

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ciencias Económicas

Departamento de Economía



Trabajo de Diploma

Título:

***Evaluación de la eco-eficiencia del hormigón producido en la UEB-
Prefabricados de Remedios a partir de la utilización del cemento de bajo carbono***

Diplomante: Lisay Machado Rivero

Tutor(es): M.Sc. Yudiesky Cancio Díaz

Lic. Nelly Jiménez Mora

Consultante: Dr.C. Inocencio Raúl Sánchez Machado

Santa Clara, junio de 2016

Pensamiento

"Una buena idea es todo lo que se necesita para alcanzar el éxito".

Napoleón Hill

Dedicatoria

*A mis padres, por ser los mejores del mundo.
A mi hermana, por ser la persona más importante en mi vida.
A mí, por el esfuerzo y dedicación durante toda la carrera.*

Agradecimientos

*A mis padres, por darme todo en la vida y más, por ser mi fortaleza.
A mi hermana por estar siempre a mi lado, ser mi confidente, mi "Duri".
A mi familia, por todo su apoyo incondicional, sin ellos no hubiera llegado tan lejos.
A mis abuelos, por el amor tan grande que siempre me han brindado.*

A mi tutora Nelly, por confiar primero que yo en el éxito de esta investigación, por la sencillez con la que ha puesto su conocimiento a mi disposición, por ser un ejemplo de mujer y madre.

A Yudiesky, por ser mi guía en las horas más difíciles y esa luz que me iluminó cuando más oscuro se tornaba el camino, por sus sabios y certeros consejos, por todo el tiempo dedicado, a pesar de la distancia que nos separa.

A las "Super poderosas" Mavis y Arliety, sin ellas me hubieran resultado más difíciles estos años, gracias por compartir momentos tan lindos conmigo, los cuales no volverán, pero que siempre estarán presentes en mi mente y corazón.

A mi amiga Anaily, por su amistad verdadera, por darme la alegría de traer en camino a una personita que nos cambiará a todos.

A Yaily y Yeni, por ser tan especiales y transmitirme esa alegría que las caracteriza, a Alejandro por toda su ayuda y apoyo, y estar siempre pendiente a pesar de estar tan lejos.

A mis amistades del Fajardo, por siempre mantenerme distraída en los momentos de estrés y especialmente a Robe que ocupa un lugar importante en mi corazón.

A los trabajadores de la UEB Prefabricados de Remedios por su colaboración, especialmente al ingeniero Yuni Piñedo por dedicarme su tiempo.

A los trabajadores de la ECOA 44: Ernesto, Yiroby, Lydia.

A todas las personas que han tendido su mano desinteresadamente y me han ayudado de diversas formas a llegar con éxito al final de mi carrera. Desafortunadamente no caben aquí, pero sí en mi corazón.

A todos,

Muchas Gracias

La Autora.

Índice

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | i |
| CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS, PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN Y CEMENTO DE BAJO CARBONO | 1 |
| 1.1. Fundamento conceptual de la eco-eficiencia | 2 |
| 1.1.1. Vínculo de la eco-eficiencia con las dimensiones del desarrollo sustentable | 5 |
| 1.1.2. Medición de eco-eficiencia | 8 |
| 1.1.3. Aplicaciones empíricas de la eco-eficiencia a nivel internacional | 13 |
| 1.1.4. La eco-eficiencia en estudios cubanos | 16 |
| 1.2. Cadena productiva: concepto y enfoques fundamentales | 19 |
| 1.3. Hormigón y cemento: sus relaciones técnicas, económicas y ambientales | 24 |
| 1.3.1. El Cemento de Bajo Carbono (LC ³) como alternativa eco-eficiente. | 28 |
| 1.3.2. Producción de materiales de la construcción en Cuba | 31 |
| 1.4. Conclusiones Parciales del Capítulo | 33 |
| CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA..... | 35 |
| 2.1. Procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en sistemas constructivos | 35 |
| 2.2. Metodología de evaluación medioambiental: Análisis de Ciclo de Vida..... | 45 |
| 2.3. SimaPro 8: Soporte informático aplicado al ACV | 53 |
| 2.4. Conclusiones Parciales del Capítulo | 56 |
| CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA..... | 58 |
| 3.1. Caracterización de la UEB Prefabricados de Remedios..... | 58 |
| 3.2. Aplicación del procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en sistemas constructivos..... | 60 |
| 3.3. Conclusiones Parciales del Capítulo | 76 |
| CONCLUSIONES | 78 |
| RECOMENDACIONES..... | 79 |
| BIBLIOGRAFÍA | 80 |
| ANEXOS | 90 |

Resumen

RESUMEN

En la presente investigación se estudia el potencial económico y medioambiental del uso del cemento de bajo carbono (LC³) en la cadena productiva del hormigón de prefabricado, UEB Remedios. La herramienta analítica que se aplica es la eco-eficiencia. Se emplea el procedimiento diseñado por (Cancio and Jiménez, 2016), el cual combina la metodología Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y el método del valor agregado en función de evaluar la eficiencia económico-ecológica derivada de los procesos constructivos. Se evalúa la eco-eficiencia considerando dos unidades funcionales: un metro cúbico de hormigón de prefabricado y una unidad habitacional de 12.5 m² de área construida, sistema Gran Panel IV Modificado (ciudad Santa Clara). Se demuestra que el nuevo tipo de cemento genera beneficios ambientales en el orden del 25% al nivel de las unidades funcionales analizadas, lo cual unido al potencial de ahorros económicos proporciona conjuntamente un incremento de la eficiencia económico-ecológica en un 35%. Se constata, además, que la tecnología de Gran Panel es menos eco-eficiente que la tecnología de bloques tradicionales, sin embargo, la introducción del LC³ en sistemas prefabricados posee grandes reservas de eficiencia.

ABSTRACT

The present research assesses the economic and environmental potential of the use of low carbon cement (LC3) along the supply chain of prefabricated concrete, at UEB Remedios. The analytical tool employed was the eco-efficiency. The procedure proposed by (Cancio and Jimenez, 2016) is applied, which combines the methodology Life Cycle Assessment (LCA) as well as the Value Added Method in order to evaluate the economic-ecological efficiency derived from construction processes. Two functional units have been analysed: one cubic meter prefabricated concrete and one housing unit of 12.5 m² of floor area (Grand Panel technology, Santa Clara city). It was found that the new type of cement brings about environmental benefits around 25% at the level of both functional units addressed, which generates an eco-efficiency increase of ~35% when combined with the economic savings. Furthermore, it is also noticeable that Grand Panel.

Introducción

INTRODUCCIÓN

El hormigón es el material de mayor volumen de producción y uso en el mundo (Scrivener and Nonat, 2011),(Flatt, 2012), siendo irremplazable para un gran número de aplicaciones infraestructurales. El crecimiento en el consumo del mismo está directamente relacionado con el aumento de la población mundial y con el desarrollo de los países, de ahí que en los últimos años se haya notado un crecimiento vertiginoso en la industria de la construcción.

El hormigón es técnicamente improbable de producir sin el empleo de algún aglomerante que produzca la reacción química requerida para mezclar y fraguar conjuntamente con materiales pétreos (áridos). El cemento es el aglomerante de mayor efectividad y está presente en casi todas las construcciones de la civilización humana. Sin embargo, su alto contenido de clínquer requiere de intensivos consumos de energía, convirtiéndolo en un producto de enormes impactos ambientales. Se estima que por cada tonelada de cemento se emiten ~0.8 t de CO₂ equivalente (Patel, 2013).

La industria del cemento y el hormigón no ha sido capaz de desarrollar materiales alternativos con potencial de reducción drástica de las emisiones. En los últimos años se han estado desarrollando cementos mezclados basados en materiales cementicios suplementarios, tales como puzolanas naturales, cenizas volantes, escorias de alto horno. Entre los de mayores posibilidades de mitigación ambiental se encuentran las arcillas calcinadas. Una nueva tecnología basada en la sustitución de clínquer por metacaolín ha sido investigada en los últimos 4 años por investigadores del equipo internacional “Cemento de bajo carbono”. La nueva propuesta se reconoce oficialmente por la comunidad científica como LC³ (del Inglés, Limestone Calcined Clay Cement), cuyos resultados y avances se encuentran documentados en revistas científicas.

El nuevo cemento se ha producido a escala de prueba piloto en 2013 en la fábrica de cemento Siguaney, Sancti-Spíritus, así como una segunda prueba a nivel industrial, en el Centro Técnico para el Desarrollo de Materiales de Construcción (CTDMC), en la Habana. Ambas producciones resultaron de gran éxito para las pruebas de

desempeño estructural realizadas a nivel de laboratorio, demostrándose resistencias mecánicas y durabilidad superiores al cemento Portland ordinario. Materiales de la construcción fueron producidos con este cemento, y un conjunto de viviendas para familias asistidas por el gobierno en la ciudad de Santa Clara.

De igual manera, se ha probado la factibilidad económica y ecológica del producto. Resultados detallados se pueden encontrar en (García, 2014), (Fuentes, 2014), (Vicente, 2014), (Rodríguez, 2015), (Paradelo, 2015), (Rojas, 2015). Paralelo a los estudios económicos y ambientales de cemento, se ha evaluado su factibilidad en estructuras construidas, sin embargo, no centrado en los procesos productivos de los materiales intermedios, como bloques, elementos de prefabricado, baldosas hidráulicas, entre otros. Es por ello que resulta pertinente el análisis al nivel de la fabricación del hormigón en planta, el cual tiene un enorme volumen de uso en el Villa Clara y en el país en general.

Se han utilizado diversas herramientas analíticas para demostrar la factibilidad de emplear este aglomerante en los diversos sistemas constructivos. Entre ellas, destaca el concepto de eco-eficiencia, entendida como una filosofía de gestión y una herramienta administrativa que combina los principios de la ecología para generar alternativas de uso eficiente de las materias primas e insumos; así como para optimizar los procesos productivos y la provisión de servicios (Ministerio del Ambiente, 2009). Esta ha evolucionado de ocuparse de reducir el uso de recursos y prevenir la contaminación del medio ambiente, a ser la guía de la innovación y la competitividad en toda clase de empresas.

La eco-eficiencia está estrechamente ligada a uno de los conceptos más difundidos y aceptados a nivel global: el desarrollo sostenible, pues busca la optimización de dimensiones del desarrollo en forma paralela: el crecimiento económico, la equidad social y el valor ecológico, de tal forma que logre satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (World Commission on Environment and Development, 1987).

La eco-eficiencia se analiza en toda la extensión de la cadena productiva del producto, razón por la cual este último concepto es esencial en el entendimiento del

sistema que se estudia. En esta investigación la autora asume el concepto de cadena productiva adoptado por ONUDI, “conjunto estructurado de procesos de producción que tiene en común un mismo mercado y en el que las características tecno-productivas de cada eslabón afectan la eficiencia y productividad de la producción en su conjunto” (ONUDI, 2004).

Se precisa, por tanto, de trabajos dirigidos a demostrar la superioridad económico-ambiental de este cemento ecológico en diferentes escalas de análisis, desde los procesos intermedios de producción de materiales de la construcción hasta su uso final en sistemas constructivos con determinada tecnología. Las investigaciones precedentes en torno a la sustitución del cemento convencional por el cemento bajo carbono, se han enfocado fundamentalmente en analizar la eco-eficiencia en la cadena productiva de sistemas constructivos, sin embargo no han efectuado este tipo de análisis en el proceso productivo de materiales de la construcción.

La UEB-Prefabricados de Remedios es una de las principales productoras y suministradoras de elementos prefabricados del país, utilizándose posteriormente en la construcción de edificios de tipo Gran Panel con gran aceptación en el país. La evaluación del impacto económico y ambiental conjunto del proceso productivo en la planta productora de hormigón contribuiría a fundamentar con criterio económico y ambiental la toma de decisiones en materia de política económica, en torno a la potencial fabricación a escala industrial del nuevo tipo de cemento y su ulterior uso constructivo. La fundamentación de las ventajas derivadas de su uso en edificaciones contribuirá a reforzar con criterio científico la propuesta tecnológica que se ha estado formulando y proponiendo a la industria del cemento en Cuba durante los últimos 4 años. Lo anteriormente expuesto constituye la **situación problemática** de la presente investigación; a partir de la cual se arriba al siguiente **problema científico**:

¿Cómo contribuir a la evaluación de la eco-eficiencia resultante de la sustitución del cemento convencional por cemento de bajo carbono, en la cadena productiva del hormigón fabricado en la UEB-Prefabricados de Remedios?

Objetivo general:

Evaluar la eco-eficiencia resultante de la sustitución del cemento convencional por cemento de bajo carbono en la cadena productiva del hormigón fabricado en la UEB-Prefabricados de Remedios.

Objetivos específicos:

1. Sistematizar los fundamentos teórico-metodológicos relacionados con eco-eficiencia, las cadenas productivas, la producción de hormigón y el cemento de bajo carbono.
2. Describir el procedimiento aplicado en la investigación para el análisis de eco-eficiencia.
3. Aplicar el procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia de la cadena productiva del hormigón en la UEB-Prefabricados de Remedios.

Hipótesis:

La sustitución del cemento convencional por cemento de bajo carbono en la producción de hormigón en la UEB-Prefabricados de Remedios, producirá beneficios económicos y ambientales a la cadena productiva del prefabricado en su totalidad.

En el proceso de investigación se utilizaron diversos métodos y técnicas de investigación. Del nivel teórico: el inductivo-deductivo, mediante el establecimiento de relaciones entre lo particular y lo general en todo el proceso de investigación; el analítico-sintético, en todo el proceso investigativo, estableciendo la relación adecuada entre las partes y el todo y viceversa; el histórico-lógico, en el tratamiento científico relacionado con el problema de investigación y la triangulación de fuentes bibliográficas.

Del nivel empírico: análisis de documentos para el fundamento histórico lógico del proceso de investigación, observación, técnicas de procesamiento de datos y entrevistas no estructuradas con anticipación.

Estructura de la tesis:

Capítulo I: Fundamentos teórico-metodológicos relacionados con la eco-eficiencia, las cadenas productivas, la producción de hormigón y el cemento de bajo carbono.

Capítulo II: Descripción del procedimiento para la evaluación de la eco-eficiencia

Capítulo III: Aplicación del procedimiento para la evaluación de la eco-eficiencia en la cadena productiva del hormigón en la UEB-Prefabricados de Remedios.

También el informe escrito del trabajo de diploma es contentivo de un cuerpo de conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

Capítulo I

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA ECO-EFICIENCIA, LAS CADENAS PRODUCTIVAS, PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN Y CEMENTO DE BAJO CARBONO

En el presente capítulo se exponen las principales concepciones teórico-metodológicas relacionadas con eco-eficiencia, cadena productiva y la relación técnica, económica y ambiental de la producción de cemento y hormigón; poniendo de manifiesto los nexos conceptuales entre estos enunciados en función del objetivo de la investigación.

A continuación en la Figura 1.1 se muestra el hilo conductor del capítulo

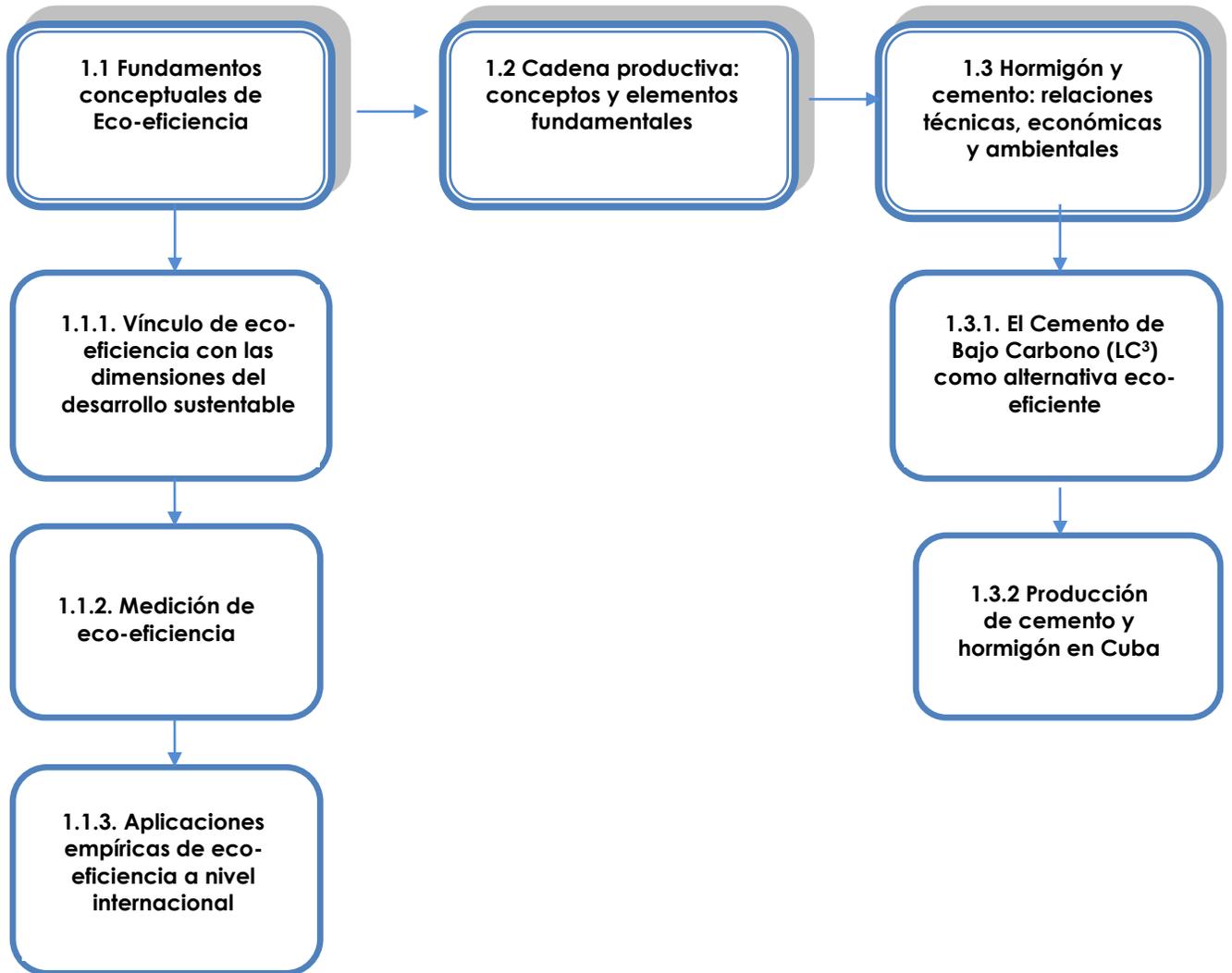


Figura 1.1. Hilo conductor del capítulo I. Fuente: Elaboración propia

1.1. Fundamento conceptual de la eco-eficiencia

La idea de la eco-eficiencia fue presentada en la literatura académica por (Schaltegger and Sturm, 1990); sin embargo, fue (Schmidheiny, 1992) quien popularizó el término a partir del cual ganó reconocimiento en las agendas globales empresariales. En especial las lideradas por el WBCSD¹, quien de manera oficial presentó el término en 1992 como una contribución a la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible de Río de Janeiro a través de su publicación *Changing Course*, para el cumplimiento de la Agenda 21 en el sector privado. Allí se consideró la eco-eficiencia como una filosofía administrativa (WBCSD and PNUMA, 1997, OECD, 1998, N.Jollands et al., 2004)

El término fue definido originalmente por WBCSD en 1991 como “el proceso continuo de maximizar la productividad de los recursos, minimizando desechos y emisiones, y generando valor para la empresa, sus clientes, sus accionistas y demás partes interesadas”

Este concepto evolucionó, redefiniéndose por dicha institución en 1992, como el “proporcionar bienes y servicios a un precio competitivo, que satisfaga las necesidades humanas y la calidad de vida, al tiempo que reduzca progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de recursos a lo largo del ciclo de vida, hasta un nivel compatible con la capacidad de carga estimada del planeta”. A partir de ese momento, diversas organizaciones y especialistas han divulgado con enfoques similares dicho término.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, 1998) la define como la eficiencia con la cual los recursos ecológicos son utilizados para llenar las necesidades humanas y la define como una razón (ratio) de salida (el de productos y servicios producidos por una empresa, sector o economía completa) dividida por las entradas (la suma de las presiones ambientales generadas por la empresa, el sector o la economía).

¹ World Business Council for Sustainable Development (por sus siglas en inglés), significa Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible

A lo largo de los años, el término ha tenido un amplio rango de interpretaciones, sin embargo, en todas puede apreciarse el interés común por un uso más eficiente de los recursos naturales; el prefijo “eco”, hace referencia tanto a los asuntos ambientales como a los económicos.

