berlin, Alemania.
- _____ (2014). Sustainability report 2013/2014. Heidelberg, Berlin, Alemania.
- _____ (2012). Sustainability report 2011/2012. Heidelberg, Berlin, Alemania.

- _____ (2010). Sustainability report 2009/2010. Heidelberg, Berlin, Alemania.
- _____ (2009). Sustainability report 2009. Heidelberg, Berlin, Alemania.
- _____ (2007). Sustainability report 2007. Heidelberg, Berlin, Alemania.
- _____ (2006). Sustainability report 2006. Heidelberg, Berlin, Alemania.
- Hellweg, S., Doka, G., Finnveden, G., & Hungerbühler, K. (2005). Assessing the Eco-efficiency of End-of-Pipe Technologies with the Environmental Cost Efficiency Indicator. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9(4), pp. 189-203.
- Helminen, R. R. (2000). Developing tangible measures for eco-efficiency: the case of the Finnish and Swedish pulp and paper industry. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 9(3), pp. 196-210.
- Herzog, T. (2009). World greenhouse gas emissions in 2005. Washington–DC, États-Unis, WRI Working Paper. *World Resources Institute*, Working paper, Julio, p. 5.
- Hoffrén, J. y Apajalahti, E. L. (2009). Emergent eco-efficiency paradigm in corporate environment management. *Sustainable Development*, Vol. 17(4), pp. 233-243.
- Holcim, (2015). *Corporate Sustainable Development Report 2015 Holcim Ltd.* Holcim, Zürcherstrasse, Suiza.
- (2014). *Corporate Sustainable Development Report 2014. Holcim Ltd.* Holcim, Zürcherstrasse, Suiza
- (2013). *Corporate Sustainable Development Report 2013. Holcim Ltd.* Holcim, Zürcherstrasse, Suiza.
- (2011). *Corporate Sustainable Development Report 2011 Holcim Ltd.* Holcim, Zürcherstrasse, Suiza.
- (2009). *Corporate Sustainable Development Report 2009 Holcim Ltd.* Holcim, Zürcherstrasse, Suiza.
- (2007). *Corporate Sustainable Development Report 2007 Holcim Ltd.* Holcim, Zürcherstrasse, Suiza.
- (2005). *Corporate Sustainable Development Report 2005 Holcim Ltd.* Holcim, Zürcherstrasse, Suiza
- Huppes, G. e Ishikawa, M. (2005a). Eco-efficiency and Its Terminology. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9(4), pp. 43-46.
- _____ (2005b). Why Eco-efficiency? *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9(4), pp. 2-5.

_____ (2005c). A framework for quantified eco-efficiency analysis. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9(4), pp. 25-41.

_____ (Eds.). (2007). *Quantified eco-efficiency: an introduction with applications*. Springer Science & Business Media, Tokio, Japón.

Italcementi Group. (2015). *Sustainable Development Report 2015*. Italcementi S.p.A, Bergamo, Italia.

_____ (2014). *Sustainable Development Report 2014*. Italcementi S.p.A, Bergamo, Italia.

_____ (2013). *Sustainable Development Report 2013*. Italcementi S.p.A, Bergamo, Italia.

_____ (2012). *Sustainable Development Report 2012*. Italcementi S.p.A, Bergamo, Italia.

_____ (2009). *Sustainable Development Report 2009*. Italcementi S.p.A, Bergamo, Italia.

_____ (2008). *Sustainable Development Report 2008*. Italcementi S.p.A, Bergamo, Italia.

_____ (2007). *Sustainable Development Report 2007*. Italcementi S.p.A, Bergamo, Italia.

_____ (2006). *Sustainable Development Report 2006*. Italcementi S.p.A, Bergamo, Italia.

Intercement (2015). *Informe anual 2015*. Intercement, San Pablo, Brasil.