El Instituto Wuppertal, en el año 2001, define eco-eficiencia como una estrategia social de acción que busca disminuir el uso de materiales en la economía para reducir impactos ambientales indeseables y producir un grado relativamente superior de riqueza económica más equitativamente distribuida.

La eco-eficiencia emerge como una respuesta administrativa frente a los asuntos asociados con los desechos provenientes de los procesos productivos (N.Jollands et al., 2004), y/o, la eficiencia con la cual los recursos ecológicos son usados para satisfacer las necesidades humanas (Mickwitz, 2006).

A pesar de la diversidad de definiciones, la esencia de la eco-eficiencia puede ser entendida como la aspiración de crear bienes y servicios de mayor valor provocando menos desperdicio. (Braungart et al., 2006) intentan mostrar la diversidad de definiciones de eco-eficiencia que ha generado esta visión.(Ver Anexo 1).

La eco-eficiencia es un instrumento para el análisis de la sostenibilidad, indicando una relación empírica entre valor económico e impacto ambiental (Huppes and Ishikawa, 2005). (Kuosmanen and Kortelainen, 2005) la consideran útil por dos razones: es el modo más efectivo de reducir los impactos ambientales, y además, las políticas derivadas son más fáciles de adoptar que las políticas que restringen el nivel de actividad económica.

Varios autores consultados señalan los pilares fundamentales de la eco-eficiencia. El primero se refiere a reducir la sobreexplotación de los recursos naturales logrando un uso más sostenible de ellos. El segundo, disminuir la contaminación asociada a los procesos productivos. Sin embargo, el potencial de esfuerzo va más allá, busca avanzar hacia un incremento de la productividad de los recursos naturales, incluyendo los energéticos, así como reducir los impactos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto.

Al respecto, (Bleischwitz, 2003) presenta los tres estados de la eco-eficiencia en la cadena de producción: El primero se refiere al periodo de la toma de decisiones, es decir, es la etapa de las ideas y las expectativas sobre futuros desarrollos. El segundo es el periodo de adaptación y el tercero es el de renovación, en el cual se ha superado la etapa de aprendizaje y aparecen nuevas innovaciones.

En cierto modo, existen múltiples conceptos e iniciativas ambientales que enfatizan en la importancia de producir o hacer más con menos. Por ejemplo, el concepto de producción más limpia del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el cual promueve diseños ambientalmente amigables y prevención de la contaminación. Sin embargo, la eco-eficiencia tiene otras características adicionales: enfatiza en la creación de valor, en la durabilidad del producto o servicio, supone objetivos para el mejoramiento continuo, vincula la excelencia ambiental con la excelencia empresarial y considera tanto el consumo como la producción sostenible

Se trata de adoptar, desde el ámbito empresarial, un enfoque de mejora continua de los procesos de forma tal que se persigan simultáneamente los objetivos de reducir el impacto negativo al medio ambiente y el incremento del valor agregado de los productos de cara al cliente o al consumidor final (Cancio et al., 2014).

En el año 2007, el Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible, (CLACDS), al definir la eco-eficiencia se refiere a: “Lograr una ventaja competitiva sostenida a través de la mayor productividad de los materiales y la energía, el menor impacto ambiental negativo y el desarrollo integral de los recursos humanos y la comunidad local”.

Esta definición tiene en cuenta que los negocios no operan de manera independiente de la sociedad y de la tierra. La realidad es que las empresas impactan tanto a la población como al medio ambiente en el cual operan. Por esta razón, no solamente su desempeño económico debe ser evaluado económicamente sino también el social y ambiental.

Para algunos una empresa es eco-eficiente cuando alcanza la eficiencia económica, la ambiental y la social al unísono, como resultado de una sumatoria algebraica de los niveles específicos de cada una de las eficiencias. Sin embargo, más que una

suma algebraica de estas tres dimensiones, la eco-eficiencia debe ser entendida como el efecto sinérgico que permite alinearlas hacia objetivos comunes, por medio de una estrategia apropiada.

La eco-eficiencia ha sido ampliamente aceptada no solo en el en el ámbito empresarial sino también en el ámbito de la gestión pública, pues combina aspectos tales como economía y medio ambiente y procura el aumento de la prosperidad económica mediante el uso más eficiente de los recursos y la reducción de la contaminación. Sus objetivos están orientados a evaluar internamente el desempeño de la organización y servir como herramienta para la toma de decisiones; por tanto requiere fijar metas, establecer medidas y acciones enfocadas al mejoramiento del desempeño económico-ambiental.

1.1.1. Vínculo de la eco-eficiencia con las dimensiones del desarrollo sustentable

La eco-eficiencia ha sido referida de manera significativa en la literatura sobre desarrollo sostenible (Choucri, 1995; Cramer, 1997; Hinterberger y Stiller, 1998; Brady et al., 1999; DeSimone and Popoff, 2000; Schaltegger and Synnestvedt, 2002; Bleischwitz, 2003; Reith and Guidry, 2003).

En un estudio (Mickwitz, 2006), afirma que es posible integrar las dimensiones, ambiental, social y económica, en el concepto de eco-eficiencia (Figura 3.2). En este caso se presenta un enfoque amplio del concepto, el cual va más allá de un nivel micro o individual, y se acerca al ámbito regional.

(Schmidheiny, 1992) afirmó: “el mayor riesgo que enfrentan los negocios hoy en día es ignorar sus responsabilidades ambientales“. Según su criterio, será imposible la competitividad de los negocios sin ser eco-eficientes, adicionando un mayor valor a los bienes o servicios, al tiempo que se reduzca el uso de los recursos y se genere menor contaminación.



Figura 1.2. Eco-eficiencia integrando las tres dimensiones. Fuente: Mickwitz et al (2006)

Un estudio realizado en Estados Unidos entre 1996 y 2002 por (Guenster et al., 2005) pretendía demostrar que la gestión ambiental debería alinearse con los objetivos económicos de una empresa. Dicho estudio demostró que una política de eco-eficiencia empresarial fuerte puede ser significativa desde una perspectiva financiera de manera que los beneficios asociados resulten ser mayores a los costos. Además se presenta una alternativa para los inversionistas, quienes podrían basar sus decisiones en la información ambiental de las organizaciones.

Por su parte (Porter, 2000) indica que las empresas pueden generar beneficios con la eco-eficiencia mientras que (Bleischwitz, 2003) cuestiona que las empresas puedan calcular dichos beneficios o recibir alguna renta económica cuando se enfrentan con incertidumbres regulatorias y científicas. Sin embargo, alude que la gestión ambiental es percibida como una contribución a un bien público y que algunos beneficios son percibidos en el futuro no siendo tangibles en las utilidades presentes.

(Falck and Heblich, 2007), aseguran que mientras más tarda una empresa en incorporarse a una nueva tendencia, menos oportunidades tiene de volverse líder en un campo o de tener mayor influencia en futuras regulaciones. De hecho, (Pratt, 2002) había advertido sobre el tema al señalar cómo la demanda de productos y procesos de producción más ambiental y socialmente responsables ha estado en aumento, de manera especial por parte de los consumidores de Estados Unidos y la Unión Europea.

Una empresa que no incorpore factores ambientales en su estrategia de negocios, corre el riesgo de marginarse de los mercados internacionales y sus productos quedarán relegados a una segunda categoría. Por el contrario, una empresa que considere dichos factores, beneficiará fuertemente su posición competitiva y además, será posible la reducción de sus costos operativos a través del uso eficiente de la energía, la materia prima y el agua. En particular, han sido los países desarrollados los que han practicado en mayor medida la eco-eficiencia, siendo establecida como política dentro de su estrategia empresarial (Leal, 2005).

Lo anterior puede lograrse incorporando estos objetivos a la gestión estratégica de las organizaciones y concretamente, formando equipos de trabajo y capacitando a los recursos humanos; de este modo se puede superar una barrera típica como la resistencia al cambio.

La principal barrera en la adopción de medidas ambientales es el hecho de que no existen incentivos suficientes en la legislación para la prevención de la contaminación (Varela, 2002). A ello se le suma el alto desconocimiento de la normativa, las sanciones existentes son débiles y el enfoque es netamente correctivo antes que preventivo. En consecuencia, (Alvarado, 2002) propone que las empresas deben tomar una posición proactiva que se anticipe a la legislación así como involucrarse en la creación de políticas que reconozcan el uso eficiente de los recursos naturales, pues son las mismas empresas las responsables de su degradación y agotamiento.

La eco-eficiencia funciona no solamente en las grandes empresas transnacionales, como son la mayoría de los afiliados al WBCSD, sino también en las pequeñas y medianas empresas (PYMES). De la misma manera, es tan aplicable en los países en desarrollo y economías emergentes como en las naciones industrializadas, (ver ejemplos aplicados de eco-eficiencia en WBCSD, 2000). En ellos se muestra el efecto de los sistemas de gestión que apoyan las mejoras en eco-eficiencia.

1.1.2. Medición de eco-eficiencia

La instrumentación práctica de la eco-eficiencia de acuerdo con los reportes que se tienen de empresas que han adoptado el concepto, tiene sus bases en los documentos-reportes emitidos por el WBCSD desde el 1992 a la fecha. El WBCSD ha explorado maneras de medir y reportar el desempeño total eco-eficiente de una empresa, con indicadores relativos de eco-eficiencia. La medición es de gran importancia pues soportará posteriormente las interpretaciones que de ella se deriven, las comparaciones, por tanto, debe contener suficiente coherencia interpretativa.

En un reporte elaborado por el WBCSD, *Midiendo la Eco-eficiencia—“Una guía para reportar el desempeño empresarial”*—, se muestran las formas de medir la eco-eficiencia. En dicho reporte, el WBCSD presenta un marco, que puede ser usado para medir el progreso hacia la sostenibilidad económica y ambiental, el marco es suficientemente flexible para ser usado ampliamente, e interpretado con facilidad a través de toda la gama de negocios, al tiempo que suministra un conjunto común de definiciones, principios e indicadores.

Existen dos tipos de indicadores, los de aplicación general, válidos para cualquier tipo de negocios, siendo relevantes en un sentido amplio; y los indicadores específicos, aptos para aplicación en contextos particulares (WBCSD, 2000). Los indicadores generales pueden parecer un grupo relativamente reducido de criterios para comprobar si una empresa está efectivamente avanzando por la ruta de la sostenibilidad. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que las dificultades para diseñar y usar indicadores son grandes, de modo que trabajar sobre un grupo reducido siempre será más factible.

El comportamiento eco-eficiente de una empresa debe incluir indicadores generales y específicos, los cuales, en su mayoría son un esfuerzo voluntario por parte de las firmas/empresas interesadas en incluir la eco-eficiencia dentro de sus estrategias de desarrollo corporativo/empresarial. Cada empresa debe evaluar su propio negocio, para determinar cuáles son los indicadores específicos que le aplican y que son

útiles para la administración, y las partes interesadas externas, además, por supuesto, de los indicadores de aplicación general.

En el artículo titulado “Accounting for eco-eficciency”, de (Schaltegger and Sturm, 1998), precursores del concepto eco-eficiencia; presentan una clasificación para los indicadores de eco-eficiencia definiendo cuatro tipos de ratios.

Básicamente la eco-eficiencia integra las dimensiones ecológica y económica, al relacionar el valor del producto o servicio con su influencia ambiental. La eco-eficiencia puede ser representada por el siguiente indicador relativo:

$$\frac{\textit{Desempeño Económico}}{\textit{Desempeño Ambiental}}, \text{ o alternativamente, } \frac{\textit{Desempeño Ambiental}}{\textit{Desempeño Económico}}$$

(Huppes and Ishikawa, 2005) definen cuatro tipos básicos de indicadores combinando el análisis de creación de valor y el análisis de mejoras ambientales con las opciones de inversión, (ver Anexo 2). Estos autores proponen indicadores que viabilizan la ejecución de análisis comparativos para elegir entre diferentes opciones o alternativas; obteniendo resultados positivos o negativos en dependencia de la situación tomada como referencia. Este enfoque rompe con la creencia o tendencia a pensar que “más alto” o “más bajo” es mejor, depende solamente de qué variables hayan sido ubicadas en el numerador y el denominador del ratio.

Además de estos indicadores existen otros conceptos con significados similares tales como productividad del uso de la energía, productividad del uso de los recursos, productividad del capital y productividad del trabajo; cada uno de ellos puede ser analizado a la inversa, es decir, considerando su reducción en una situación desfavorable.

En términos de eco-eficiencia, tanto los impactos ambientales como los económicos están relacionados principalmente con salidas generadas en el proceso productivo, al consumo material y el tratamiento o manejo de residuos o desechos. Sin embargo el enfoque de Huppes e Ishikawa es mucho más abarcador y esclarece los análisis e interpretaciones tradicionales, permitiendo luego profundizar en la discusión sobre las peculiaridades de los sistemas analizados.

Según (Núñez, 2003), la variable ambiental se relaciona entonces con aspectos económicos, abarcando aspectos como materias primas, residuos, gasto de agua y volumen y tipo de aguas residuales, uso de energía eléctrica y combustibles fósiles, o emisiones a la atmósfera. El valor del producto o servicio, puede estar representado por la cantidad de bienes o servicios producidos, las ventas netas, el monto de exportaciones e importaciones o el número de empleos directos generados.

Existen diversas formas para calcular la eco-eficiencia utilizando algunos de estos dos tipos de ratios. Tanto el valor del producto o servicio como su influencia ambiental, incluyen diversos indicadores que después de ser homogeneizados pueden ser condensados en una medida única que fuere sintetizadora. Una discusión pormenorizada acerca de las medidas o indicadores de eco-eficiencia y su interpretación, se reportan más adelante en la descripción del procedimiento aplicado en la investigación (Capítulo II).

Las empresas deben escoger los indicadores de eco-eficiencia que mayor se ajusten a sus procesos de comunicación y de toma de decisiones, los cálculos específicos dependerán de las necesidades individuales de quien toma las decisiones. El valor y la influencia ambiental también pueden ser medidos por distintas entidades como: líneas de producción, instalaciones de manufactura o corporaciones completas; también para productos, segmentos de mercado o economías completas. De la misma manera, los indicadores relativos de eco-eficiencia pueden ser calculados y utilizados por muchas de las entidades, aunque el mismo indicador puede que no sea adecuado para todas.

La construcción de indicadores de eco-eficiencia requiere identificar los puntos nodales del proceso ambientalmente sensible y generar sistemas de información que provean datos internos para medir la conducta del proceso productivo. Estos datos pueden obtenerse de diversas fuentes: subsistema contable (facturas, costes de insumos...), subsistema productivo (volumen de materias primas, consumo de energía, mano de obra...) y subsistema de compras y ventas (registros de almacén, pesos de embalaje, costos de transporte de productos...).

En un esfuerzo por armonizar los indicadores sectoriales, el WBCSD ha comenzado proyectos sectoriales para minería, cemento e industrias de transporte, con el ánimo que se trabaje hacia la definición de indicadores de eco-eficiencia que sean relevantes para cada sector.

El WBCSD recomienda a las organizaciones integrar la información de eco-eficiencia a su sistema de gestión, incluyéndola en proceso de toma de decisiones y de comunicación. Los indicadores de eco-eficiencia se podrían dar a conocer en los reportes corporativos, ambientales o de sostenibilidad, como uno de los elementos integradores entre los tres pilares de la sostenibilidad; o podrían incluirse en los reportes financieros existentes como una adición al reporte de estados financieros.

Hay cinco elementos que el WBCSD considera deben ser incluidos en todos los reportes de eco-eficiencia de una empresa:

Perfil de organización: Suministra un contexto para la información de eco-eficiencia; debería incluir: el número de empleados, los segmentos del negocio involucrado, productos primarios y los principales cambios en la estructura de la empresa.

Perfil de valor: Indicadores de la parte “valorable” del marco del WBCSD; incluyen: información financiera, cantidad de productos o indicadores de funcionalidad de productos específicos.

Perfil ambiental: Incluye los indicadores de aplicación general y los indicadores específicos del negocio, relacionados con la creación y uso del producto o servicio.

Indicadores relativos de eco-eficiencia: Adicionalmente a suministrar los datos del numerador y el denominador para estimar la eco-eficiencia, las empresas también pueden querer mostrar los cálculos de los indicadores de eco-eficiencia que consideren de mayor relevancia y significado para su negocio.

Información metodológica: Describe el método utilizado para seleccionar los indicadores, la metodología de recolección de información y cualquier limitación en el uso de los datos.

Adicionalmente a los reportes del WBCSD acerca de cómo medir e instrumentar en la práctica empresarial el concepto de eco-eficiencia, se cuenta con la norma ISO-

14045 -2012: *Gestión medioambiental. Evaluación de la eco-eficiencia de sistemas productivos. Principios, requerimientos y directrices*. Esta norma establece un marco internacional de referencia mediante un procedimiento para la evaluación de la eco-eficiencia en cualquier sistema-producto.

Cabe preguntarse qué ventajas presenta la eco-eficiencia frente a la incorporación de estándares como la ISO14000. Al respecto, (Danse, 2002) aclara que la principal ventaja de la norma es el establecimiento de sistemas para la administración de las obligaciones ambientales y la realización de evaluaciones del producto para crear confianza en los consumidores sobre la calidad del mismo. Sin embargo, carece de especificaciones con respecto a las metas que debe alcanzar una organización; no define un desempeño ambiental a escala mundial, ni fija metas ambientales para la prevención de la contaminación, sobre tecnología o sobre otros resultados ambientales deseables.

El procedimiento contenido en la norma adolece de herramientas particulares que puedan ser aplicadas a sectores económico-productivos específicos, como por ejemplo, el sector de la construcción. Es por ello que se hace patente la necesidad de adaptar el procedimiento que contiene la norma ISO-14045 al caso cubano, contextualizado en la evaluación de sistemas constructivos, que es finalmente el objetivo de la presente investigación.

El procedimiento de la ISO es contentivo de las siguientes fases:

- a) Definición de objetivo y alcance (incluye límites del sistema, interpretación y limitaciones)
- b) Evaluación medioambiental
- c) Evaluación del sistema de valor asociado al producto
- d) Cuantificación de la eco-eficiencia
- e) Interpretación (incluye valoración sobre la calidad de los resultados)

En la fase de evaluación ambiental, se explicita que dicha evaluación se debería realizar utilizando la herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV), cuyo marco de referencia se refrenda en la norma ISO-14040.

El Análisis del Ciclo de Vida se define como la herramienta adecuada para la recopilación y valoración de las entradas (materia y energía), salidas (productos, emisiones y residuos) e impactos potenciales de un sistema de producción o servicio a lo largo de su ciclo de vida (ver Anexo 3). Conceptualmente este método se mantiene en natural y constante desarrollo, pues a medida que son divulgados nuevos trabajos prácticos con su aplicación se intercambian informaciones entre usuarios de esta metodología. Todo ello implica un constante proceso de retroalimentación evaluativa en el método, como ha ocurrido anteriormente con otras metodologías de gestión (ISO14040, 1997).

1.1.3. Aplicaciones empíricas de la eco-eficiencia a nivel internacional

La flexibilidad que caracteriza a la eco-eficiencia permite que distintas empresas apliquen diferentes herramientas y procedimientos ubicándose además, en distintas etapas del paso hacia ella misma, esta característica se ha mantenido debido a la diversidad de actividades centrales de las empresas, de sectores industriales, ubicaciones geográficas, del tamaño de las empresas, de la variedad de clientes, de materias primas y de procesos, etc.

Existen, sin embargo, un número de pasos o etapas generales y comunes para cualquier tipo y tamaño de empresa que siempre pueden ser tomados en cuenta para una completa implementación, las cuales se complementarán o desarrollarán con los elementos específicos necesarios para cada negocio individual (Hernández et al., 2007). Estas etapas son:

1. Autoevaluación: mide el nivel actual de la actividad eco-eficiente en la empresa con el propósito de determinar la extensión en la cual las actividades y prácticas eco-eficientes están siendo usadas y en cuales funciones empresariales específicas.
2. Planeación de estrategias: provee una estructura para desarrollar un programa de eco-eficiencia específico para la empresa; usando los resultados de la autoevaluación para definir una estrategia eco-eficiente y acciones a emprender.

3. Análisis costo beneficio: ayuda a determinar cuáles de las potenciales acciones darán el mejor beneficio o qué beneficio puede esperarse de cada una de ellas.

(Hernández et al., 2007) desarrollaron un procedimiento donde relacionan las etapas anteriores con las áreas funcionales que están presentes en cualquier tipo de empresa. Este desglosa por cada etapa los elementos centrales que deben tenerse presente. En la etapa 1: se definen las acciones y actividades a partir del análisis de las disponibilidades de materias primas, la valorización del proceso de producción, la distribución y la medición de la eco-eficiencia, en la segunda etapa se realiza una planeación de los elementos mencionados en la etapa anterior así como las sinergias que se establecen entre ellos a partir de la evaluación de los beneficios de las acciones de este período, en la tercera etapa se realiza un Análisis Costo-Beneficio en el cual se figuran las alternativas que podrían tomarse en cuanto al manejo y disposición de las materias primas, los cambios en el proceso productivo, en la distribución así como las correlaciones que se dan entre estos elementos a fin de lograr resultados con mayor eco-eficiencia.