_____ (2014). *Informe anual 2014*. Intercement, San Pablo, Brasil.

_____ (2013). *Informe anual 2013*. Intercement, San Pablo, Brasil.

_____ (2012). *Informe anual 2012*. Intercement, San Pablo, Brasil.

_____ (2011). *Informe anual 2011*. Intercement, San Pablo, Brasil.

_____ (2010). *Informe anual 2010*. Intercement, San Pablo, Brasil.

_____ (2009). *Informe anual 2009*. Intercement, San Pablo, Brasil.

_____ (2008). *Informe anual 2008*. Intercement, San Pablo, Brasil.

_____ (2007). *Informe anual 2007*. Intercement, San Pablo, Brasil.

International Energy Agency [IEA] (2015). *Energy and Climate Change, World Energy Outlook Special Report*. IEA Publications, Paris, Francia.

International Monetary Fund [IMF] (2017). *World Economy Outlook Database, October 2015*. Recuperado de <<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/02/weodata/download.aspx>> (23 de marzo de 2017).

- Instituto Mexicano del cemento y concreto (2009). Cementos hidráulicos: especificaciones y métodos de prueba. *El concreto en la obra: problemas causas y soluciones, Primera parte, sección coleccionable*, Vol. 22, junio 2009, pp. 68-71.
- ISO 14045:2012 (2012). *Norma Internacional ISO 14045:2012, Gestión ambiental: evaluación de la eco-eficiencia del sistema del producto- principios, requisitos y directrices*. Recuperado de <http://www.nueva-iso-14001.com/2014/04/iso-140452012-gestion-ambiental-de-la-eco-eficiencia-de-sistemas-productivos/>, (4 de enero 2017).
- ISO/TC 74 (2016). *Cement and lime*. International Standard Organization, Recuperado de http://www.iso.org/iso/home/standards_development/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=50040 (23 de noviembre de 2016).
- Jasch, C. (2003). The use of Environmental Management Accounting (EMA) for identifying environmental costs. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 11(6), pp. 667-676.
- Kharel, G. P. y Charmondusit, K. (2008). Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 16(13), pp. 1379-1387.
- Khompat, O. U. y Handunyaphan, S. (2011). The possibility of sustainable concept in developing country: Case study Siam Cement Group (SCG) (Tesis de maestría). Karlstad Business School, Suecia.
- Kicherer, A., Schaltegger, S., Tschochohei, H. y Ferreira, B. (2007). Eco-efficiency. Combining life cycle assessment and life cycle cost via normalization. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 12(7), pp. 537-543.
- Klee, H. (2004). The cement sustainability initiative. *Proceedings-Institution of civil engineers engineering sustainability*. Vol. 157, pp. 9-12.
- Klee, H. y Coles, E. (2004). The cement sustainability initiative—implementing change across a global industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 11(2), pp. 114-120.
- Korhonen, J. y Seager, T. P. (2008). Beyond eco-efficiency: a resilience perspective. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 17(7), pp. 411-419.
- Korol, J., Burchart-Korol, D. y Pichlak, M. (2016). Expansion of environmental impact assessment for eco-efficiency evaluation of biocomposites for industrial application. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 113, pp. 144-152.
- Kuosmanen, T. y Kuosmanen, N. (2009). How not to measure sustainable value (and how one might). *Ecological Economics*, Vol. 69(2), pp. 235-243.
- LafargeHolcim (2016). *Informe del tercer trimestre 2016*. LafargeHolcim Ltd, Zürcherstrasse, Suiza.
- Lafarge (2015). *Building For Tomorrow Sustainability Report 2015*. Lafarge, Paris, Francia.