En opinión de la autora, existen otros elementos relevantes a considerar tales como: la posibilidad de sustituir materias primas utilizadas en la producción por recursos ecológicos y el cálculo de emisiones de carbono que genera la actividad productiva de la empresa con el fin de concebir un beneficio económico a partir de la reducción del impacto ambiental; traduciéndose en un beneficio social.

La eco-eficiencia se ha convertido en un elemento estratégico importante de las políticas de la Unión Europea hacia el desarrollo económico sostenible. El Consejo de la Unión Europea ha hecho un llamado para la integración de los aspectos ambientales (y sociales), dentro de las políticas económicas e industriales de la Unión. La Agencia Europea del Medio Ambiente está usando la eco-eficiencia como el concepto guía, para la definición de los indicadores de desempeño nacionales, y para el establecimiento de los objetivos correspondientes.

Varios países europeos, particularmente en la zona nórdica, ya han creado un marco dentro de sus políticas industriales y económicas para dar apoyo adicional, a la

mayor productividad de los recursos y las mejoras ambientales y sociales. Los países miembros de la UE al igual que las otras partes del orbe, han comenzado a explotar las maneras de usar la eco-eficiencia como un concepto para las políticas.(Castellanos, 2014)

Con la European Partners for the Environment (EPE), con el apoyo del Directorio General Empresarial de la Comisión Europea (antiguamente DG III), el WBCSD lanzó la iniciativa Europea de eco-eficiencia (EEEI) en 1998. En los primeros dos años, la iniciativa ha logrado los objetivos de: promover la comprensión y el uso de la eco-eficiencia a través de toda Europa, apoyar y facilitar las iniciativas nacionales, y crear planes de acción de eco-eficiencia.

En algunos países asiáticos como China también se ha implementado la eco-eficiencia como un instrumento para el análisis de la sostenibilidad, indicando el grado de eficiencia de la actividad económico – ambiental en lo que respecta a los bienes y servicios. Se utilizó esta herramienta en el sector industrial mediante el desarrollo de modelos basados un análisis envolvente de datos (DEA) como una solución para la agregación de un sistema abarcador de indicadores que muestran las salidas no deseadas de cualquier proceso (residuos o emisiones), utilizándose además de indicadores ecológicos también económicos como: entrada de los recursos hídricos, de materia prima y de energía y para la parte de impacto ambiental, se optó por los indicadores de presión ambientales (por ejemplo, emisión de CO₂). Se manejaron datos reales de 30 provincias del país pertenecientes a este sector. Los resultados indicaron que solo seis provincias: Tianjing, Shanghai, Guangdong, Beijing, Hainan y Qinghai son relativamente eco-eficientes.(Zhanga et al., 2008)

En los países de América Latina, la aplicación de la estrategia de eco-eficiencia ha sido entusiasta aunque limitada y específica, en muchos casos motivada por las propias corporaciones trasnacionales. Sin embargo, ha sido útil para impulsar una mejor gestión ambiental e impulsar la asociatividad en la industria, incluida la pequeña y mediana empresa. Destacables son algunas experiencias a nivel local que intentan aunar esfuerzos entre sectores productivos y gobiernos provinciales o

municipales así como en materia de consultoría especializada, la cooperación internacional y el mundo académico. En el Anexo 4 se muestra una tabla que presenta una breve descripción de las acciones desarrolladas en algunos países de América Latina y el Caribe.

1.1.4. La eco-eficiencia en estudios cubanos

En Cuba existe una extensa agenda de trabajo encaminado a la gestión medioambiental impulsada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, así como sus instituciones adscritas, como pueden citarse las Unidades de Gestión Ambiental existentes en todas las provincias del país, los Centros de Estudios y Servicios Ambientales, entre otras.

Las empresas cubanas son supervisadas directamente por las unidades de medio ambiente de sus respectivos territorios, y se realiza asesoría en temas relacionados con la gestión ambiental de sus procesos productivos y de servicios.

Sin embargo, no existen evidencias de implementación de un sistema de gestión ambiental que involucre los conceptos de desarrollo ambiental al mismo tiempo que el desarrollo económico. No existe una filosofía empresarial con enfoque de eco-eficiencia, que produzcan mejoras en la actividad productiva a lo largo de toda la cadena productiva, desde el suministro, la manufactura hasta los clientes y el consumidor final. (Cancio et al., 2014)

En el contexto actual de actualización del modelo económico cubano es preciso un nuevo enfoque de manejo de los sistemas de gestión, que incorporen las oportunidades de eco-eficiencia en el centro de las agendas políticas y empresariales en los distintos territorios del país y a lo largo de todo el entramado empresarial cubano.

Ha sido precisamente en la academia donde se han gestado los primeros estudios que abordan el tema de la eco-eficiencia en Cuba. Un grupo de investigadores de la Universidad de Oriente y la Universidad Técnica de Esmeraldas Luís Vargas de Ecuador realizaron un análisis crítico a varias experiencias dedicadas a evaluar la

eco-eficiencia empresarial; en el mismo se exponen oportunamente varias prácticas nacionales publicadas hasta el momento:

- Pérez A. (2011), efectuó un estudio teórico y empírico con el objetivo de mejorar el desempeño ambiental del mantenimiento en las fábricas de azúcar crudo cubanas. El procedimiento propuesto consta de dos etapas: primero, la determinación de los costos de operaciones; y segundo, la determinación de la influencia ambiental considerando cuatro aspectos de eco-eficiencia: consumo material, consumo de energía, reciclado de material y contaminación; no se proponen indicadores que sigan el esquema correlacional de los análisis de eficiencia.
- Silva Y. (2011), ofreció un estudio teórico y empírico cuyo objetivo fue proponer un enfoque metodológico para el control de costos ambientales con criterio de eco-eficiencia en empresas de la Industria Química de Nuevitas, Camagüey, Cuba. Se afilió al concepto del WBCSD para proponer una serie de indicadores que, aunque fueron utilizados esencialmente para el manejo eficiente de los recursos y sus costos, pueden emplearse como medidas de eco-eficiencia, ya que siguen la estructura de correlaciones, pero estrictamente con parámetros económicos y ambientales.
- López E y otros (2011), realizaron un estudio empírico con el objetivo de evaluar el estado de aplicación de las diferentes prácticas de eco-eficiencia en hoteles escogidos y su incidencia en el Manejo Integrado de Zonas Costeras de Varadero, Cuba. Sin definir ni afiliarse a ningún concepto no propusieron indicadores sino que, a partir del criterio de expertos, valoraron el estado de aplicación de 18 prácticas eco-eficientes, algunas de las cuales incluyen criterios sociales.
- Álvarez y Duany (2011), utilizaron siete indicadores de calidad ambiental para medir el impacto sobre la eco-eficiencia de una empresa agropecuaria, la UEB “Álvaro Barba Machado, Las Tunas”, no realizaron aportaciones en el orden de la conceptualización ni incluyeron parámetros sociales.

- González (2014) realizó un estudio a partir del análisis crítico del estado del arte sobre la categoría eco-eficiencia empresarial. Las conclusiones esenciales del estudio se refieren a que una empresa eco-eficiente es aquella que alcanza al unísono la eficiencia económica, la ambiental y la social; por lo que la medición de la eco-eficiencia debe realizarse como una sumatoria algebraica de los niveles específicos de cada una de las eficiencias.
- González y Morales (2015) llevaron a cabo un estudio en el astillero DAMEX en Santiago de Cuba para evaluar la interacción entre la eco-eficiencia empresarial y los actores del desarrollo local sostenible, obteniendo como resultados: el desempeño de la empresa es eco-eficiente, indicando que su proceso productivo no afecta significativamente el entorno ambiental y social donde está enclavada, aunque la eficiencia económica posee una tendencia decreciente, lo que puede comprometer la eficiencia social y la ambiental en un mediano plazo; en un entorno donde el actor local que mayor influencia tiene en la conducta eco-eficiente es la Delegación Territorial del CITMA.

Existen reportes bibliográficos recientes que utilizan la herramienta de eco-eficiencia para demostrar la superioridad económica y ambiental del cemento cubano de bajo carbono:

- (García, 2014) estudia la factibilidad de sustituir potencialmente cemento P-35 por LC³ en una aplicación de edificación tipo Gran Panel IV Modificado, reparto Van Troi II de la ciudad de Caibarién.
- (Fuentes, 2014) Estudia la eco-eficiencia de un edificio construido con tecnología FORSA en el mismo reparto de Caibarién. Ambos trabajos demuestran la posibilidad de obtener incrementos de eco-eficiencia en torno al 50% como resultado de la sustitución absoluta del cemento tradicional por el cemento ecológico.
- (Vicente, 2014) analiza, por medio de tres escenarios combinados de utilización de diferentes tipos de cemento (P-35, PP-25 y LC³), el efecto eco-eficiente de un metro cuadrado de muro. En dicha investigación se utiliza información factual relacionada con la obra constructiva Pasaje de San Pedro,

de la ciudad de Santa Clara, la cual constituye la primera aplicación del LC³ en construcciones reales en Cuba. El autor demuestra la posibilidad de obtener un incremento de eco-eficiencia en torno al 45% mediante el uso de soluciones constructivas del cemento LC³.

- (Rodríguez, 2015) evalúa la eco-eficiencia de la cadena productiva de construcción de una vivienda, perteneciente a un sistema de 7 domicilios, ubicada en el reparto La Bolera, en la provincia de Sancti Spíritus. Para ello se sometieron a evaluación comparada dos escenarios posibles; el primero (real): utiliza los cementos P-35 y PP-25 y el segundo (supuesto) sustituye las cantidades del primero por cemento de bajo carbono.
- (Paradelo, 2015) realiza una prueba a escala semi-industrial a partir de la utilización del cemento bajo carbono para producir hormigón, elaborado en Empresa Constructora de Obras para el Turismo (ECOT) Cayo Santa María y en el Centro de Investigaciones para el Desarrollo de la Construcción (CIDC), donde se usaron áridos procedentes de las canteras El Purio en Villa Clara y La Victoria en La Habana.
- (Rojas, 2015) estudia la factibilidad de sustituir potencialmente cemento P-35 por LC³ en una aplicación de edificación tipo Biplanta GP-IV Modificado, ubicada en la zona de desarrollo reparto Aeropuerto en la ciudad de Caibarién.

Más adelante se profundizará en las nociones básicas del cemento de bajo carbono.

1.2. Cadena productiva: concepto y enfoques fundamentales

La literatura a escala internacional referencia algunos aportes a la conformación del concepto actual de cadena productiva, desde (Hirschman, 1958), pionero en plantear el tema de los eslabones o enlaces sobre el desarrollo económico, proponiendo la existencia de “encadenamientos” de cooperación entre empresas, expresándose los mayores niveles de generación de riqueza en las economías industrializadas del primer mundo. La clave de tales encadenamientos reside en la capacidad empresarial para articular acuerdos contractuales o contratos de cooperación, al

facilitar y concebir de forma más eficiente los procesos productivos, los encadenamientos hacia atrás representados por las decisiones de inversión y cooperación orientadas a fortalecer la producción de materias primas y bienes de capital necesarios para la elaboración de los productos terminados. Mientras, los encadenamientos hacia adelante surgen de la necesidad de empresarios de promover la creación y diversificación de nuevos mercados para la comercialización de los productos existentes (Hirschman, 1958) .

Más adelante (Porter, 2000), aborda la generación de ventajas competitivas dentro de la empresa, producida por la articulación eficiente de la misma alrededor de la “cadena de valor”, que va desde los proveedores de materias primas e insumos y termina con los servicios encargados de garantizar la satisfacción del consumidor final. En la década del noventa, se articulan estos elementos al diseño de políticas sectoriales y de apoyo empresarial en Latinoamérica bajo el esquema de cadena productiva.

Existen múltiples definiciones de cadena productiva según la literatura consultada, como (Montigaud, 1992); (Gereffi, 2001); (Gereffi et al., 2003); (RURALTER, 2004); (ONUDI, 2004); (Rodríguez et al., 2006); (Acampora y Fonte, 2007).

La cadena productiva es el conjunto de actividades estrechamente interrelacionadas, verticalmente vinculadas por su pertenencia a un mismo producto y cuya finalidad es satisfacer al consumidor (Montigaud, 1992), mientras (Gereffi, 2001), define dos tipos de cadenas productivas: las impulsadas por el productor y aquellas impulsadas por el comprador.

Según este autor, en las cadenas impulsadas por el productor, básicamente los sistemas productivos son creados por empresas transnacionales integradas verticalmente; esta cadena es característica de industrias intensivas en capital y tecnología. Las cadenas lideradas por el comprador son típicas en las industrias de bienes de consumo, intensivas en el trabajo como grandes comercios minoristas, firmas comerciales y empresas con marcas reconocidas. En este caso la producción se realiza en redes ubicadas por lo general en países subdesarrollados, que generan productos terminados para compradores extranjeros. Las rentas de este tipo de

redes se derivan de la combinación única de investigación, diseño, ventas, mercadeo y servicios financieros (Gereffi et al., 2003).

De otra parte la cadena productiva se define como un conjunto estructurado de procesos de producción que tiene en común un mercado y en el que las características tecno-productivas de cada eslabón, afectan la productividad y eficiencia de la producción en su conjunto (RURALTER, 2004);(ONUDI, 2004).



Figura 1.3.

Esquema de una cadena productiva. Fuente: Adaptado de (ONUDI, 2004)

Otros autores como (Rodríguez et al., 2006); (Acampora y Fonte, 2007), definen la cadena productiva como un conjunto de agentes y actividades económicas intervinientes en el proceso productivo, desde la provisión de insumos y materias primas, la transformación, producción de bienes intermedios y finales, y su comercialización en mercados internos y externos.

La cadena productiva integra un círculo cerrado en el que interviene el entorno con políticas, ambiente y cultura, donde interactúan los diferentes actores con sus relaciones y acciones, al jugar un papel fundamental los servicios de apoyo tanto de insumos, asistencia técnica, investigación, servicios financieros, entre otros, para la producción, transformación, comercialización y consumo final, existiendo múltiples ventajas en la fundamentación de las cadenas pues a mayor rentabilidad en la producción se obtienen mejores precios y se puede reducir los costos, permite el acceso a fuentes de financiamiento, insumos e información de mercados.

La cadena productiva está estrechamente relacionada con el análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto, contenida en la ISO 14040: 2006 pues esta es una herramienta analítica que busca estimar y evaluar los impactos medioambientales como: el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono, acidificación, entre otros que son atribuibles a un producto o servicio durante todas

las etapas de su vida, desde la extracción y retratamiento de las materias primas, la producción, la distribución y uso del producto final hasta su posible reutilización, reciclaje o deshecho del producto.

Según (Cancio et al., 2014), existe una gran analogía conceptual entre ambas categorías, pues este último rebasa las fronteras témporo-espaciales del primero, toda vez que considera la durabilidad del producto y su reciclabilidad. De manera que un análisis de eco-eficiencia implica el estudio riguroso de las relaciones técnico-económicas que se producen en toda la cadena productiva, indagando en las actuales y potenciales reservas de eficiencia económica y ambiental.

De ahí la importancia de realizar un mapeo de la cadena que permitirá conocer los diferentes procesos que se dan en su interior, identificar las funciones de los actores que participan, ubicar el movimiento de los productos, conocer instituciones y personas que dan apoyo e identificar los flujos de entrada y salida en cada punto crítico del sistema productivo, lo cual resulta determinante en el cálculo de costos, valor agregado, consumo de combustible, electricidad y otros flujos que son por naturaleza fuentes de emisiones ambientales.

En la actualidad, el crecimiento de las cadenas productivas en la industria de la construcción a nivel mundial es relevante, de ahí que su orientación a mediano y largo plazo, permita emplearse en diferentes esquemas a los utilizados a escala local. En la mayoría las cadenas productivas, tradicionalmente basadas en enfoques capitalistas, se trata de lograr vínculos entre las empresas extractivas, constructoras y manufactureras, tratando de obtener una mayor ganancia, restándole importancia a las necesidades reales de la población en desventaja económica y social.

La Figura 1.4. muestra la estructura de una cadena productiva prototipo en la industria de la construcción, se tuvo en cuenta diversos aspectos para su realización: la identificación de las principales materias primas que se requieren en la actividad constructiva que se utilizan como insumo en las empresas productoras de hormigón, el papel de las empresas transportistas así como el de las comercializadoras que sirven de intermediario hasta llegar a la empresa constructora y finalmente al destino final: el cliente.

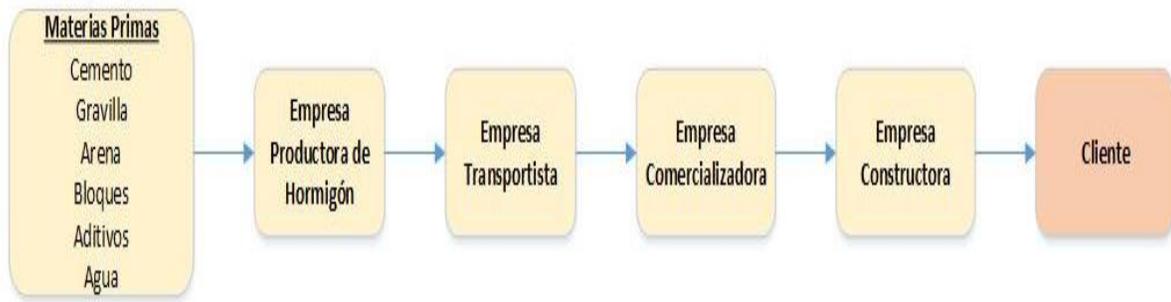


Figura 1.4. Diagrama de una cadena productiva en la industria de la construcción. Fuente:
Elaboración propia

La cadena productiva en dicha industria resulta de gran importancia, demostrada por la gran diversidad de aspectos, entre ellos se destaca los múltiples efectos de las ramas productivas localizadas en cada región, fuente de empleo permanente a trabajadores, representa un aumento importante en el mercado a menor escala sin disgregarlo en todos los segmentos y tipos de obra y constituye un significativo aporte de la localidad al producto interno bruto (PIB) del país.

Por tanto, una cadena productiva eficiente facilita la utilización eficaz del capital del trabajo desde el punto de vista de los medios empleados (bienes de capital), facilitando no solo el uso más eficiente de la materia prima, de inventario en proceso de fabricación y de inventario final, sino también optimizar el intercambio entre la disponibilidad de productos y costos de posesión de inventario. Finalmente busca asegurar a la empresa la disponibilidad del producto en el lugar y el tiempo especificados, al precio adecuado y con valor agregado para el cliente, como resultado de una mejor comprensión de sus necesidades; reflejadas en un aumento en el servicio y satisfacción de este.

Por las razones mencionadas (Cancio et al., 2014), establece como una etapa crucial del procedimiento por él propuesto, la caracterización de la cadena productiva asociada al sistema constructivo objeto de evaluación. Esta fase posee relevancia en la evaluación de eco-eficiencia, puesto que es justamente en la cadena productiva donde se producen los flujos de materiales, energía y valor, los cuales resultan esenciales en el balance del flujo de materiales requerido en función de la

determinación de emisiones ambientales y del valor agregado que se produce en el entramado de la red física del sistema productivo. La descripción de todos los entes vinculantes de la cadena, su rol en el sistema y la determinación de las funciones específicas en cada nodo; permitirá un atinado trazado de la cadena, que en muchas entidades de la industria de la construcción nacional no está documentado.

La diagramación de los vínculos entre los entes económico-productivos y las precisiones acerca de sus procesos transformativos permitirá evaluar la asignación de los flujos de entrada y salida durante todo el recorrido del sistema-producto. En ocasiones la adquisición de determinado insumo productivo puede ser tomada como una simple entrada del proceso, sin embargo, en rigor, dicho insumo es el resultado un proceso transformativo para convertirse en los materiales que posteriormente son utilizados en las soluciones constructivas. Es importante apuntar que la trazabilidad del producto es el principio más riguroso que podría coadyuvar a cálculos más precisos de emisiones ambientales, de costos y de valor agregado.