- _____ (2014). *Sustainability Report 2014*. Lafarge, Paris, Francia.
- _____ (2013). *Sustainability Report 2013*. Lafarge, Paris, Francia.
- _____ (2012). *Sustainability Report 2012*. Lafarge, Paris, Francia.
- _____ (2011). *Sustainability Report 2011*. Lafarge, Paris, Francia.
- _____ (2010). *Sustainability Report 2010*. Lafarge, Paris, Francia.
- _____ (2009). *Sustainability Report 2009*. Lafarge, Paris, Francia.
- _____ (2008). *Sustainability Report 2008*. Lafarge, Paris, Francia.
- _____ (2007). *Sustainability Report 2007*. Lafarge, Paris, Francia.
- _____ (2006). *Sustainability Report 2006*. Lafarge, Paris, Francia.
- Leal, J. (2005). *Eco-eficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias*. Comisión Económica para América Latina, Santiago de Chile.
- Leelakulthanit, O. (2014). Sustainability: The Case Of Siam Cement Group (SCG). *Journal of Business Case Studies*, Vol. 10(4), pp. 441-458.
- Low, S. P. (1993). *The global cement industry*. NUS Press.
- Mahmoud, A., Shuhaimi, M. y Samed, M. A. (2009). A combined process integration and fuel switching strategy for emissions reduction in chemical process plants. *Energy*, Vol. 34(2), pp. 190-195.
- Müller, K. y Sturm, A. (2001). *Standardized eco-efficiency indicators*. Ellipson, Suiza.
- Muñoz, R. (2006). Portland compra Uniland para crear la primera cementera española. *El país*, Recuperado de < https://elpais.com/diario/2006/06/06/economia/1149544803_850215.html> (22 de febrero 2017).
- Najam, A. (1999). World Business Council for Sustainable Development: The Greening of Business or a Greenwash? *Yearbook of international co-operation on environment and development*, 1999/2000, pp. 65-75.
- Navarra, A. C. C. L. y Vasco, P. (2007). *Catálogo de residuos utilizables en la construcción*. Ministerio de medio ambiente, medio rural y marino. Madrid, España.
- Nordqvist, J., Boyd, C. y Klee, H. (2002). Three big Cs: climate, cement and China. *Greener Management International*, Vol 23, pp. 69-82.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (1998). *Eco-efficiency*. OECD Publications, Paris, Francia.

- _____ (2002). *Análisis sobre eco-eficiencia logros en los países de la OCDE*. OCDE Online, Recuperado de < <https://www.coursehero.com/file/p1ga6iij/OECD-2003-An%C3%A1lisis-sobre-la-ecoeficiencia-Logros-en-los-pa%C3%ADses-de-la-OECD/>> (15 de septiembre 2016).
- Pramanik, K. (2003). Properties and use of Jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renewable energy*, Vol. 28(2), pp. 239-248.
- Quindós, M., Rubiera, F., y Vicente, M. R. (2003). *Análisis envolvente de datos: una aplicación al sector de los servicios avanzados a las empresas del Principado de Asturias*. Recuperado de < <https://www.uv.es/asepuma/XI/21.pdf>> (13 de diciembre 2016).
- Rehan, R. y Nehdi, M. (2005). Carbon dioxide emissions and climate change: policy implications for the cement industry. *Environmental Science & Policy*, Vol. 8(2), pp. 105-114.
- Rodríguez, B. I. R. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Boletín iIE*, pp. 91-97.
- Rodríguez P. E. (2016). *Metodología para la realización de Auditorías energéticas en empresas de servicios y su monitorización* (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Romero, V. L. (2002). *Environmental signals 2002. Benchmarking the millenium*. Agencia Europea de Medio Ambiente, Luxemburgo, Luxemburgo.
- Ross, S. A., Westerfield, R., Jaffe, J. F., y Roberts, G. S. (2002). *Corporate finance*. McGraw-Hill/Irwin, Nueva York.
- Saniuan, M. y Argiz, C. (2012). La nueva norma europea de especificaciones de cementos comunes UNE-EN 197-1: 2011. *Materiales de construcción*, Vol. 62(307), pp. 425-430.
- Saunders, A. (2013). Top 75 Global Cement Comanies. *Global Cement Magazine*, Diciembre 2013, Recuperado de < <http://www.globalcement.com/magazine/articles/822-top-75-globalcementcompany>> (3 de febrero 2016).
- Schaltegger, S. y Burritt, R. (2000). *Contemporary Environmental Accounting. Issues, Concepts and Practice*. Greenleaf: Sheffi eld. Sheffield, Reino Unido.
- Schaltegger, S. y Sturm, A. (1990). Ökologische Rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten. *Management Instrumenten die Unternehmung*, Vol. 23, pp. 273-290.
- Schatan, C. y Avalos, M. (2003). *Condiciones de competencia en el contexto internacional: cemento, azúcar y fertilizantes en Centroamérica*. Naciones Unidas CEPAL, México, D.F.