En tal sentido, resulta incuestionable la utilidad de caracterizar los encadenamientos que se generan en el sistema productivo y la identificación de las regularidades que caracterizan los nexos productivos entre los nodos de operación. Este análisis es fundamental para la determinación de alternativas que pueden surgir en el entramado del sistema de valor, con objetivo de hacer más eficiente el proceso de agregación de valor hacia el producto final. De las interrelaciones técnico-productivas podrían emerger potenciales fuentes de reservas de eficiencia en el uso y manejo de los recursos, lo cual tributaría favorablemente a la evaluación de eco-eficiencia. El mecanismo económico por el cual se rigen los procesos productivos en toda la red logística, más allá del aprovisionamiento y la distribución en sí mismos, constituye un elemento de obligado análisis en el sentido optimizador.

1.3. Hormigón y cemento: sus relaciones técnicas, económicas y ambientales

El patrimonio construido por el hombre está constituido en un 90% de hormigón, cuyo componente principal es el cemento. Tanto la producción como el consumo de ambos materiales, se asocian con el nivel de desarrollo de un país, sin embargo,

ellos son también responsables de la degradación ambiental del planeta, debido fundamentalmente a la explotación intensiva de recursos no renovables, materias primas y combustibles, y la emisión de grandes volúmenes de gases de efecto invernadero (Pierre, 2008).

El hormigón, tal como se conoce hoy día, es un material de construcción constituido básicamente por rocas (áridos), de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones en cuanto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas entre sí por una pasta aglomerante hidráulica formada por un conglomerante (cemento) y agua. Es el segundo material más usado por el hombre, después del agua. Se estima que por cada habitante del planeta se producen como promedio 3 toneladas de hormigón cada año (Aylard and Hawson, 2002).

No se vislumbra aún ningún otro material de construcción que compita con el hormigón en cuanto a versatilidad para conformar estructuras y economía. El hormigón es además un material amigable con el medio ambiente, admite incorporar en su fabricación subproductos y desechos de otras industrias, puede tener largos plazos de vida útil y es reciclable al finalizar la misma. Las estructuras de hormigón son competitivas cuando se comparan con otros materiales como las estructuras metálicas, no sólo por sus costos iniciales, sino incluyendo las necesidades de mantenimientos y reparaciones. Incluso en el campo de los pavimentos, los de hormigón (pavimentos rígidos) tienen ventajas competitivas importantes cuando se les compara con los asfálticos y además se puede utilizar el hormigón como alternativa para la reparación de pavimentos.

Sin embargo está reconocido a nivel mundial que el hormigón tiene que superar importantes desafíos para mantener su primacía como material de construcción (Howland, 2013):

- Su industria es fragmentada y diversa, muy lenta para investigar nuevas opciones tecnológicas, reacia a invertir en investigación y vacilante para adoptar las nuevas tecnologías.

- Hay que trabajar en la reducción del consumo energético y las emisiones en la producción del cemento: Se emite cerca de una tonelada de CO₂ por cada tonelada de clínquer producida.
- Es imprescindible también reducir el consumo energético en el transporte del cemento y el hormigón que consume entre el 20 al 50% del costo final del hormigón.
- No existen fuentes centralizadas de información sobre el desempeño real y la vida útil de los productos y las estructuras de hormigón, lo que dificulta la evaluación de su impacto.
- La industria del hormigón opera sobre la base de prescripciones en lugar del desempeño.

O sea la producción industrial de hormigón tiene un importantísimo impacto energético en la economía de un país y muy especialmente en la construcción.

El cemento Portland ordinario –el aglomerante más utilizado en todo el orbe en la producción de hormigones- contiene aproximadamente un 88% de clínquer, material resultante de la calcinación de la piedra caliza y otras arcillas a no menos de 1450°C. Este resulta un proceso intensivo en energía. Al decir de Patel (2013), cada tonelada de cemento producida emite aproximadamente 0.8 toneladas de CO₂, y la producción de cemento es responsable del 8% de las emisiones globales de carbono.

Considerando al hormigón como el material de construcción más utilizado, se vuelve inmediata la consideración del alto consumo de materiales que ello implica, por lo que la necesidad de estudiar una alternativa más viable: el eco-material resulta fundamental en el momento de lograr un incremento de la sustentabilidad en la tecnología del hormigón.

Los eco-materiales son materiales viables económico y ecológicamente, surgen como una alternativa de producción para los países en vías de desarrollo; poseen características similares a los materiales de construcción tradicionales, pero fabricados en pequeñas cantidades, con tecnologías apropiadas, empleando recursos y materias primas locales, (Martirena, 2005).

Desde 1994, un grupo de investigadores de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas pertenecientes al CIDEM unieron sus estudios al desarrollo de tecnologías de construcción de viviendas menos costosas usando materiales del entorno (Ribala et al., 2009). En el año 2007 este centro con el proyecto “Eco-materiales en proyectos de vivienda social, Cuba” recibió el Premio Mundial del Hábitat, por lograr desarrollar materiales de construcción innovadores y medioambientalmente sostenibles, con la participación de la colaboración suiza en proyectos de investigación y desarrollo.

En el año 2015 se logró fabricar un tipo de hormigón a partir de la utilización del cemento bajo carbono (eco-material, explicado más adelante) a escala de prueba semi-industrial donde se analizó el comportamiento mecánico, específicamente la resistencia a la compresión, de hormigones elaborados con este tipo de cemento en la Empresa Constructora de Obras para el Turismo (ECOT) Cayo Santa María y en el Centro de Investigaciones para el Desarrollo de la Construcción (CIDC), demostrándose que las nuevas formulaciones del LC³ son efectivas en la producción de hormigón, al tener un comportamiento mecánico igual o superior al hormigón producido con la serie patrón P-35. (Paradelo, 2015).

En la actualidad se está desarrollando un tipo de hormigón ecológico fabricado a partir de residuos industriales como plástico y papel, y nanomoléculas de sílice. Surge de la problemática ambiental y social que se deriva de la producción, almacenamiento y generación en grandes cantidades diarias de residuos industriales. Este nuevo material de construcción, además de ser reciclado y mucho más ligero que el hormigón convencional, se utiliza para la fabricación de hormigones ultraligeros que cumplan con los estándares de resistencia y durabilidad, contribuyendo a la sostenibilidad medioambiental, gracias al ahorro de recursos naturales y de energía en su fabricación, a sus propiedades térmicas, que contribuirán a la reducción del consumo energético de los edificios, contribuyendo de forma innovadora a la eco-sostenibilidad” (Parra, 2015).

En los últimos años el CIDEM ha desarrollado un nuevo tipo de cemento mezclado el cual tiene una producción relativamente baja en carbono, conocido por la comunidad

científica como LC³ (Limestone Calcined Clay Cement), y bajo la denominación oficial en Cuba de SIG-B45 obtenido en una prueba industrial en el año 2013. Este novedoso aglomerante excede los límites de sustitución de clínquer establecido en la NC 96: 2001, pero a diferencia del CP-40 alcanza una alta resistencia a la compresión, así como una reducción significativa tanto en los costos de producción como en las emisiones de CO₂ en comparación con el P35.

1.3.1. El Cemento de Bajo Carbono (LC³) como alternativa eco-eficiente.

El "Cemento de Bajo Carbono" es una formulación novedosa desarrollada por un equipo técnico del Centro de Investigación y Desarrollo de Estructura y Materiales de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, CIDEM y del Instituto Federal de Tecnología de Lausana, Suiza.

Para la producción de este cemento en condiciones industriales se utilizó la arcilla de Pontezuela. Esta arcilla tiene un contenido de material arcilloso multi-componente superior al 80%, al que se le confiere una alta superficie específica, además contiene aproximadamente 10% de cuarzo. Posee un contenido máximo de caolinita del 46% lo que califica a la arcilla como de baja pureza.

El LC³ es un tipo de cemento mezclado capaz de sustituir hasta un 40% del clínquer (uno de los componentes más costosos) del cemento Portland ordinario (CPO) por el material cementicio suplementario (MCS) llamado metacaolín (MK), obteniéndose de la calcinación de la arcilla caolinítica a una temperatura de entre 650-800°C. Está compuesto por 30% de metacaolín (MK), 15% de caliza, 7% de yeso y solo 48% de clínquer (CK). Según los resultados de resistencia a la compresión, el cemento obtenido clasifica como PP-25 y el desarrollo de la resistencia de 7 a 28 días presenta un factor de crecimiento del 1.7 produciéndose así un nuevo tipo de cemento más ecológico y económico. (Vizcaíno, 2014). La Figura 1.5. muestra la composición de los principales tipos de cementos fabricados en Cuba.

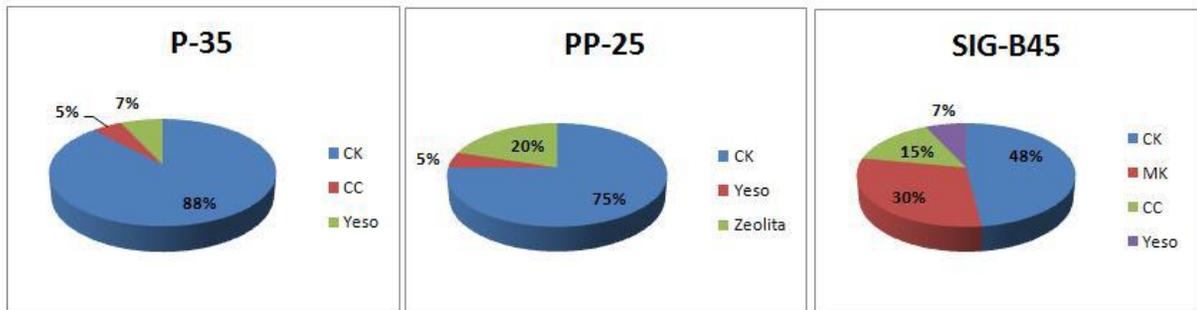


Figura 1.5. Composición de los principales tipos de cemento fabricados en Cuba. Fuente: Adaptado de (Martirena H, 2013), (Sánchez, 2015) y (Cancio D, 2014)

La utilización de metacaolín (MK) como aditivo en la producción de cementos constituye una de las medidas de sustentabilidad económica y ambiental de la industria cementera, es uno de los MCS más estudiados por las ventajas en el ahorro de recursos energéticos y la disminución de las emisiones de CO₂ que provoca su utilización como sustituto de una porción de clínquer. Constituye un aluminosilicato activado térmicamente, que se produce al calcinar el caolín a las temperaturas antes referidas; con esta temperatura se hace una transformación de su estructura cristalina que al perder el agua combinada por la acción térmica destruye la estructura cristalina del caolín (Alujas, 2010).

Según (Martirena, 2013) la fórmula de cemento desarrollada permite triplicar los niveles actuales de sustitución de clínquer que logra la industria de cemento en Cuba (alrededor del 15-18% en el cemento PP-25), para producir un cemento de similar resistencia y una resistencia muy superior a la penetración de agentes, que pueden producir daños en la matriz de hormigón. Permite minimizar alrededor de un 15% los costos de producción (Figura 1.6.) y en 30% las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Figura 1.7.)

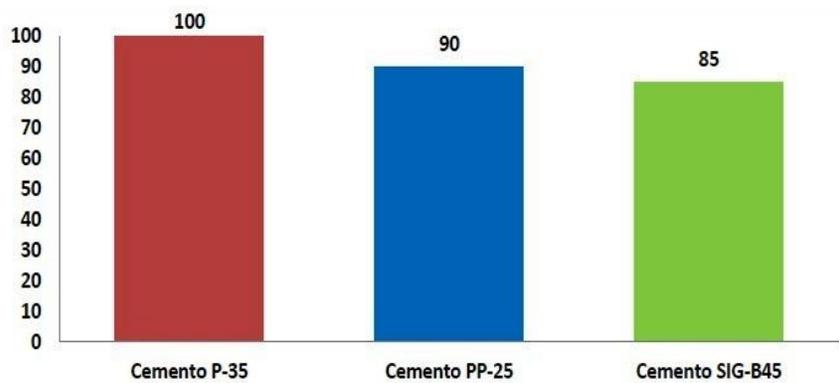


Figura 1.6. Reducción de los costos totales con respecto al cemento P-35 (%). Fuente: Adaptado de (Vizcaíno, 2014)

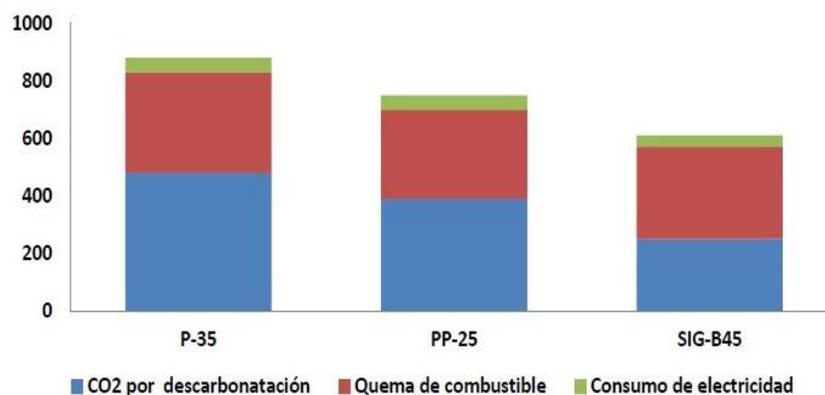


Figura 1.7. Emisiones de CO₂ asociadas a la producción de P-35, PP-25 y SIG-B45. Fuente: Adaptado de (Vizcaíno, 2014)

Aproximadamente cinco toneladas de este cemento se destinaron a la fabricación de bloques en el Taller de eco-materiales de Manicaragua. Se produjeron aproximadamente 250 bloques de 10cm, quedando disponibles 4 toneladas que se encuentran en la actualidad almacenadas para producir el resto de los bloques requeridos para aplicaciones prácticas en viviendas prototipo. Posteriores evaluaciones de eco-eficiencia se pretenden realizar a escala de este tipo de edificación por el equipo de investigadores del CIDEM.

Se produjeron baldosas que fueron utilizadas en la ampliación del parque ubicado frente al comedor central de la Universidad Central de Las Villas. Hoy se acometen investigaciones para estudiar las prestaciones de este elemento en este tipo de solución constructiva.

En la obra PSP, se emplearon 20 toneladas de LC³ para la elaboración de morteros en las actividades constructivas, tal como se explicará más detalladamente en los capítulos II y III.

Veintidós toneladas de LC³ fueron dirigidas a la Empresa de Producción Industrial UEB Remedios para fabricar elementos necesarios en las pruebas de laboratorio realizadas, así como para ubicar en los sitios de exposición de la Cayería Norte con fines investigativos sobre la durabilidad de las estructuras con LC³.

El Anexo 5 muestra los usos y destinos del cemento de bajo carbono producido en el 2013.

1.3.2. Producción de materiales de la construcción en Cuba

La industria de la construcción ocupa un lugar preponderante y un papel decisivo en los procesos transformativos a escala del sistema de relaciones socioeconómicas. En dicho sistema, el hormigón constituye un material de crucial importancia, por constituir el compuesto fundamental de cualquier sistema constructivo.

En Cuba la producción de hormigón se caracteriza por ser en un 80% de manera industrializada cuya máxima marca de resistencia es 30 MPa, en la que se utilizan aditivos químicos, aunque no se aprovechan sus potencialidades, dado que los rendimientos de cemento más frecuentes son inferiores a 0,8 y casuísticamente se utilizan materiales cementicios suplementarios de importación.

En el país, la producción de este ha aumentado hasta llegar cerca de los 200 mil m³ en la actualidad, siendo la provincia de Villa Clara la que produce la quinta parte del hormigón debido fundamentalmente a la dinámica inversionista de las obras turísticas ubicadas en la Cayería Norte. Este hormigón es producido fundamentalmente en las fábricas: Chiqui Gómez, en el municipio de Santa Clara y la UEB Prefabricados de Remedios perteneciente a la EPI VC.

Una de las principales direcciones de la política energética en Cuba es la elevación de la eficiencia energética industrial a partir de la utilización racional de los portadores energéticos, el ahorro de energía eléctrica y la utilización de los grupos electrógenos como alternativa al trabajo de grandes centrales termoeléctricas.

La elevación de la eficiencia energética en la producción industrial de hormigón, requiere en primer lugar el lograr la caracterización de este sistema de forma integral y se han ido dando pasos importantes en el Ministerio de la Construcción para lograr esta integralidad, que depende de factores no sólo tecnológicos, sino también aprovecha las reservas que nos aporta la actividad de investigación-desarrollo, la innovación tecnológica, la capacitación de la fuerza laboral y el control administrativo.

En términos constructivos, existen elementos que resultan claves en cualquier obra a acometerse, desde las más grandes edificaciones modernas hasta una pequeña vivienda de mampostería: no se hubieran hecho realidad sin la utilización del cemento.

El cemento es el conglomerante más utilizado en la producción de hormigones, es el responsable de la unión entre los materiales y, por ende, el ingrediente activo de la reacción química, la cual no logra producirse en ausencia de agua. Constituye un indicador de importancia suprema para reflejar la situación económica de un país. Es un material fundamental en el crecimiento de la infraestructura a nivel mundial.

Cuba fue el primer país que produjo cemento en América Latina (1895). En 1958 se alcanza un record de producción de 4,27 millones de toneladas. En 1960 el gobierno cubano nacionalizó todas las fábricas de cemento y pasaron a control estatal. La inversión del gobierno cubano en las plantas de cemento permitió incrementar el procesamiento de roca y con esto aumentar la producción.(Castellanos, 2014). En los años 80 se produce un estancamiento y un decrecimiento de las capacidades a partir del año 2000, como reflejo de la crisis económica de los años 90, donde la carencia de piezas de repuesto, insumos y capital para mantenimiento y reparaciones afectó la productividad y eficiencia de la industria cubana en general. No obstante se puede observar una estabilización en la producción de cemento en los últimos años. La capacidad instalada que se asume es de 5510.4 miles de toneladas de cemento al año.(Pérez, 2015).

Actualmente existen en el país seis fábricas de cemento:

1. Cementos Cienfuegos S.A. es una sociedad mixta. La fábrica fue inaugurada en 1980 con el nombre de Carlos Marx. Cuenta con tecnología

alemana. Tiene una capacidad para producir 1,5 millones de toneladas de Clinker y cemento al año.

2. Fábrica de cemento del Mariel. Inaugurada con el nombre de René Arcay. Inaugurada en 1918. Desde 1973 hasta 1981 se modernizó con equipamiento español. Hasta el año 2001 la fábrica operaba sin filtrar los gases de escape, y expulsaba a la atmósfera entre 60 y 70 toneladas diarias de cemento.
3. Fábrica de cemento Siguaney (Provincia de Sancti Spíritus). Inaugurada en 1971.
4. Nuevitas (26 de Julio). Inaugurada en 1968.
5. Mártires de Artemisa. Inaugurada en 1921.
6. Santiago de Cuba (José Mercerón). Construida en 1955.

Por la importancia que tiene el sector de la construcción para el desarrollo del país se hace necesario potenciar las inversiones en el mismo, con el fin de incrementar la producción de materiales (cemento y hormigón) y a su vez buscar alternativas más eco-eficientes que reporten ahorros económicos, disminuyan la contaminación medioambiental y represente un beneficio para la sociedad.

En los últimos años el aprovechamiento de la capacidad instalada de cemento en el país se ha mantenido en el entorno del 43% debido, en lo fundamental, al deterioro tecnológico de las fábricas de proceso húmedo. Las fabricas más modernas (proceso seco), son las que sostienen el 67% de la producción anual de cemento en Cuba.

1.4. Conclusiones Parciales del Capítulo

1. La eco-eficiencia debe ser entendida como el proceso sistemático de crear mayor valor económico derivado de la actividad productiva, reduciendo simultáneamente el impacto medioambiental provocado por dicho producto o servicio.
2. Las cadenas productivas son la base para analizar la eco-eficiencia de un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida, en ella se materializan

los flujos de materias primas y el valor de modo que puede evaluarse la productividad y eficiencia del ciclo productivo.

3. La producción de hormigón mediante la utilización de materiales ecológicos, como el cemento de bajo carbono, podría atenuar los impactos ambientales y contribuiría a la reducción de costos de producción.
4. El desarrollo del LC³ así como la potencial introducción en el mercado de este producto deviene para Cuba en la posibilidad de generar un material de alta demanda en la economía nacional a un precio presumiblemente más bajo y con una contribución ecológica de ancho margen con respecto al uso de cementos tradicionales

Capítulo 2

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA

El presente capítulo expone el cuerpo metodológico empleado para la obtención de los resultados investigativos de la tesis. En un primer apartado se expone el procedimiento diseñado por (Cancio and Jiménez, 2016) para evaluar la eco-eficiencia de sistemas constructivos, el cual es aplicado en la investigación y cuyos resultados se exponen en el capítulo tercero. En un segundo epígrafe se exponen los fundamentos analíticos del método Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el cual se utiliza para la evaluación de los impactos ambientales de las unidades funcionales analizadas y en un último epígrafe los principales elementos del SimaPro 8 como soporte informático aplicado a dicho método.

2.1. Procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en sistemas constructivos

El procedimiento descrito en la Figura 2.1 tiene como referente inmediato una primera versión del mismo, desarrollado por el propio autor en 2014. A su vez, el mismo adopta como principios centrales las ideas conceptuales expuestas en la norma ISO 14045 (2012), la cual constituye el primer documento que propone la estandarización de la instrumentación de la eco-eficiencia.

El procedimiento consta de 7 fases, las cuales se reflejan en la figura 1 y se explican a continuación en este epígrafe.

La Norma ISO 14 045: “Gestión medioambiental. Evaluación de eco-eficiencia de un sistema productivo. Principios, requerimientos y directrices”, ha servido de plataforma metodológica para diversas aplicaciones, sin embargo, tiene un carácter general, esto es, puede ser aplicada a cualquier producto o servicio y a cualquier sector productivo de bienes y/o servicios. Ello origina la necesidad de desarrollar instrumentos más contextualizados tanto a sistemas productivos enmarcados en sectores económicos específicos, como a espacios geográficos determinados. Hoy en día la eco-eficiencia se instrumenta en cientos de empresas y países, sin embargo, las condiciones propias del sistema socioeconómico cubano determinan

nuevos requerimientos para la evaluación de eco-eficiencia, de manera que se puedan ofrecer coherentes y utilitarias interpretaciones.

Objetivo del procedimiento: Diseñar un instrumento metodológico para realizar evaluaciones de eco-eficiencia en edificaciones cubanas.

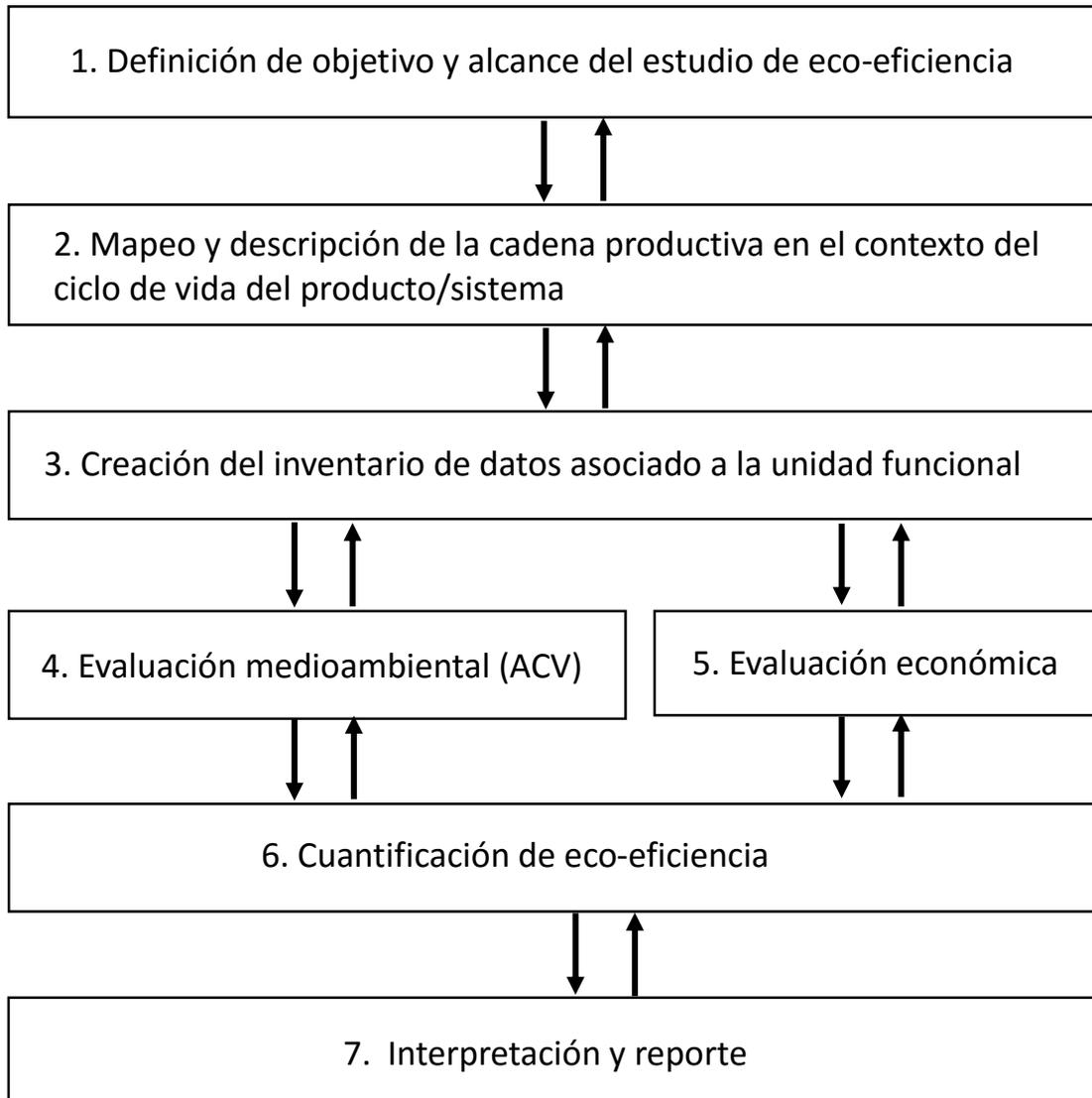


Figura 2.1. Procedimiento de eco-eficiencia en sistemas constructivos. Fuente: (Cancio and Jiménez, 2016)

Fase 1. Definición de objetivo y alcance del estudio de eco-eficiencia

La fase 1 establece los límites de sistema con que se operará en el estudio de eco-eficiencia, declarando la(s) unidad(es) de análisis y el alcance.

En esta etapa se declara la obra objeto de estudio práctico, tipificando si es un edificio multifamiliar, apartamento, vivienda independiente. Se enuncian todos los aspectos identificativos de la obra, su clasificación como sistema constructivo, tecnología constructiva empleada y las características esenciales que lo distinguen de otros sistemas.

En un segundo momento se define el alcance del estudio o límites del sistema (sistema estructural, función y unidad funcional). En esta etapa debe quedar declarado el ámbito del estudio de eco-eficiencia. Como se trata de obras constructivas, el límite del sistema a analizar dependerá del sistema estructural que comprenderá el estudio. Se puede alcanzar, en el más abarcador escenario, una edificación en su totalidad, o en su defecto, dependiendo de las condiciones concretas, se podría analizar un sistema estructural compuesto por paneles y losas, una unidad habitacional, un metro cuadrado de muro, un metro cuadrado de superficie de suelo, entre otras especificaciones posibles.

Esta etapa es crucial porque de ella dependerá la definición de aquellos datos de entrada requeridos para el cálculo de los indicadores de eco-eficiencia. La función dependerá del desempeño para el cual se produce el resultado. En soluciones constructivas ello equivale, por ejemplo, a prestaciones como la resistencia mecánica del hormigón, la durabilidad de la estructura, siendo estas dos las propiedades más focalizadas por los ingenieros y otros especialistas que analizan los sistemas constructivos. Cuando se analizan viviendas, edificios, es común que se utilice como unidad funcional el metro cuadrado de superficie habitable, pues en definitiva se construye para ser habitada por personas.

Fase 2. Mapeo y descripción de la cadena productiva en el contexto del ciclo de vida del producto/sistema

Esta fase posee relevancia en la evaluación perseguida, puesto que es justamente en la cadena productiva donde se producen los flujos de materiales, energía y valor, los cuales resultan esenciales en el balance del flujo de materiales requerido en función de la determinación de emisiones ambientales y del valor agregado o costo que se produce en el entramado de la red física del sistema productivo.

Existe una relación entre los conceptos cadena productiva y ciclo de vida de un producto. En ocasiones se pretende analizar las prestaciones económicas y ambientales de un sistema constructivo más allá de la fase material, es decir, la vida de un edificio no termina cuando el mismo es demolido, pues el manejo de los residuos de construcción y demolición forman parte del ciclo de vida de los materiales empleados en la obra, muchos de los cuales pueden ser reciclados o reusados. Es por ello que en esta fase se debe especificar el fin último del estudio, el cual quedará reflejado en la cadena productiva. Algunos autores llaman al ciclo de vida que comprende el reciclado, cadena de producción extendida.

En esta fase se deben identificar todos los entes vinculantes de la cadena y su rol en el proceso de agregación de valor, declarando todas las entidades económicas que se involucran en la cadena de suministro, desde los proveedores de materias primas hasta la empresa constructora, pasando por la intermediación y las actividades de apoyo a la cadena central. Generalmente un gran número de actores se vinculan en el proceso constructivo de una edificación, con independencia de su tipología, debido a la propia naturaleza y complejidad del producto final y al sector productivo en el cual se circunscribe. Del correcto levantamiento realizado en esta etapa, dependerá en gran medida la calidad de las etapas subsiguientes.

Una vez identificados los eslabones de la cadena, se debe realizar mapeo de la misma por medio de un diagrama que permita el entendimiento de los procesos que ocurren al interior de la misma, esto es, el mecanismo de funcionamiento. El diagrama posibilita visualizar los vínculos entre los entes económico-productivos. De las precisiones acerca de los orígenes y destinos de los materiales y sus procesos transformativos dependerá en gran medida la correcta asignación de los flujos de entrada y salida durante todo el recorrido del sistema-producto.

Una obra utiliza el árido como materia prima o insumo productivo, que dependiendo del análisis concreto puede ser tomado como una simple entrada del proceso, sin embargo, en rigor, los áridos artificiales requieren de un proceso transformativo para convertirse en los materiales que posteriormente son utilizados en las soluciones constructivas. Similar punto de vista se aplica al bloque hueco de hormigón así como

a otros muchos elementos que bien pueden ser considerados como una simple entrada, o mejor podrían ser analizados en toda su trayectoria. Es importante apuntar que la trazabilidad del producto de la construcción es el principio más riguroso que podría coadyuvar a los más precisos cálculos de emisiones ambientales y de valor agregado, toda vez que el proceso se origina en las canteras o yacimientos de los materiales primarios.

Fase 3. Creación del inventario de datos asociado a cada unidad funcional

En esta fase se realiza el relevamiento de toda la información generadora de datos para la cuantificación de la eco-eficiencia. De una parte, las magnitudes asociadas a la caracterización/evaluación medioambiental, y de otra, las variables que caracterizan el desempeño económico. Este proceso transcurre a lo largo de toda la cadena productiva. Esta es la fase que determina los inputs necesarios para las fases 4 y 5.

Las cantidades físicas de materiales utilizados en la unidad funcional antes definida, la energía eléctrica, el combustible, así como las especificaciones relativas a la transportación de los materiales, son aspectos esenciales a identificar en esta fase. El concepto de dosificación (sea gravimétrica o volumétrica) desempeña un rol importante en los consumos físicos de materiales. Las dosificaciones no son estáticas. Aunque muchas vienen especificadas en normas o estándares nacionales, ellas varían con relación a los diseños estructurales, arquitectónicos, a la tecnología de construcción empleada, a la tipología de las viviendas, a la calidad de las materias primas utilizadas, entre otros factores. Es por ello que la dosificación es un aspecto crucial en esta fase. Las memorias descriptivas de los proyectos, los planos ingenieriles y otros materiales factuales asociados a las obras constructivas, resultan fuentes de datos, pero siempre es aconsejable la consulta a ingenieros y arquitectos, constructores a pie de obra, transportistas y todos los agentes que pueden dar soporte al levantamiento de datos.

En el inventario de datos de entrada, la energía consumida constituye un aspecto de gran relevancia, puesto que es un recurso no renovable por lo general, con un impacto ambiental considerable y un costo elevado. En ocasiones resulta una tarea

no sencilla, puesto que las unidades productoras muchas veces cuantifican la energía como totalidad en el proceso productivo, y no logran identificar dentro del surtido de producción la parte que corresponde a cada producto. De ahí que el papel de investigador radica en desarrollar métodos de prorrateo para poder identificar el consumo de energía con los productos y unidades funcionales que se están considerando.

La recepción de información relativa al consumo de combustible durante la transportación de materiales es un proceso análogo al que ocurre con la energía en los procesos transformativos. Los medios de transporte poseen una capacidad de carga, y una eficiencia de tráfico que varía en dependencia de varios factores. Este dato puede ser diferente en todos los entes de la cadena de suministro, por lo que la gestión de información debe ser más minuciosa aun que en las dosificaciones. La transportación desempeña un importante rol en la industria constructiva, debido al volumen de materiales que frecuentemente se requiere trasladar en cualquier proceso constructivo. Al resultar ser materiales pesados, el consumo de combustible es generalmente alto. Las distancias entre las canteras, los productos intermedios y la obra constructiva, son determinantes en la gestión de la productividad de los recursos empleados.

Para lograr un análisis serio del desempeño económico resulta imprescindible la inclusión de ciertos costos y gastos determinantes en los resultados de cualquier proceso productivo. La principal limitación a la hora de incluir los costos de mano de obra, capital y los costos indirectos de producción o fabricación consiste en el insuficiente nivel de detalle del registro contable.

Los estados financieros de las empresas suelen incluir en una gran "bolsa" tanto costos directos como indirectos clasificándolos por elementos, no así por su relación con el nivel de producción. En muchas ocasiones cargan gastos de ciertos subprocesos o actividades de apoyo al proceso sustantivo, por ejemplo, proceso fabril o de producción. Esto impone un reto al investigador, quien debe hacer una observación exhaustiva en los submayores de las cuentas y en los comprobantes de

operaciones para poder determinar que costos están directamente relacionados al proceso productivo de la empresa.

Otras variables relevantes para la evaluación del desempeño económico son los costos de capital; esta es otra tarea nada sencilla pues es preciso indagar por el valor de adquisición de cada activo fijo utilizado en el proceso productivo y su valor depreciable. El escenario actual revela que en el sector de la construcción un porcentaje considerable del equipamiento tiene muchos años de explotación al punto de haber rebasado su vida útil. Sin embargo, sería insensato no incluirlos en el análisis pues su papel en el proceso productivo es imprescindible. Por otra parte resulta muy difícil develar otros costos incluidos en la inversión inicial como costos de instalación o adaptación y difícilmente puede deducirse la utilización de capital de trabajo neto.

Fase 4. Evaluación medioambiental asociada a cada unidad funcional

La fase 4 y 5 se pueden desarrollar en paralelo, porque no son dependientes en datos de entrada y salida.

La fase 4 se destina a realizar la evaluación medioambiental asociada a la unidad funcional que se analiza. Esta evaluación constituye insumo esencial para la fase 6. La metodología internacionalmente aceptada para evaluaciones medioambientales se conoce con el nombre de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El ACV queda definido en la norma ISO 14040 (1997), y el proceso analítico para su instrumentación se estandariza en la norma 14044. Debido a que esta metodología posee un cuerpo conceptual riguroso, sus fundamentos se explican en un epígrafe independiente en esta misma tesis.

Al finalizar esta etapa se deben tener criterios sintetizadores del impacto ambiental asociado al sistema, producto o unidad funcional que se analice. Este criterio constituye input para la cuantificación de eco-eficiencia, ya que esta depende de la eficiencia ecológica y económica, simultáneamente. Cuando el propósito es comparar sistemas constructivos, materiales alternativos, diseños arquitectónicos, se debe garantizar que los supuestos de partida en el análisis sean comunes para todos los sistemas sometidos a comparación.

Fase 5. Evaluación económica asociada a cada unidad funcional

En esta fase se determinan los criterios económicos que caracterizan a los productos, sistemas o unidades funcionales que se someten a evaluación. Esta fase, conjuntamente con la anterior, proporciona los insumos esenciales de la cuantificación de eco-eficiencia. La eficiencia económico-ecológica viene determinada por la productividad de los recursos empleados. El proceso de creación de valor es fundamental en este sistema. Para determinar la eficiencia económica la literatura reconoce numerosos métodos, indicadores, ratios. Entre los más destacados se encuentran la utilidad, el rendimiento del capital, el valor agregado, el costo de producción.

En este procedimiento se propone utilizar el método del valor agregado, debido a que constituye la medida económico-productiva que más armoniza conceptualmente con el mecanismo de creación de valor al interior de una cadena de suministro.

El valor agregado es un concepto que ha sido presentado de manera polivalente en la literatura económica. A los efectos de la presente investigación, se asume por valor agregado el valor que se incorpora a un producto por medio de un proceso transformativo, lo cual es, en rigor, el valor que se crea en cada punto de la cadena. Se distingue entre valor agregado bruto y valor agregado neto. El valor total de la producción una vez deducido el consumo intermedio, se conoce por valor agregado bruto. El valor agregado neto resulta de deducir, además, el consumo de capital fijo.

El consumo intermedio es frecuentemente la suma del gasto material y otros gastos monetarios asociados al producto. En las empresas cubanas se establece un concepto adicional en el cálculo del consumo intermedio, conocido como financiamiento entregado a la Órgano Superior de Dirección Empresarial (OSDE), y se refrenda en el Estado de Valor Agregado que rinde la contabilidad empresarial.

Este procedimiento propone calcular el valor agregado neto para los análisis de eco-eficiencia, ya que este posibilita una interpretación más rigurosa del verdadero valor creado en cada punto de la cadena de suministro.

Nuevamente las disquisiciones conceptuales en la clasificación de los costos resultan esenciales en el análisis económico. El consumo intermedio debe ser identificado

para cada unidad funcional de que se trate, y esta unidad funcional es la agregación de componentes sucesivos a través de un proceso en cadena. Muchas veces no resulta evidente en las unidades productivas la contabilidad de los costos y su clasificación de acuerdo a las normas estandarizadas, de ahí que muchas veces se debe realizar un proceso de identificación con base en métodos tradicionales de asignación de costos.

El consumo intermedio viene determinado por un sistema de precios, de ahí la importancia de aplicar un sistema de precios homogéneo en toda la cadena.

Fase 6. Cuantificación de eco-eficiencia

En esta fase se produce la cuantificación de eco-eficiencia para la unidad funcional analizada, distinguiendo entre los sistemas que se desean comparar, a partir de las evaluaciones ecológica y económica realizadas en las fases 4 y 5.

La eficiencia económico-ecológica se determina por medio de un indicador, un ratio, o un sistema de indicadores. La literatura de eco-eficiencia propone indicadores generales y específicos, dependiendo del sector productivo y las particularidades de cada estudio.

Debido a que la categoría más importante dentro del impacto ambiental lo constituye la emisión de dióxido de carbono, por el potencial de calentamiento global que este determina, se propone emplear este resultado como medida sintetizadora del impacto ambiental, el cual se obtiene de la fase 4. De la fase 5 se obtiene el valor agregado neto, y se propone combinar ambos resultados en un ratio de eco-eficiencia dado por el cociente valor agregado neto/impacto ambiental agregado. Este último es medido a través de las emisiones de CO₂ que se incorporan cada vez que se va agregando valor económico al producto final de la cadena.

El mecanismo de cálculo de eco-eficiencia posibilita identificar los nodos de mayor y menor contribución a la productividad de los recursos empleados.

Se pueden calcular indicadores complementarios que ayudan a comprender mejor el uso de recursos no renovables, como por ejemplo, gran parte de la energía total que se consume. En este caso, el ratio energía consumida/valor agregado ofrece un

criterio de eficiencia en el uso energético. Un segundo ejemplo ilustrativo lo constituye el agua, que aunque es un recurso renovable, se encuentra en el centro de atención de los procesos de gestión, puesto que en los últimos años el cambio climático ha producido escasez de agua potable en numerosas regiones del planeta. De ahí que numerosos estudios de eco-eficiencia hoy en día incorporan el consumo de agua por valor generado.

Estos indicadores no son exhaustivos. Se pueden elaborar propuestas adicionales en dependencia de las características de cada estudio de caso.

En esta fase corresponde realizar análisis de sensibilidad, para evaluar la robustez de los resultados obtenidos cuando cambian los supuestos de partida, es decir, cuando se producen cambios en las variables de entrada.

Fase 7. Interpretación y reporte

Todos los indicadores calculados en la fase 6 se someten a interpretación en esta fase. La interpretación es el proceso de identificar conclusiones relevantes, regularidades, causalidades, a partir de los ratios de eco-eficiencia. Esta fase responde a las preguntas: ¿Qué material es más eco-eficiente? ¿Qué procesos resultan críticos en la maximización de la productividad de los recursos empleados? ¿Qué variables afectan más la eco-eficiencia? ¿Qué tecnología de construcción resulta más apropiada? ¿Qué tipología de vivienda o diseño estructural es más idóneo en términos de eco-eficiencia?

En dependencia de los usuarios finales del estudio, esta fase debe concluir con un resumen abreviado del perfil de eco-eficiencia del producto, proceso o sistema sometido a evaluación, de manera que pueda ser comprendido en síntesis sin necesidad de profundizar en todo el mecanismo de cálculo y todos los supuestos del estudio.