- Sheela, S. C., y Karthikeyan, K. (2012). Financial performance of pharmaceutical industry in India using dupont analysis. *European Journal of Business and Management*, Vol. 4(14), pp. 84-91.
- Schmidheiny, S. (1992). *Changing course: A global business perspective on development and the environment*. MIT press, Massachusetts, Estados Unidos.
- Secil (2014). *Relatório Do Conselho de Administração 2014*. Secil, Setúbal, Portugal.
- _____ (2013a). *Relatório Do Conselho de Administração 2013*. Secil, Setúbal, Portugal.
- _____ (2013b). *SECIL contribution - Consult on options to strengthen EU ETS-23.02.2013*. Secil, Setúbal, Portugal.
- _____ (2012). *Relatório Do Conselho de Administração 2012*. Secil, Setúbal, Portugal
- _____ (2011). *Relatório Do Conselho de Administração 2011*. Secil, Setúbal, Portugal
- Siam Cement Group [SCG] (2015). *Sustainability Report 2015*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2014). *Sustainability Report 2014*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2013). *Sustainability Report 2013*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2012). *Sustainability Report 2012*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2011). *Sustainability Report 2011*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2010). *Sustainability Report 2010*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2009). *Sustainability Report 2009*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2008). *Sustainability Report 2008*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2007). *Sustainability Report 2007*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2006). *Sustainability Report 2006*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- _____ (2005). *Sustainability Report 2006*. SCG, Bangkok, Tailandia.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2004). *NOM-040-SEMARNAT-2002. Diario oficial de la federación*, México, 20 de abril 2004, pp. 1-20.
- Soria S. F. (1982). La Normalización Nacional e Internacional de cementos. *Materiales de Construcción*, Vol. 32(188), pp. 59-72.
- Suh, S., Lee, K. M. y Ha, S. (2005). Eco-efficiency for Pollution Prevention in Small to Medium-Sized Enterprises: A Case from South Korea. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 9(4), pp. 223-240.

- Taiheiyo Cement Corporation (2015). *CSR Report 2015*. Taiheiyo, Tokio, Japón,
- _____ (2014). *CSR Report 2014*. Taiheiyo, Tokio, Japón.
- _____ (2013). *CSR Report 2013*. Taiheiyo, Tokio, Japón.
- _____ (2012). *CSR Report 2012*. Taiheiyo, Tokio, Japón.
- _____ (2011). *CSR Report 2011*. Taiheiyo, Tokio, Japón.
- _____ (2010). *CSR Report 2010*. Taiheiyo, Tokio, Japón.
- _____ (2009). *CSR Report 2009*. Taiheiyo, Tokio, Japón
- _____ (2008). *CSR Report 2009*. Taiheiyo, Tokio, Japón
- _____ (2007). *CSR Report 2009*. Taiheiyo, Tokio, Japón
- Timberlake, L. (2006). *Catalyzing Change: a short history of the WBCSD*. World Business Council for Sustainable Development, Ginebra, Suiza.
- Titan (2015). *Integrated Annual Report 2015, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- _____ (2014). *Integrated Annual Report 2014, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- _____ (2013). *Integrated Annual Report 2013, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- _____ (2012). *Integrated Annual Report 2012, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- _____ (2011). *Integrated Annual Report 2011, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- _____ (2010). *Integrated Annual Report 2010, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- _____ (2009). *Integrated Annual Report 2009, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- _____ (2008). *Integrated Annual Report 2008, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- _____ (2007). *Integrated Annual Report 2007, Positioned for sustainable growth*. Titan Cemenet Company S.A., Atenas, Grecia.
- Ultratech (2014). *Sustainability Report 2012-2014*. Ultratech Cment LTD., Maharashtra, Indica.

- _____ (2013). *Sustainability Report 2012-2014*. Ultratech Cment LTD., Maharashtra, India
- _____ (2010). *Alternative in actions 2010*. Ultratech Cment LTD., Maharashtra, India
- _____ (2009). *Cementing Relationship 2009*. Ultratech Cment LTD., Maharashtra, India
- UNE-EN 197-1:2000/A3:2008 (2011). *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes*, AENOR, p.40.
- UNE-EN, 206-1 (2008). *Concrete-Part-1: Specification, Performance, Production and Conformity*. AENOR, p. 34.
- United Nations (1987). *Report of the World Commissions on Environment and Development: Our Common Future* [en línea], Recuperado de <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>> [01 diciembre 2012].
- United States-Environmental Protection Agency [US-EPA] (1997). *Protection Coastal Waters from nonpoint source pollution*. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, Estados Unidos.
- Van Oss, H. (2016). Cement, en Mineral yearbook 2015, U.S. *Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, Enero 2016, pp. 40-45, [Version Adobe Digital Editions].
- _____ (2011). Cement, en Mineral yearbook 2010, U.S. *Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, Enero 2016, pp. 43-50, [Version Adobe Digital Editions].
- _____ (2006). Cement, en Mineral yearbook 2005, U.S. *Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, Enero 2016, pp. 52-59, [Version Adobe Digital Editions].
- Vera, P. (2013). *La industria del cemento entre la sustentabilidad y la inestabilidad financiera: Cemex, Holcim y Lafarge* (Tesis doctoral no publicada). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- _____ (2015a). Estrategias de las empresas cementeras: de la eco-eficiencia a la sustentabilidad. *Ciencias Administrativas, teoría y praxis*, Academia de Ciencias Administrativas A.C., Julio-Diciembre 2015, Vol. (2), pp. 91-108.
- _____ (2015b). Análisis de las exportaciones mexicanas de cemento, 2001-2014. *Memoria del XX Congreso Internacional de Contaduría y Administración e Informática*, octubre. México: Facultad de Contaduría y Administración –Universidad Nacional Autónoma de México, ISSN 2395896.
- _____ (2016). La industria del cemento en México y la mitigación de emisiones de dióxido de carbono. En Simón, D. N. y Rueda, P. I. (Coords.), *Hacia una administración sustentable*, Publicaciones Empresariales de la Facultad de Contaduría y Administración-UNAM, México.
- Vicat (2016). *Optimización de las fuentes de energía*, Recuperado de <<http://www.vicat.com/Vicat-Group/Environment/Alternative-Fuels>> (10 de diciembre 2016).

- _____ (2015), *Registration Document and Financial Annual Report 2014*. Vicat, Paris, Francia.
- _____ (2014), *Registration Document and Financial Annual Report 2013*. Vicat, Paris, Francia.
- _____ (2013), *Registration Document and Financial Annual Report 2012*. Vicat, Paris, Francia.
- _____ (2012), *Registration Document and Financial Annual Report 2011*. Vicat, Paris, Francia.
- _____ (2011), *Registration Document and Financial Annual Report 2010*. Vicat, Paris, Francia.
- _____ (2010), *Registration Document and Financial Annual Report 2009*. Vicat, Paris, Francia.
- _____ (2009), *Registration Document and Financial Annual Report 2008*. Vicat, Paris, Francia.
- _____ (2008), *Registration Document and Financial Annual Report 2007*. Vicat, Paris, Francia.
- Wang, S., y Hao, J. (2012). Air quality management in China: Issues, challenges, and options. *Journal of Environmental Sciences*, Vol 24(1), pp. 2-13.
- Wang, Y., Liu, J., Hansson, L., Zhang, K. y Wang, R. (2011). Implementing stricter environmental regulation to enhance eco-efficiency and sustainability: a case study of Shandong Province's pulp and paper industry, China. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19(4), pp. 303-310.
- Worrell, E., Price, L., Martin, N., Hendriks, C., y Meida, L. O. (2001). Carbon dioxide emissions from the global cement industry. *Annual Review of Energy and the Environment*, Vol. 26(1), pp. 303-329.
- World Business Council for Sustainable Development [WBCSD] (2016a), *About World Business Council for Sustainable Development*. Recuperado de <<http://www.wbcsd.org/about/organization.aspx>><http://www.wbcsd.org/about/organization.aspx>> (30 de agosto 2016).
- _____ (2016b). *History of WBCSD*. Recuperado de <<http://www.wbcsd.org/about/history.aspx>>, (29 de agosto de 2016).
- _____ (2006). *Catalizing Change: a short history of the WBCSD*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.
- _____ (2002a) *Toward Sustainable Cement Industry*. An independent study Comissioned by WBCSD. Battelle Memorial Institute, Ginebra Suiza.