Como lo indican las saetas bidireccionales entre las fases del procedimiento, el mismo posee un carácter iterativo, es decir, se producen intercambios entre las fases, de manera que siempre es posible regresar para perfeccionar los resultados de las fases subsiguientes. En numerosas ocasiones el investigador se ve obligado a regresar, inclusive a la fase 1, para redefinir el alcance del estudio, tal vez la unidad

funcional, en dependencia de la disponibilidad de información relevante que vaya obteniendo. Otros factores que facilitan las iteraciones es la mayor comprensión del sistema que se analiza, lo cual permite redefinir conceptos y criterios en diversos momentos de la investigación.

2.2. Metodología de evaluación medioambiental: Análisis de Ciclo de Vida

El ciclo de vida medioambiental de un producto consiste en todas las etapas desde la extracción de materias primas hasta la final administración del desecho. Análisis de ciclo de vida (ACV) es, por consiguiente, la evaluación del impacto ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida (Baumann and Tillman, 2004). Este ha sido entendido como el procedimiento de determinar dichos impactos medioambientales.

Alternativamente, análisis del ciclo de vida (ACV) se define como la herramienta adecuada para la recopilación y valoración de las entradas (materia y energía), salidas (productos, emisiones y residuos) e impactos potenciales de un sistema o producto a lo largo de su ciclo de vida (Carvalho, 2001). Permite cuantificar el rendimiento medioambiental de los productos incluyendo el ciclo de vida completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesado de materias primeras, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición final.

Permite identificar oportunidades para mejorar el medio ambiente, el rendimiento de los productos en varios puntos en su ciclo de vida, facilita la planificación estratégica, la toma de decisiones, la comparación entre los productos para la comunicación interna o externa, el diseño de políticas públicas y comerciales, entre otras. La principal característica de esta herramienta es su enfoque holístico, es decir, que se basa en la idea de que todas las propiedades de un sistema no pueden ser determinadas o explicadas solo de manera individual por las partes que lo componen. Es necesaria la integración total de todos los aspectos que participan; de ahí el concepto de tener en cuenta todo el ciclo de vida del sistema.

La serie de normas ISO 14040-14044 constituyen el marco procedimental para la correcta instrumentación del ACV. Entre estos documentos, las normas principales

para el ACV son: ISO 14040: Principios y Marco y la ISO 14044: Requisitos y Directrices. El ACV propuesto en la ISO 14040:1997, está compuesto por cuatro etapas o elementos básicos: definición de objetivos y alcance, análisis del inventario, evaluación de impacto e interpretación. Estas fases no son simplemente secuenciales sino una técnica iterativa que permite ir incrementando el nivel de detalle en sucesivas iteraciones, sobre todo asociado a las limitaciones que el investigador va confrontando con relación a la adquisición de datos de entrada al análisis. De ahí que muchas veces sea necesario reconsiderar la unidad funcional con la que se está operando. Seguidamente se explica el contenido esencial de cada etapa.

Etapa 1: Definición de objetivos y alcance del estudio.

En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo, se efectúa una definición precisa del producto, la función que cumple, se establece la unidad funcional que describe la función principal del sistema analizado, los requisitos de calidad de datos, supuestos y limitaciones, la forma en que se comunican los resultados, el público al que está destinado, los componentes del ciclo de vida (extracción, transporte, almacenamiento, producción, consumo, reciclaje, disposición final de residuos), así como los límites del sistema que determinarán qué procesos unitarios se deberán incluir en el análisis. Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión y las limitaciones de obtención de datos. La correcta definición de esta fase determina, en gran medida, la consistencia del análisis que se pretende realizar.

Etapa 2: Desarrollo del inventario del ciclo de vida (ICV)

Esta fase comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional. De una forma genérica estos efectos ambientales se denominan "carga ambiental". Esta se define como la salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo, con esta definición se incluyen tanto

las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, etc.

En la terminología propia del método ACV se distinguen dos tipos de datos:

1. Los datos de primer plano, que son aquellos derivados directamente del producto y procesos analizados, los cuales dependen directamente de las cantidades de materias primas utilizadas, combustible, energía eléctrica. Son datos inherentes al sistema objeto de estudio, por lo cual le imprimen gran particularidad a los datos del ICV.
2. Datos de referencia, que son datos tomados directamente de bases de datos publicadas por instituciones reconocidas con prestigio en el análisis medioambiental de productos y procesos, así como de la literatura científica publicada. La característica esencial de este tipo de dato es su carácter genérico, lo cual permite su ulterior utilización por investigadores en trabajos futuros relacionados con evaluación de impactos ambientales. Por ejemplo, casi todo proceso productivo requiere combustible, pero el efecto ambiental derivado de la prospección petrolera en plataforma, es información generalmente desconocida por los usuarios del combustible en otras partes de la cadena productiva. Sin embargo, dicho impacto debe ser modelado en el estudio, toda vez que se utilice combustible en el proceso productivo.

Esta también debe contar con el diagrama de flujo sobre el proceso, (Prox, 2012), tomando como base el sistema de producción de la unidad funcional, agregando inmediatamente, los procesos adyacentes correspondientes, entre los que se encuentran: los procesos auxiliares, el transporte y el suministro de energía.

Etapas 3: Evaluación del impacto

La evaluación del impacto del ciclo de vida se define como la fase destinada a comprender y evaluar la magnitud e importancia de los impactos ambientales potenciales de un sistema asociado a un producto. Tiene por objetivo valorar los resultados del análisis del inventario del producto en cuestión, cuantificando los posibles impactos medioambientales (Casas, 2012). La estructura de esta fase está

determinada por la normativa ISO 14042 distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales.

Los elementos considerados obligatorios son:

1. Clasificación: Es un paso cualitativo mediante el cual las entradas y salidas se asignan a diferentes categorías de impacto basadas en el tipo de impacto esperado sobre el ambiente, es decir se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos
2. Caracterización: Es un paso cuantitativo en el que se evalúa la contribución relativa de cada entrada y salida en su categoría de impacto asignado y se totalizan las contribuciones dentro de cada categoría. Consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización de los datos de inventario para cada una de dichas categorías de impacto.

También existen una serie de elementos opcionales que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del estudio de ACV:

1. Normalización: Se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto a un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal. Muestra en qué medida un indicador de resultado categoría de impacto tiene un relativamente alto o bajo en comparación con una referencia.
2. Agrupación: clasificación y posible catalogación de los indicadores.
3. Ponderación: Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema. Es la medida más polémica y más difícil en la evaluación del impacto del ciclo de vida, solo se utiliza para la toma de decisiones internas.

4. Análisis de calidad de datos: ayudará a entender la fiabilidad de los resultados del AICV. Se considerará obligatorio en análisis comparativos.

Esto significa que de acuerdo con ISO, cada ACV al menos debe incluir la clasificación y caracterización. Si estos pasos no están incluidos, uno sólo puede referirse al estudio como un inventario del ciclo de vida (ICV).

En esta fase se seleccionan las categorías de impacto, los indicadores de categoría y los modelos de estimación. Esta elección depende en gran medida de la audiencia dirigida. Las categorías de impacto son los efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema producto en estudio. Estos efectos serán seleccionados y definidos teniendo en cuenta el potencial impacto que pueda generar el sistema o producto en estudio, de hecho estos son los objetivos y el alcance del ACV. Estas categorías se agrupan según parámetros asociados a los flujos de entradas y salidas del sistema.

Se han desarrollado numerosos métodos de evaluación de impacto estándar, entre los que pueden destacarse:

- Ecoindicador 95: Es un método basado en la " distancia al objetivo", esto no establece objetivos claros para definir niveles objetivos sostenibles. De ahí surge la necesidad de crear el Ecoindicador 99 para superar las deficiencias de este método.
- Ecopoints 97: Fue creado por Swiss Ministry of the Environment (BUWAL) en 1990, contempla seis categorías de impacto: Emisiones al aire, Vertidos en aguas superficiales, en subterráneas, Vertidos al suelo, uso de recursos y Residuos. Se basa en la " distancia al objetivo". Evalúa el impacto final y no dispone de paso de clasificación sino que evalúa los impactos de manera individual.
- Ecoindicador 99: Fue creado por Pré Consultants. Define el término medioambiente, según tres tipos de daños: a la salud humana, al ecosistema y a los recursos, y consta de once categorías de impactos: Carcinógenos, Respiración de Orgánicos, Respiración de Inorgánicos, Cambio Climático, Radiación, Capa de Ozono, Ecotoxicidad, Acidificación/Eutrofización, Uso del Suelo, Minerales y Combustibles Fósiles; y las categorías de daños son: Salud

Humana, Calidad del Ecosistema y Recursos. La ventaja del método es su facilidad de interpretación.

- EDIP/UMIP 96: Fue creado por Environmental Design of Industrial Products. Comenzó a desarrollarse en Dinamarca en el año 1996. Define diez categorías de impacto: Cambio climático, Acidificación, Residuos, Uso de recursos, entre otros.
- EPS 2000: Está enfocada en cuantificar el daño causado, evaluando la restauración de dicho daño desde un punto de vista económico. Incluye la caracterización y agregación y considera cinco categorías de impacto: salud humana, capacidad de producción del ecosistema, recursos abióticos, biodiversidad y valores culturales, incluye el ruido como una categoría de impacto.
- Impact 2002+: Fue creado por el Instituto de Tecnología federal suizo de Lausanne (EPFL). Resulta de una combinación entre las tecnologías IMPACT 2002, Ecoindicador 99, CML 2001 e IPCC. Contiene catorce categorías de impacto: Toxicidad humana, Efectos respiratorios, destrucción de la capa de ozono, Ecotoxicidad y Acidificación del suelo y acuática, cambio climático, entre otras.
- CML 2001: Fue creado por Centre of Environmental Science. En este se propone una lista de categorías de impacto clasificados en tres grupos según su obligatoriedad o no de incluirlas en los ACV: categorías de impactos obligatorias, categorías de impacto adicionales y otras categorías. Define 9 categorías de impacto: Agotamiento de recursos abióticos, cambio climático, destrucción de la capa de ozono, toxicidad humana, acidificación, eutrofización, uso de recursos, entre otras. No incluye explícitamente el ruido, uso de la tierra, y partículas finas.
- IPCC: Fue creado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, la categoría de impacto que define es el cambio climático. Este método que comenzó en 1988 recoge los factores de caracterización para el potencial de calentamiento global directo debido a las emisiones al aire.
- TRACI: Fue creado por Environmental Protection Agency (EPAUS). Fue desarrollado en 1995, supone una herramienta informática para la evaluación de las doce categorías que constituye el método: Destrucción de la capa de ozono,

Cambio climático, Smog fotoquímico, Acidificación, Eutrofización, Ecotoxicidad, Uso del Suelo, entre otros.

- ReCiPe 2008: Fue creado por Pré Consultants. Se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML 2001 y Eco indicador 99, la ventaja del método es su solidez científica, define 15 categorías de impacto ambiental, entre ellos la destrucción de la capa de ozono, toxicidad humana, radiación, formación de partículas, acidificación del suelo, eutrofización, entre otras. No incluye el ruido, y tiene una forma muy limitada de tratar con agua.

Estos son desarrollados por diferentes grupos de investigación en todo el mundo y no hay consenso todavía sobre cuál es el "mejor método" en realidad. Como resultado la mayoría de los profesionales de ACV parecen elegir un método sobre la base de la reputación, o peor aún, el método por defecto en el software que utilizan.

Existen multitud de categorías de impacto ambiental, y la selección de unas u otras en el ACV que se esté llevando a cabo dependerá del objetivo del estudio, público objetivo y nivel de exactitud de los resultados requeridos. Entre las categorías de impacto que más se utilizan en estos métodos se encuentran:

- Agotamiento de recursos abióticos: Disminución de la disponibilidad de recursos naturales, se incluye recursos abióticos y energía.
- Calentamiento Global: Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos. Su factor de caracterización es Potencial de Calentamiento Global (PCG).
- Consumo de recursos energéticos: Energía consumida en la obtención de materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado. Su factor de caracterización es: Cantidad Consumida.
- Reducción de la capa de ozono: Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica. Su factor de caracterización es: Potencial de Agotamiento de la Capa de ozono (PAO).
- Eutrofización: Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del

empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo de oxígeno del agua. Su factor de caracterización es: Potencial de Eutrofización (PE).

- Acidificación: Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. Su factor de caracterización es: Potencial de Acidificación (PA).
- Consumo de materias primas: Consumo de materiales extraídos de la naturaleza. Su factor de caracterización es: Cantidad Consumida.
- Formación de Oxidantes Fotoquímicos: Formación de precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos. Su factor de caracterización es: Potencial de Formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF).

Las categorías de daños más usadas en estos métodos son:

- **A la salud humana:** En esta categoría se incluye el número y la duración de las enfermedades, y los años de vidas perdidos debido a la muerte prematura por causas ambientales. Los efectos aquí incluidos son: cambio climático, disminución de la capa de ozono, efectos cancerígenos y respiratorios y radiación ionizante.
- **A la calidad del medio ambiente:** En esta categoría se incluye el efecto sobre la diversidad de especies, especialmente en las plantas vasculares y los organismos sencillos. Entre los efectos incluidos están: la eco toxicidad, la acidificación, la eutrofización y el uso del suelo.
- **A los recursos:** En esta categoría se incluye la necesidad extra de energía requerida en el futuro para extraer mineral de baja calidad y recursos fósiles. La disminución de los recursos brutos, como arena y gravilla se incluyen dentro del uso del suelo.

Etapa 4: Interpretación de los resultados.

La interpretación es la fase de un ACV en la que se reúnen, estructuran y analizan los resultados del análisis del inventario con la evaluación de impacto, a partir de un análisis de sensibilidad e incertidumbre, para que el conjunto de informaciones

posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones que puedan dar respuesta a las cuestiones que anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

Esta etapa permite determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto qué puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. En los casos de comparación de distintos productos se podrá determinar cuál presenta un mejor comportamiento ambiental.

2.3. SimaPro 8: Soporte informático aplicado al ACV

En los últimos años y basados en la metodología del ACV se han desarrollado numerosos programas para facilitar su cálculo. La mayoría de estos incluyen base de datos que pueden variar en extensión y calidad de dichos datos y por lo tanto en el precio. En ellos se introducen los datos que configuran el inventario para posteriormente realizar los cálculos propios de la fase del AICV, obteniéndose los resultados para las diferentes categorías de impacto elegidas. Algunos de estos programas realizan también análisis de sensibilidad e incertidumbre.

Como ejemplos de software presentes en el mercado se pueden citar: GaBi, TEAm, Umberto, y el Simapro que es uno de los más extendidos por su facilidad de manejo y robustez analítica.

SimaPro es un programa desarrollado por la empresa holandesa PRé Consultants, que permite realizar Análisis de Ciclo de Vida (ACV), mediante el uso de bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas (Ecoinvent, BUWAL, IDEMAT, ETH, IVAM). Es una herramienta profesional para el cálculo de los impactos ambientales, sociales y económicos, asociados a un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida, con aplicación al eco-diseño, al desarrollo de eco-etiquetas, al cálculo de huellas de carbono o huellas hídricas, entre otros. Con esta herramienta se facilita el análisis y la representación gráfica de ciclos complejos de un modo sistemático y transparente.

Características:

1. Interfaz de usuario intuitiva basada en las fases de desarrollo de un ACV según la metodología ISO 14040 para la evaluación de los impactos medioambientales de un producto o proceso.
2. Amplias funcionalidades de análisis:
 - Fácil identificación de oportunidades de mejora de productos o procesos gracias a la posibilidad de evaluar los impactos de las diferentes etapas del modelo y su contribución al impacto global.
 - Comparativa entre varios productos o procesos.
 - Obtención de resultados gráficos (diagramas de barras, de flujos, de árbol, etc.) y resultados numéricos en forma de tabla exportables a Excel.
 - Amplias opciones de filtrado para la visualización de los resultados.
3. Opciones avanzadas:
 - Enlace directo con Excel u otras aplicaciones externas.
 - Uso de parámetros para el análisis de diferentes escenarios.
 - Evaluación de incertidumbre de los resultados mediante análisis de Monte Carlo.
4. Adaptabilidad: el usuario puede incluir nuevas metodologías de evaluación o adaptar las existentes, así como incluir o modificar datos de productos o procesos según las necesidades, con datos propios o con datos de bases de datos de referencia.
5. Evaluación socio-económica: complementario a la evaluación ambiental, el programa permite realizar estudios de Costo del Ciclo de Vida y Análisis Social del Ciclo de Vida, es decir, análisis de los impactos económicos y sociales de un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida.

Versiones

Licencias profesionales

El software SimaPro se presenta en tres versiones:

1. SimaPro Compact para resultados rápidos. Permite realizar el modelado y análisis de productos.

2. SimaPro Analyst para la realización de ACVs más completos. Permite el uso de parámetros, el análisis de escenarios y el análisis de incertidumbre.
3. SimaPro Developer para enlazar con softwares externos. Permite además enlace directo con Excel u otras aplicaciones externas.

Cada una de las versiones anteriores se encuentra disponible en 2 modalidades según el número de usuarios que vayan a usar el software:

- Licencia Multiusuario. Permite el acceso simultáneo de varios usuarios a una misma base de datos (instalada en un servidor).
- Licencia Individual. Permite solamente el uso de un solo usuario a la vez.

Licencias educativas

Para uso educativo se conocen tres versiones:

- La versión Clase (multiusuario) y Facultad (usuario simple). Estas dos versiones permiten realizar un estudio de ACV completo pero con ciertas limitaciones. La versión Clase está especialmente diseñada para el desarrollo de ejercicios en cursos de máximo 40 personas usuarios de SimaPro.
- La versión Doctorado (PhD, usuario simple) es una versión que permite realizar estudios más complejos y tiene más funcionalidades. Permite exportar e importar datos, es compatible con la modelización mediante parámetros y el análisis de incertidumbre, entre otras. La versión Doctorado está especialmente diseñada para proyectos de investigación.

Bases de datos y metodologías de impacto

SimaPro posee una base de datos de materiales y procesos muy completa que incluye bases de datos científicas de reconocido prestigio internacional entre las que destacan Ecoinvent (ecoinvent v3.0, que abarca más de 10.000 procesos), Base de datos de entrada y salida detallada que cuenta con más de 400 productos, que representan a toda la economía de EE.UU, así como la Base de datos europea de ciclo de vida (ELCD, por sus siglas en ingles), entre otros.

El programa contiene también las principales metodologías de evaluación de impacto (CML 2001 baseline, Ecoindicator 99, Recipe, Impact 2002 +, IPCC 2007 GWP 100a, etc.).

La base de datos SimaPro está estructurada en tres partes principales:

1. Los datos del proyecto: En los proyectos, se almacenan todos los datos específicos para el proyecto que está trabajando en ese momento. Puede crear cualquier número de proyectos en su base de datos, para mantener todos sus datos separados y facilitar el archivo de los proyectos, que ya no desee conservar.
2. Los datos de biblioteca: las bibliotecas contienen datos que sirven como recurso para sus proyectos. La estructura de los datos de la biblioteca es similar a la estructura de los datos del proyecto.
3. Datos generales: En este caso, los datos de apoyo comunes para todas las bibliotecas y los proyectos se almacenan, como los factores de conversión de unidades y la lista central de nombres de sustancias.

Para profundizar en las bondades y funcionalidad de SimaPro, se recomienda el estudio de (Goedkoop et al., 2013).

2.4. Conclusiones Parciales del Capítulo

1. La Norma ISO 14 045: “Gestión medioambiental. Evaluación de eco-eficiencia de un sistema productivo. Principios, requerimientos y directrices”, ha servido de plataforma metodológica para diversas aplicaciones, sin embargo, presenta como limitación su carácter general, de ahí la necesidad de desarrollar instrumentos más contextualizados tanto a sistemas productivos enmarcados en sectores económicos específicos, como a espacios geográficos determinados.
2. El Análisis de Ciclo de Vida es la herramienta más utilizada para evaluar los impactos medioambientales de cualquier proceso o sistema producto durante todo su ciclo de vida.

3. SimaPro es un software especializado para la evaluación de impactos ambientales; es universalmente conocido y uno de los más utilizados para el análisis de ciclo de vida.

Capítulo 3

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECO-EFICIENCIA

En el presente capítulo se aplica el procedimiento de (Cancio and Jiménez, 2016), descrito en el capítulo anterior, para la evaluación de la eco-eficiencia resultante de la potencial sustitución del cemento tradicional P35 por un cemento mezclado con arcilla calcinada, conocido como LC³. Los epígrafes siguientes se corresponden con las fases del mismo.