_____ (2002b). *The cement sustainability initiative, our agenda for action*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

_____ (2002c). *La iniciativa para la sostenibilidad del cemento, nuestra agenda de acción, Resumen ejecutivo*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

_____ (2000a). *Eco-Efficiency: Creating more value with less impact*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

_____ (2000b). *Measuring Eco-Efficiency: A guide to reporting company performance*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

_____ (1999). *Corporate Social Responsibility: Meeting Changing Expectation*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

_____ (1996). *Eco-efficient leadership for improved economic and environmental performance*. Word Business Council Sustainable Development Publishing, Ginebra, Suiza.

World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative [WBCSD-CSI] (2016a). *Producción del cemento*. Recuperado de <<http://www.wbcscement.org/index.php/en/about-cement/cement-production>>, (23 de noviembre 2016).

_____ (2016b). *Cement Industry Energy and CO₂ Performance: Getting the Numbers Right (GNR)*. World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative, Ginebra, Suiza.

_____ (2015). *Low Carbon Technology Partnerships initiative, Cements*. World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative, Ginebra, Suiza.

_____ (2014). *Getting Number Right Project Reporting CO₂*. Recuperado de <http://www.wbcscement.org/GNR-2014/world/GNR-Indicator_59cAG-world.html>, (26 de marzo de 2017).

_____ (2012). *The Cement Sustainability Initiative: 10 years of progress – moving on to the next decade*. World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative, Ginebra, Suiza.

_____ (2005) *Strengthening the CDM: A Cement Industry Perspective, DRAFT for Discussion*. World Business Council for Sustainable Development-Cement Sustainability Initiative, Ginebra, Suiza.

World Business Council Sustainable Development-International Energy Agency [WBCSD-IEA] (2009a). *Cement Technology Roadmap 2009: Carbon emissions reductions up to 2050*. WBCSD-IEA, Ed. Antar Roto Presse, Ginebra, Suiza.

_____ (2009b). *Cement Technology Roadmap*, WBCSD-IEA, Ginebra, Suiza.

Zhang, B., Bi, J., Fan, Z., Yuan, Z. y Ge, J. (2008). Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach. *Ecological economics*, Vol. 68(1), pp. 306-316.

Zhou, W., Jiang, D., Chen, D., Griffy-Brown, C., Jin, Y. y Zhu, B. (2016). Capturing CO₂ from cement plants: A priority for reducing CO₂ emissions in China. *Energy*, Vol. 106, pp. 464-474.

Anexo A

Figge y Hahn (2013) al determinar la eco-eficiencia de las empresas automotrices, encontraron que la ecuación que parte de la formula Dupont, presentaba un inconveniente en su tercer componente (apalancamiento de CO_2).

Este problema se manifestó al momento de analizar a las empresas cementeras CRH y Cementos Moctezuma, puesto que al calcular el indicador de eco-eficiencia de CO_2 para cada año del periodo 2006-2014, ambas obtuvieron una eficiencia que superaba por mucho a todas las demás cementeras. Al separar el indicador en sus tres múltiplos (ver tabla A1) se observó que el múltiplo de apalancamiento de CO_2 era el más alto, y el causante de que el indicador de eco-eficiencia de CO_2 fuera tan alto en ambas empresas.

Debido a que el múltiplo de apalancamiento de CO_2 era tan alto se analizó cada uno de sus componentes y las estrategias que habían implementado las cementeras, porque tener un indicador tan alto de apalancamiento de CO_2 , de acuerdo a Figge y Hahn (2013), supone que la cementera tiene bajas emisiones en relación al capital invertido de la empresa, generando un incremento en el indicador de eco-eficiencia de CO_2 , lo que indica que CRH y Cementos Moctezuma tienen un mejor uso de recursos naturales que todas las demás empresas cementeras, y que tendrían muy bajas emisiones de CO_2 .

Al descomponer el múltiplo de apalancamiento de CO_2 , se observó que las emisiones de CO_2 en Kg por tonelada de cemento producido, en realidad no son bajas en comparación con las emisiones de otras cementeras. En la gráfica A1 se compara los Kg de CO_2 emitido por tonelada de cemento producida de ambas cementeras contra la media de las emisiones de toda la muestra, resaltando que tanto CRH como Cementos Moctezuma se encuentran entre la media, no tienen emisiones que realmente tengan una diferencia significativa por debajo de la media.

CRH ocupa el lugar 13 de las empresas cementeras que tienen menores emisiones, de una muestra de 21, se coloca en esa posición con una media de 688,

mientras que Cementos Moctezuma se posicionó en el lugar 9 con una media de 656.

Tabal A1
Múltiplos de eco-eficiencia de CRH y Cementos Moctezuma

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
CRH									
ROC	0.737	0.833	0.919	0.431	0.483	0.727	0.719	0.295	0.682
Apalancamiento CO₂	4.555	4.170	4.026	3.688	3.696	3.201	4.608	4.359	4.449
Eco-eficiencia de CO₂	3.359	3.473	3.703	1.589	1.785	2.330	3.315	1.287	3.036
Cementos Moctezuma									
ROC	1.841	1.656	1.450	1.810	1.450	2.979	2.450	3.242	3.730
Apalancamiento CO₂	6.36	6.21	5.63	5.09	6.10	5.12	4.32	4.88	4.44
Eco-eficiencia de CO₂	11.71	10.29	8.17	9.21	8.85	15.24	10.59	15.81	16.55

Fuente: elaboración propia con base en datos de Capital IQ e informes de sustentabilidad de CRH (2006-2014) y de Cementos Moctezuma (2006-2014).

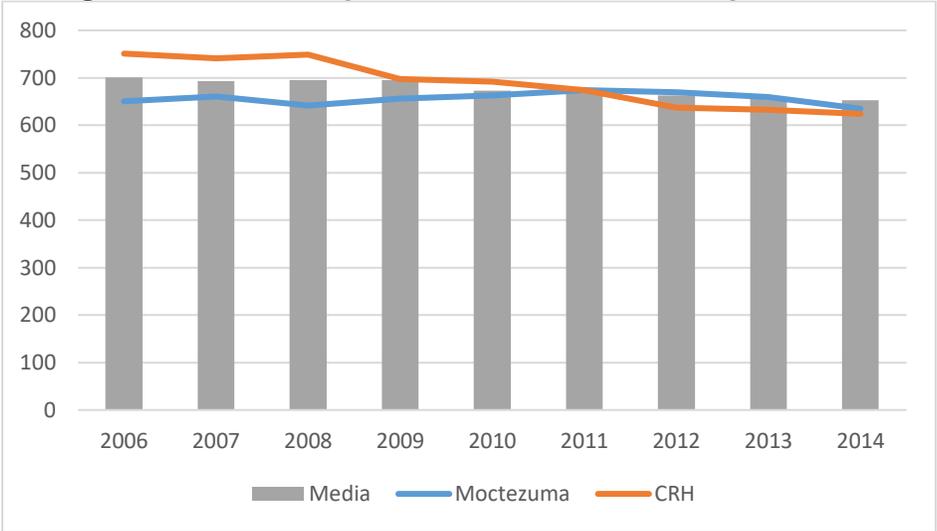
Por otra parte, se encontró que la producción de cemento anual es muy baja para ambas cementeras, y al momento de calcular las emisiones totales de CO₂ para cada año, resultan ser las más bajas de toda la muestra, por lo que al dividir los activos totales entre las emisiones totales genera un indicador de apalancamiento de CO₂ alto.