3.1. Caracterización de la UEB Prefabricados de Remedios

La Unidad Empresarial de Base (UEB) Prefabricados de Remedios se subordina a la Empresa de Producción Industrial de Villa Clara (EPI), integrada al Grupo Empresarial de la Construcción (GECONS), perteneciente al Ministerio de la Construcción. Su misión es proporcionar elementos prefabricados, alternativos y metálicos; para satisfacer las necesidades de los clientes en variedad, estética y calidad. Tiene como encargo social producir y comercializar elementos prefabricados de hormigón u otros materiales, incluyendo su montaje, producir y comercializar hormigón hidráulico y morteros, materias primas, materiales y productos para la construcción, ofrecer servicios de laboratorios para ensayos de hormigón fresco y endurecido, acero y materiales de construcción.

La planta posee una capacidad de producción anual de 8 640 m³ de hormigón. Sus principales producciones son: elementos prefabricados para viviendas de tecnología Gran Panel, Consejo de Administración Provincial, Vivienda GP FAR, Turismo, Tarea Refuerzo y otras. Ha contribuido al desarrollo social del territorio a través de la prefabricación de secundarias básicas, hospitales, hoteles, frigoríficos, círculos infantiles, etc. En la actualidad, su contribución fundamental ha estado encaminada al desarrollo del polo turístico de Caibarién, así como las obras destinadas a la construcción de viviendas y la Tarea Refuerzo.

Sus principales clientes son: Empresa de Hormigón, ECOA 44. ECOING 25, ECOAI-1, Mantenimiento Constructivo, ECOT- Cayo Santa María, Empresa Constructora Militar, Industria de Materiales de la Construcción. Entre sus suministradores está: Empresa de Antenas, COPEXTEL, ACINOX S.A, Comercializadora Escambray,

Empresa de Materiales de la Construcción, DIVEP, entre otros. Sus principales competidores son: EPI Cienfuegos, EPI Ciudad Habana, EPI Matanzas, Mantenimiento Constructivo, Empresa Constructora Militar No.3 y la Empresa Materiales de la Construcción. La planta tiene una estructura organizativa como muestra el organigrama del Anexo 6.

La información de la fuerza de trabajo y los salarios por áreas se muestra detalladamente en el Anexo 7. El pago de los salarios se realiza a partir de su salario básico además de otros pagos por concepto de perfeccionamiento empresarial (PAPE), Antigüedad (PAS), de acuerdo al coeficiente de interés económico social 30% (CIES). También se remunera de acuerdo al cumplimiento del Coeficiente de Participación Laboral (CPL) que se haya logrado en el mes. La planta trabaja en el mes 44 horas semanales: de lunes a jueves se trabajan 9h/d y los viernes 8 h/d, haciendo un total de 190.6 horas aproximadamente en el mes.

En el proceso productivo de la planta se toman en cuenta fundamentalmente las siguientes normas:

- NC-374:2004: Componentes prefabricados de hormigón. Especificaciones.
- NC-120:2007: Hormigón hidráulico. Especificaciones.
- NC-7-2002: Barras de acero para refuerzo de hormigón. Especificaciones.
- NC-412:2005: Guía para la programación, mezclado, transporte y vertido del hormigón.

El proceso productivo del hormigón comienza con dos actividades simultáneas: el trabajo con el acero que es donde se realiza varias actividades como el corte, elaboración y montaje de mallas; preparación de los moldes y el encofrado. Simultáneamente un equipo de trabajo realiza las dosificaciones de los materiales que componen el hormigón y lo trasladan a la planta dosificadora y mezcladora de hormigón. Allí tiene lugar la mezcla del cemento y los áridos en el tiempo establecido, adicionando luego el agua y el aditivo. Posteriormente pasa al proceso de fundición donde es vertido y colocado en moldes para posterior frotado y terminación. Finalmente se extrae el elemento por las grúas de izaje y se almacena.

La Figura 3.1 describe el proceso de producción de elementos prefabricados de hormigón en la UEB de Remedios.

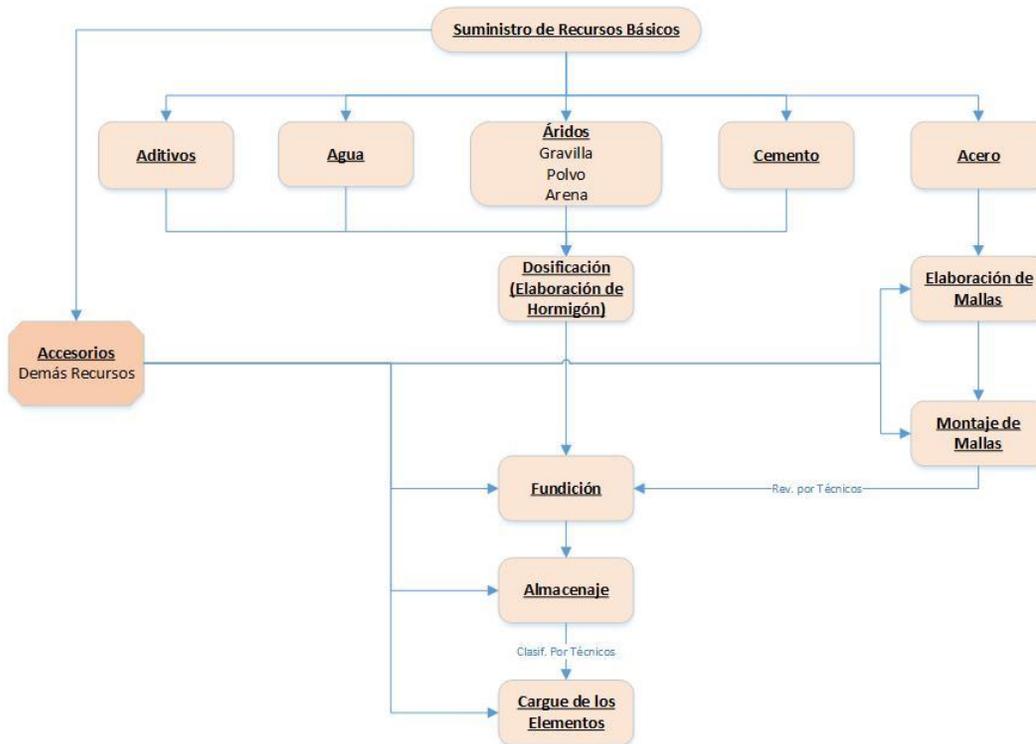


Figura 3.1. Esquema del proceso productivo del hormigón. Fuente: Elaboración propia

El Anexo 8 muestra una descripción detallada de las actividades del proceso productivo de los elementos prefabricados de hormigón.

3.2. Aplicación del procedimiento para la evaluación de eco-eficiencia en sistemas constructivos

La elección de la UEB Prefabricados Remedios como entidad objeto de estudio de la presente investigación se debe a su condición de principal productor y proveedor de elementos prefabricados en el país. Sus principales productos son los elementos prefabricados para tecnología Gran Panel; tipología de uso extendido en el país y de alta aceptación debido, principalmente, a que es una de las que menor tiempo requiere para su construcción. Por esta razón en los planes de urbanización de la ciudad de Santa Clara se aboga por el uso de esta tecnología constructiva.

Fase 1. Definición de objetivo y alcance del estudio de eco-eficiencia

El objetivo principal del presente estudio es evaluar la eco-eficiencia resultante de introducir la nueva tecnología conocida como LC³ en el proceso productivo de hormigón de prefabricado, extendiendo el análisis hasta el nivel de la obra

constructiva (edificio Gran Panel), en la cual se utiliza el material intermedio producido en la UEB de prefabricado antes descrita.

Para el análisis del proceso productivo del hormigón se toma como unidad funcional 1m^3 de hormigón armado, para la evaluación de la utilización de este tipo de hormigón en un sistema constructivo se toma como unidad funcional $12,5\text{ m}^2$ de superficie edificada.

El alcance de la evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva del hormigón incluye los procesos y actividades fundamentales que se requieren para la obtención de 1m^3 de hormigón, incluyendo los principales materiales que se utilizan así como el consumo de electricidad y diesel que genera dicha actividad.

Por su parte el análisis del sistema estructural prototipo se enfoca en un área habitable o espacio habitable de $12,5\text{ m}^2$ correspondiente a un nivel de entrepiso, que requiere un volumen total de hormigón de 5.54 m^3 . El estudio incluye los materiales constitutivos del hormigón, los elementos prefabricados que componen la habitación: los paneles que conforman las paredes y las losas que conforman el piso y el techo. Se excluye del análisis los paneles cuñas, las juntas de unión, las vigas de escaleras y la cimentación.

En la investigación se evalúan dos escenarios: cada uno caracterizado por el tipo de aglomerante que se utiliza en el proceso productivo del hormigón (cemento P35 o cemento LC³).

Fase 2. Mapeo y descripción de la cadena productiva en el contexto del ciclo de vida del producto/sistema

En esta fase se esboza el mapa de la cadena productiva asociada al sistema-producto en el contexto del ciclo de vida, el mismo se muestra en la Figura 3.2. Constituyen supuestos de entrada al estudio, que a su vez están relacionados con la gestión del suministro de materiales, los que se resumen a continuación:

1. En ambas tecnologías bajo consideración, el suministro de cemento provienen de la fábrica de cemento Siguaney en la provincia de Sancti Spíritus.
2. La gravilla y el polvo de piedra utilizado en la elaboración de los elementos de prefabricado provienen de la cantera de Palenque.
3. La arena es suministrada por la cantera el Purio.

4. El acero proviene de la Empresa Siderúrgica José Martí, conocida como Antillana de Acero, ubicada en el reparto Cotorro, en la ciudad de La Habana.
5. El aditivo es importado por MAPEI-HABANA.
6. La empresa transportista es la Empresa de Transporte de la Construcción para el caso de los suministros de materiales, sin embargo la transportación interna de los materiales se realiza con un montacargas VOLVO que posee la UEB de Remedios como parte del parque automotor de la EPI.

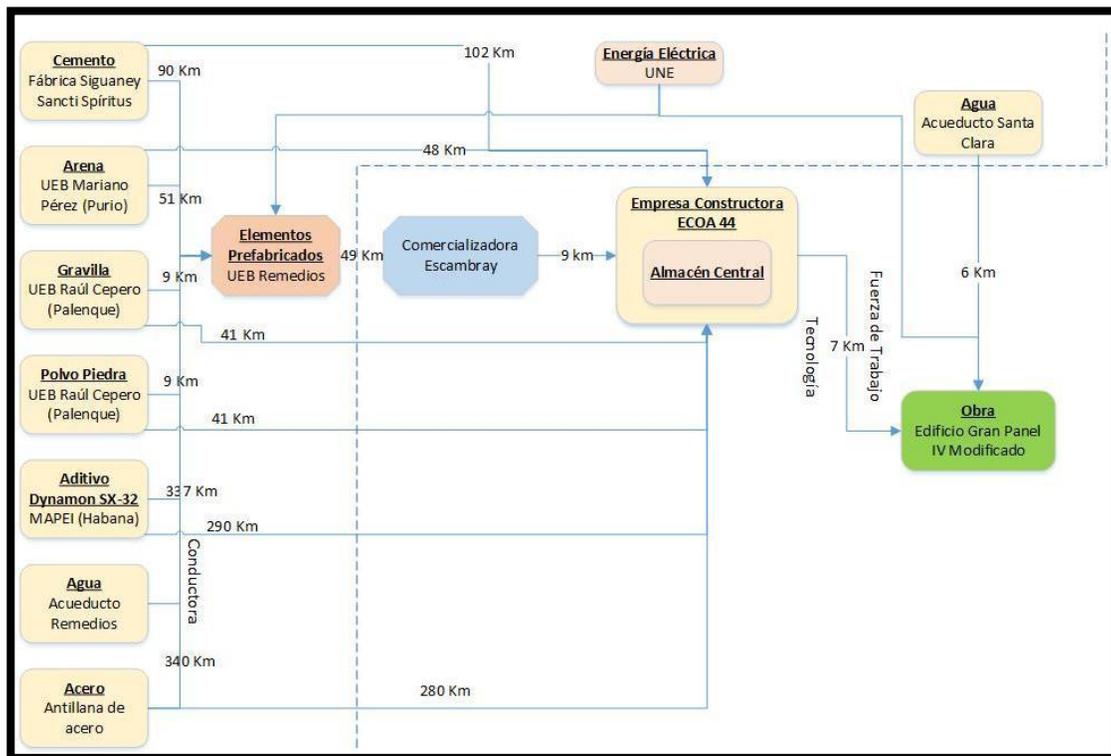


Figura 3.2. Cadena productiva de la obra. Fuente: Elaboración propia

Fase 3. Creación del inventario de datos asociado a cada unidad funcional

La tabla 3.1 ofrece un resumen de la dosificación gravimétrica y volumétrica para 1m^3 de hormigón, donde se utilizó la dosificación Fino/Grueso 50-50 de polvo piedra y el consumo de electricidad y combustible para la misma. En el caso del polvo, arena y gravilla se realizó una conversión a m^3 porque los precios de dichos materiales, contenidos en la Resolución 171/2016, están expresados en esa unidad de medida. Se tomaron en cuenta las normas de consumo de materiales que corresponden a la producción de hormigón de 30 MPa.

Tabla 3.1. Dosificación 1 m³ de hormigón

| Material | UM | Cantidad | Conversión | |
|--------------|-----|----------|----------------|------|
| Cemento | kg | 360 | | |
| Polvo | kg | 268 | m ³ | 0,71 |
| Arena | kg | 633 | m ³ | 0,63 |
| Gravilla | kg | 923 | m ³ | 0,78 |
| Aditivo | L | 3,36 | | |
| Agua | L | 168 | | |
| Acero | kg | 120 | | |
| Electricidad | kWh | 19,67 | | |
| Diesel | L | 1,84 | | |

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la EPI

Los materiales utilizados para la construcción de la habitación de referencia en el estudio (12.5 m² de superficie habitable), se determinaron a partir del volumen de hormigón consumido en dicha estructura. Basado en información técnica del proyecto de dicho edificio, la cantidad de hormigón requerido asciende a 5.54 m³.

Posteriormente la tabla 3.2 refleja los precios con los que opera la UEB, asociados a las facturas más frecuentes que han mediado en el proceso de aprovisionamiento de las materias primas y materiales. El valor de la energía eléctrica consumida en el proceso de producción del hormigón ha sido estimado tomando en consideración el consumo diario de electricidad y el nivel de producción diario (m³ de hormigón/día).

El consumo de diesel se estimó utilizando el índice de consumo diario en función de la cantidad de m³ de hormigón que se producen al día. Los datos del consumo energético aparecen en moneda total dado el hecho de que así lo reflejan los registros contables y estadísticos de la entidad.

La tabla 3.3 muestra el consumo de combustible en la transportación de los materiales distribuido por unidades físicas, pues es precisamente en esta medida que son introducidos en la base de datos del software para el análisis de las emisiones ambientales. Se consideran las distancias que anteriormente fueron especificadas en la cadena productiva en la fase anterior.

Tabla 3.2. Precios de los materiales y energía

| Material | UM | CUP | CUC | MT |
|-------------------------|----------------|--------|--------|---------|
| Cemento P-35 | t | 21,92 | 101,94 | 123,86 |
| Cemento LC ³ | t | 19,5 | 88,83 | 108,33 |
| Polvo | m ³ | 19,86 | 7,38 | 27,24 |
| Arena | m ³ | 19,17 | 8,25 | 27,42 |
| Gravilla | m ³ | 18,23 | 7,48 | 25,71 |
| Aditivo | L | 3,98 | | 3,98 |
| Agua | L | 0,36 | | 0,36 |
| Acero | t | 0,35 | 816 | 816,35 |
| Electricidad | kWh | 4,81 | | 4,81 |
| Diesel | t | 867,81 | 867,81 | 1735,62 |

Fuente: Elaboración propia

El consumo de combustible asociado a la transportación de agua se tuvo en cuenta solamente en el segundo nivel de análisis (unidad habitacional), para ello se tomó en consideración la distancia de la toma de agua hasta la obra, aproximadamente 6 km. El agua insumida en el proceso productivo de la planta de hormigón proviene del acueducto de la ciudad de Remedios. Todos los medios de transporte incluidos en la cadena productiva analizada utilizan combustible diesel.

Tabla 3.3. Combustible asociado a la transportación de los materiales

| Material | Origen | Destino | Ciclo | Medio de Transporte | ICC |
|------------------|--------------------|--------------|-------|------------------------|------|
| Cemento Siguaney | Siguaney | UEB Remedios | 90 | Carro silo KAMAZ | 0,42 |
| Gravilla | UEB Palenque | UEB Remedios | 9 | Renado Pegaso (Volteo) | 0,39 |
| Arena | UEB El Purio | UEB Remedios | 51 | Renado Pegaso (Volteo) | 0,39 |
| Polvo Piedra | UEB Palenque | UEB Remedios | 9 | Renado Pegaso (Volteo) | 0,39 |
| Aditivo | MAPEI Habana | UEB Remedios | 337 | Camión(Plataforma) | 0,39 |
| Acero | Antillana de Acero | UEB Remedios | 340 | Camión Plancha | 0,4 |
| Cemento Siguaney | Siguaney | ECOA 44 | 102 | Carro silo | 0,42 |
| Gravilla | UEB Palenque | ECOA 44 | 41 | Renado Pegaso (Volteo) | 0,39 |
| Arena | UEB El Purio | ECOA 44 | 48 | Renado Pegaso (Volteo) | 0,39 |

| | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|---------|-----|------------------------|------|
| Polvo Piedra | UEB Palenque | ECOA 44 | 41 | Renado Pegaso (Volteo) | 0,39 |
| Aditivo | MAPEI Habana | ECOA 44 | 290 | Camión(Plataforma) | 0,39 |
| Acero | Antillana de Acero | ECOA 44 | 280 | Camión Plancha | 0,4 |
| Agua | Toma de Agua | Obra | 6 | Pipa | 0,53 |
| ICC: Índice de Consumo de Combustible | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Fase 4. Evaluación medioambiental asociada a cada unidad funcional

En la fase anterior se declara la energía consumida en toda la cadena productiva, a partir de la identificación de los tipos de emisiones de gases contaminantes, directas e indirectas, generadas en la actividad productiva. Las primeras provienen de la quema de combustible fósil, en procesos tales como la fabricación del cemento, el acero, la transportación, equipos de extracción y manejo de materias primas en cantera, entre otros y las segundas habitualmente vienen asociadas al uso de la electricidad.

Para el cálculo de las emisiones derivadas del proceso productivo en esta fase, se utilizó el software SimaPro. Esta aplicación permite utilizar diferentes métodos de evaluación de impactos medioambientales, las categorías de impacto a considerar varían de un método a otro.

En este estudio se utilizaron varios métodos: IPCC GWP² 100a, el IMPACT 2002+ y el ReCiPe Endpoint. El primer método considera tres categorías de daños potenciales a cien años vista: perjuicios a la salud humana, a los ecosistemas, y a los recursos naturales. El segundo incluye una cuarta categoría de gran importancia para el sector de la construcción: el cambio climático, expresado a partir del factor de caracterización: Potencial de Calentamiento Global (PCG)³ o GWP (por sus siglas en inglés). El tercer método considera quince categorías de impactos medioambientales, de ellas una de las más importantes a considerar es el cambio climático por lo anteriormente expuesto.

² Significa Global Warming Potential por sus siglas en Inglés.

³ Da una medida de la capacidad de una sustancia para contribuir al calentamiento global mediante el conocido efecto invernadero, el índice se calcula sobre un periodo de cien años.

La Figura 3.3 muestra los resultados totales de las emisiones para la categoría cambio climático, esta es la que tiene mayor repercusión en procesos constructivos. El potencial de calentamiento global se expresa en kilogramos (o toneladas) de CO₂ equivalente; la figura muestra los resultados de este indicador en los dos escenarios a considerar.