Esto indica que si la empresa presenta baja producción de cemento y alto monto de activos totales, el indicador de apalancamiento de CO₂ resultará alto, sin que realmente signifique una disminución en las emisiones de Kg de CO₂ por tonelada de cemento producida. En lugar de eso, se está teniendo activos ociosos que no están produciendo lo que deberían, de acuerdo a su capacidad instalada. Cabe señalar que las dos empresas tienen los múltiplos I y II bajos, por su parte CRH genera por cada peso en activo invertido un promedio de 0.768 ventas, mientras que Cementos Moctezuma genera por cada peso de activo invertido 0.654 ventas

También se analizaron las estrategias implementadas de las empresas, enfocadas a la mitigación de emisiones de CO₂, encontrándose que CRH se planteó el objetivo de disminuir un 15% sus emisiones de CO₂ para el 2020, siendo que empresas como Holcim, Lafarge y Taiheiyo, habían logrado este objetivo desde el 2015. Así que CRH no implementó estrategias extras que pudieran disminuir sus emisiones

de CO₂. Por su parte, Cementos Moctezuma en ningún reporte ha presentado objetivos en porcentaje de disminución de emisiones de CO₂.

Gráfica A1
Kg de CO₂ emitido por tonelada de cemento producida



Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de los Informes de sustentabilidad de las empresas cementeras analizadas (2006-2014)

Por consiguiente se determinó que no participarían dentro de la muestra analizada, las empresas que presentan esta característica, ya que al calcular su indicador de eco-eficiencia de CO₂, daría como resultado un dato atípico que movería totalmente la muestra, debido a que la metodología se basa en la media de todas las empresas que conforman la muestra para determinar los costos de oportunidad de cada múltiplo y de la eco-eficiencia del CO₂.

Es por esto que la metodología propuesta por Figge y Hahn (2013) presenta un inconveniente al medir la eco-eficiencia del CO₂, en su último múltiplo (apalancamiento de CO₂), puesto que no se puede identificar si se trata de eficiente los activos que se tienen para reducir el uso de los recursos naturales, o porque redujeron su producción y están teniendo activos ociosos que no generan las ventas necesarias para que la relación entre activos totales y producción sea proporcional.

Anexo B

EMISIONES PROMEDIO DE KG DE CO₂ POR TONELADA DE CEMENTO

Ranking	Cementera	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Media	Mínima	Máxima
1	Ambuja	615	580	567	560	588	581	575	556	554	575	554	615
2	Inter cement	680	620	591	578	535	578	590	583	583	593	535	680
3	Holcim	645	644	634	626	599	585	578	572	575	606	572	645
4	Lafarge	655	647	631	614	605	593	584	576	572	608	572	655
5	Heidelberg	667	645	640	629	638	617	619	608	609	630	608	667
6	Cemex	717	684	654	627	629	612	612	607	613	639	607	717
7	Cimpor	668	665	677	677	681	687	576	566	566	640	566	687
8	Ultratech	655	655	655	645	637	639	635	634	643	644	634	655
9	Moctezuma	651	661	642	656	663	674	670	659	635	657	635	674
10	Titan	690	689	685	673	654	623	658	666	674	668	623	690
11	Secil	686	686	680	685	679	680	681	681	680	682	679	686
12	Siam	687	688	708	717	691	682	675	669	671	688	669	717
13	CRH	751	741	749	697	692	674	637	633	624	689	624	751
14	Buzzi	699	699	689	681	681	697	688	689	706	692	681	706
15	Cimsa	691	691	709	706	699	711	701	732	726	707	691	732
16	Italcementi	730	726	742	709	712	699	702	682	678	709	678	742
17	Cementir	710	717	726	687	702	736	714	721	733	716	687	736
18	Talheiyo Cementos	745	750	737	742	707	699	694	686	692	717	686	750
19	argos	890	855	957	1005	667	678	677	613	589	770	589	1005
20	Portland	678	678	694	879	852	844	841	832	766	785	678	879
21	Vicat	813	825	823	815	817	828	819	826	824	821	813	828

Fuente: elaboración propia con base en los informes de sustentabilidad e integrales de cada empresa (2006-2014)