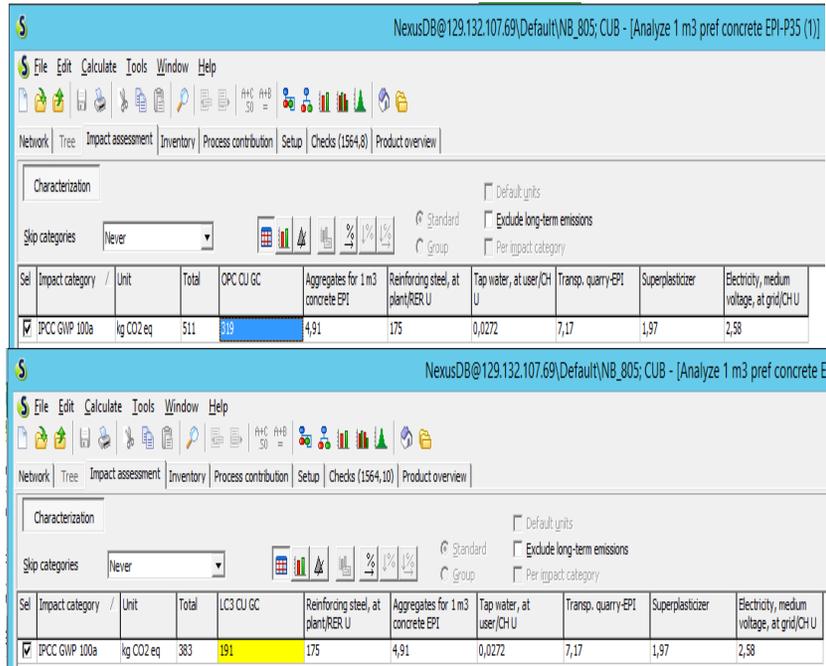


Figura 3.3. Emisiones asociadas a 1m³ de hormigón y a la unidad habitacional de 12.5 m² en los dos escenarios. Fuente: Imagen tomada de la salida computacional del SimaPro.

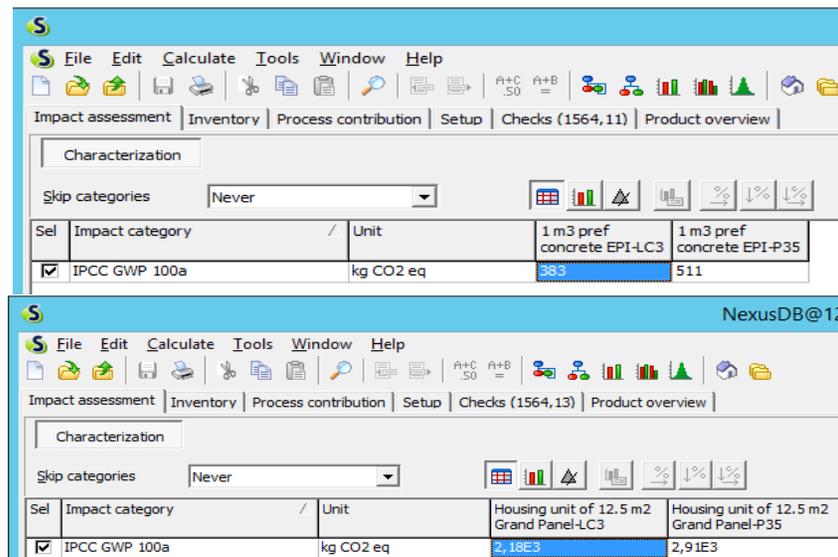


Figura 3.4. Emisiones por materiales para 1m³ de hormigón en ambos escenarios. Fuente: Imagen tomada de la salida computacional del SimaPro.

La Figuras 3.4 muestra un análisis estructural de las emisiones, donde el impacto total se distribuye por materiales y procesos involucrados en la unidad funcional, es decir, qué parte corresponde al cemento, al acero, a los áridos, a la transportación, a la electricidad, etc. Como intuitivamente se esperaba obtener los materiales que más impactos generan, o sea, los más contaminantes son el cemento y el acero. Por otra parte puede constatarse que, en cualquier caso, la utilización del LC³ contribuye significativamente a mitigar el impacto.

Las siguientes gráficas, como las figuras anteriores, constituyen salidas del SimaPro, en las mismas aparece un análisis comparativo de las emisiones generadas por cada uno de los materiales, las diferentes categorías en ambos escenarios y por cada unidad funcional, y el calentamiento global que se produce con la utilización de los dos tipos de cementos.

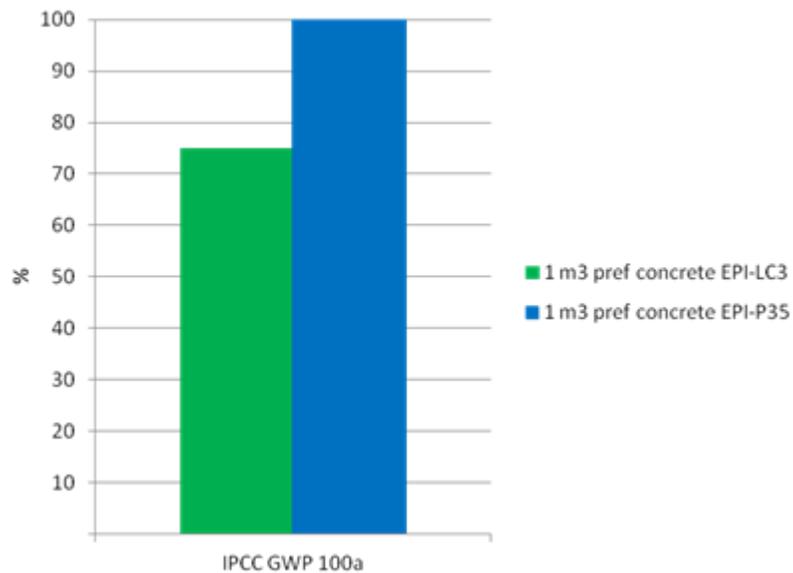


Figura 3.5. Comparación del GWP de 1m³ de hormigón en los dos escenarios. Fuente: Salida computacional del software SimaPro 8

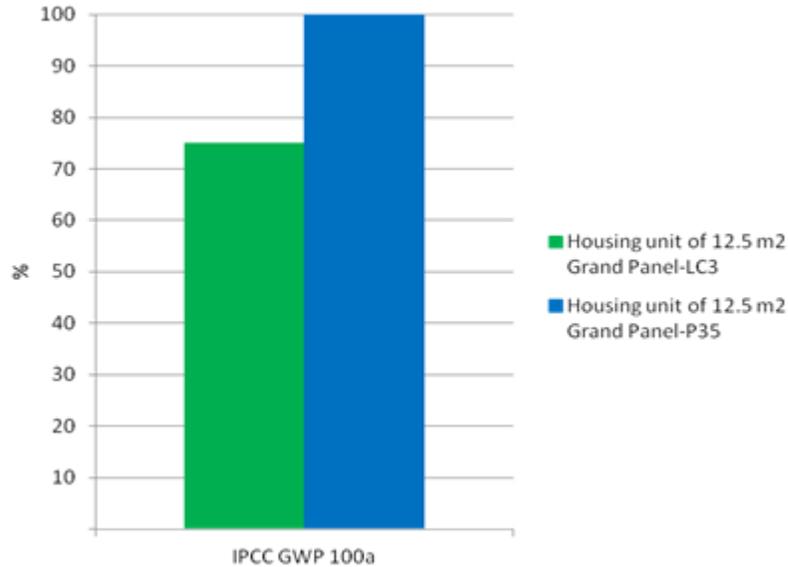


Figura 3.6. Comparación del GWP de la unidad habitacional en los dos escenarios. Fuente: Salida computacional del software SimaPro

Las figuras 3.5 y 3.6 muestran que la sustitución del cemento tradicional por cemento LC³ contribuye a mitigar el impacto ambiental en un 25% (para el caso de ambas unidades funcionales analizadas). Sin embargo, el análisis porcentual o relativo encubre que, efectivamente, en la medida que se utilice el cemento a escalas constructivas superiores, la contribución ecológica del mismo se multiplica. Dadas las cantidades absolutas de dióxido de carbono equivalente mostradas anteriormente en las salidas de SimaPro, se puede deducir que al nivel del m³ de hormigón se producen ahorros de 128 kg de CO₂. Sin embargo, escalando el análisis hasta una unidad habitacional de edificio Gran Panel, el ahorro de emisiones que se produce está en el orden de 730 kg de CO₂. Lo anterior significa un factor de 5.7, lo cual está estrechamente relacionado al volumen de material utilizado.

Como ha sido explicado anteriormente, la contribución de la industria constructiva al calentamiento global posee el mayor peso en el conjunto de emisiones totales. Sin embargo, el software SimaPro posee potencialidades para explorar, en un contexto de evaluación medioambiental, otras categorías de impacto que también se consideran relevantes y que afectan el equilibrio del planeta. Las Figuras 3.7 y 3.8 muestran los resultados de la aplicación del método ReCiPe Endpoint (H) v1.12, comparando ambos tipos de cemento en su aplicación a las dos unidades

funcionales bajo estudio. Las barras verdes (LC³) se expresan como un porcentaje del impacto de la tecnología de referencia, que es el P35. Mientras mayor es la diferencia entre el tamaño de las barras, mayor es el beneficio ecológico derivado del uso del nuevo cemento.

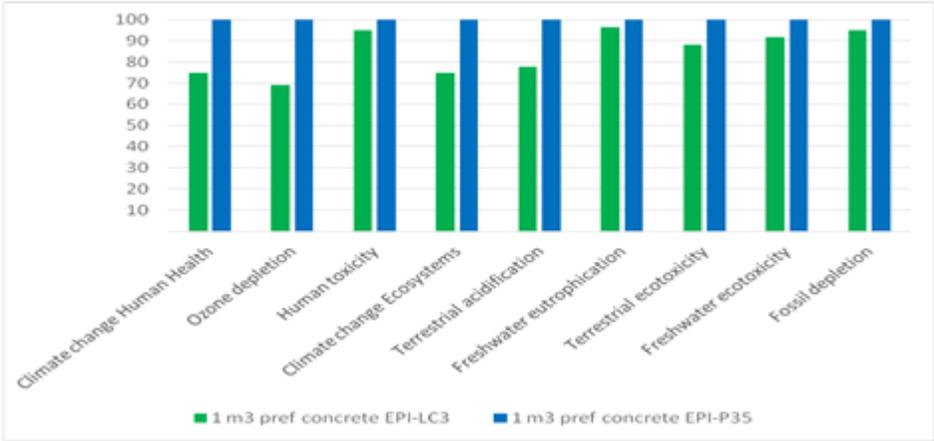


Figura 3.7. Comparación de acuerdo a las categorías de impacto ambiental más relevantes (1 m³ de hormigón). Fuente: Gráfico de salida del software SimaPro.

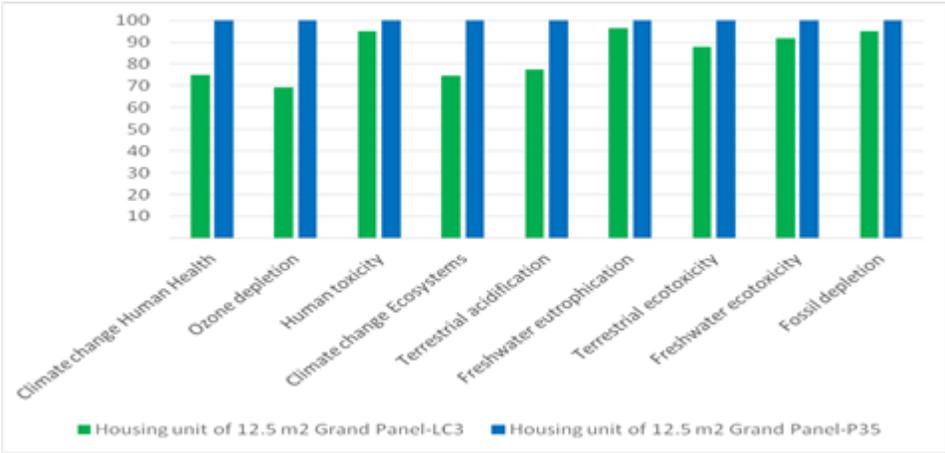


Figura 3.8. Comparación de acuerdo a las categorías de impacto ambiental más relevantes (12.5 m² de unidad habitacional). Fuente: Gráfico de salida del software SimaPro.

Se puede claramente apreciar que el mayor impacto de mitigación, cuando se sustituye P35 por LC³ se tiene en las categorías cambio climático/salud humana, agotamiento de la capa de ozono y agotamiento del ecosistema.

El método IMPACT 2002+ agrega las anteriores categorías, resumiéndolas en cuatro, tal como se presenta en las figuras 3.9 y 3.10. A pesar de ser el sector constructivo altamente intensivo en consumo de materias primas, se constata una

vez más que la mayor afectación radica en el cambio climático y la calidad del ecosistema, y que el agotamiento de los recursos -aunque es importante-no se le compara, en términos de mitigación, cuando se analizan los impactos de sustituir un tipo de cemento por otro.

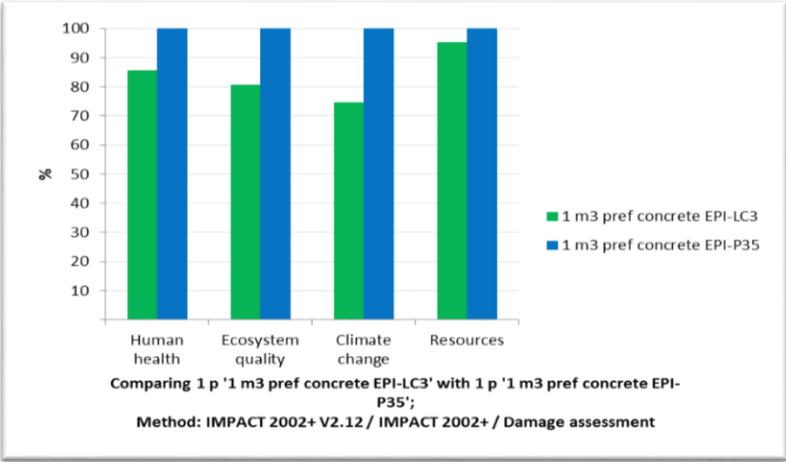


Figura 3.9. Agregación del impacto en 4 categorías de daño, de acuerdo al método IMPACT 2002+ (1 m³ de hormigón). Fuente: SimaPro

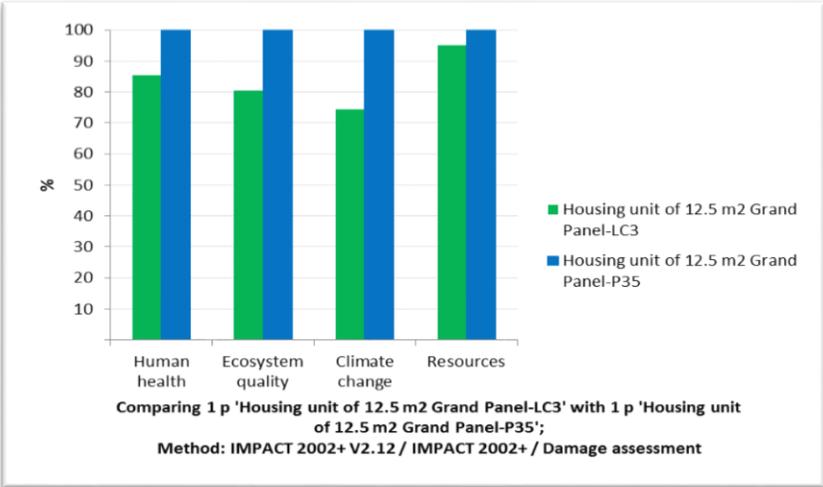


Figura 3.10. Agregación del impacto en 4 categorías de daño, de acuerdo al método IMPACT 2002+ (12.5 m² de superficie edificada). Fuente: SimaPro

Si se descompone el impacto ambiental en función de los materiales y procesos involucrados en la obtención del hormigón de prefabricado (Figura 3.11), se puede concluir que los materiales más responsables de la alta contaminación y afecciones al ecosistema, son el cemento y el acero. De manera que, la importancia de mitigar

el impacto tiene, ineludiblemente, que pasar por la sustitución de los materiales tradicionales por otros más eco-eficientes. Lo anterior remarca la trascendencia del uso de materiales cementicios suplementarios en la producción de cementos mezclados de menor impacto ambiental.

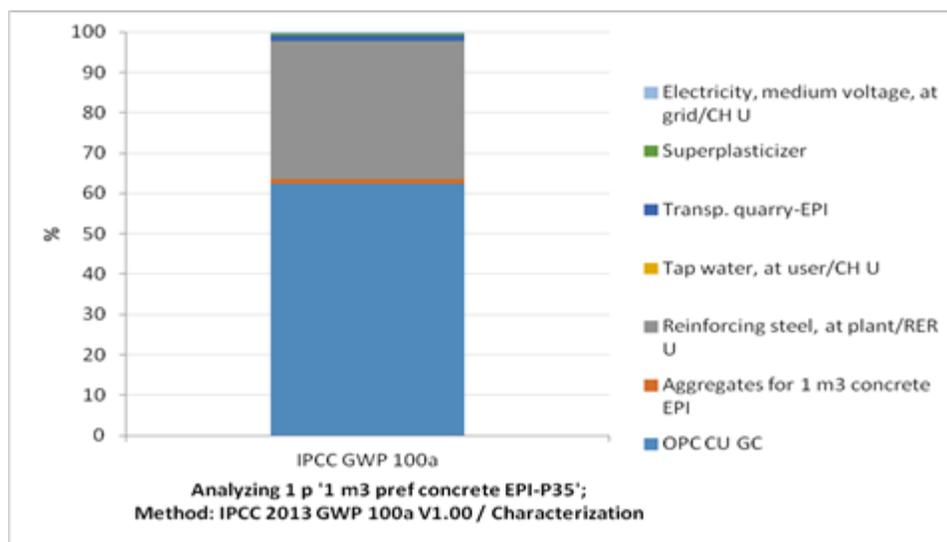


Figura 3.11. Descomposición del impacto ambiental por materiales y procesos. Fuente: Salida computacional del SimaPro.

Fase 5. Evaluación económica asociada a cada unidad funcional

Para desarrollar el análisis de eco-eficiencia se recopiló información económica relacionada con el proceso de producción del hormigón y el proceso constructivo de la unidad habitacional prototipo. Los registros económicos de la EPI y de la empresa constructora resultaron los materiales factuales o fuente de datos más esenciales. En numerosos casos hubo de recurrirse a métodos de estimación y prorrateo de costos, debido a que información económica y financiera en las entidades del sector empresarial cubano aún carece de organicidad y sistematicidad.

Las empresas cubanas elaboran y entregan con frecuencia mensual el EFE ⁴ 5924-03 Estado de Gastos por Elementos que contiene los gastos totales por elementos, sin embargo no es posible conocer la clasificación de los mismos atendiendo a su relación con el nivel de producción. El problema radica en el deficiente nivel de detalle del registro contable y financiero que dificulta la determinación de costos indirectos de fábrica tales como: Materias primas y materiales, Combustibles y

⁴ Estado Financiero para la actividad empresarial establecido en la Resolución No. 1173-2015

lubricantes, y Energía. Muchas veces los datos fueron recopilados a través de entrevistas a especialistas de áreas de Recursos Humanos, Producción, Economía, en cada una de las entidades involucradas en este estudio; dígase UEB Prefabricados de Remedios y ECOA # 44 de la provincia Villa Clara.

La tabla 3.4 muestra el gasto material, estimándolo a partir de los precios previamente enunciados en la fase del inventario de datos, adicionando al cálculo solamente el costo del nuevo tipo de cemento (LC³). Ahorros del 15% en el costo del cemento (LC³ frente a P35) han sido demostrados en trabajos anteriores (ya publicados), por parte del equipo internacional del proyecto LC³. Para una mayor profundidad en la determinación y comparación de costos de distintos tipos de cemento en Cuba, se recomienda consultar los artículos (Sánchez and Cancio, 2015), (Sánchez, 2016), (Cancio, 2016a), (Cancio et al., 2014).

Cuando se pasa del análisis al nivel de la tonelada de cemento hacia el uso del cemento, es decir, materiales intermedios y de ahí hacia el uso en edificaciones, el impacto se reduce en términos porcentuales debido a la proporción que se emplea de cemento en el contenido total de los materiales que se producen ulteriormente. Sin embargo, en la medida que escalamos el análisis a niveles superiores, es decir, hasta el uso en edificios, puede notarse que los ahorros totales aumentan considerablemente. Por ejemplo, en un m³ de hormigón de prefabricado, se ahorran 5.57 pesos, sin embargo, al nivel de una habitación de 12.5 m² los ahorros ascienden a 30.83 pesos. Ello significa un ahorro de 2.47 pesos/m² de superficie habitable construida. Si este análisis se realiza en los límites de la UEB Remedios de la EPI, los ahorros para un mes de producción ascienden a 1 669.62 pesos, lo cual anualmente significa un impacto económico de 20 035.50 pesos.

Tabla 3.4.Gasto material para 1 m³ de hormigón

| Material | P35 | | | LC ³ | | |
|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
| | CUP | CUC | MT | CUP | CUC | MT |
| Cemento | 7,89 | 36,70 | 44,59 | 7,02 | 31,98 | 39,00 |
| Polvo | 14,10 | 5,24 | 19,34 | 14,10 | 5,24 | 19,34 |
| Arena | 12,08 | 5,20 | 17,27 | 12,08 | 5,20 | 17,27 |
| Gravilla | 14,22 | 5,83 | 20,05 | 14,22 | 5,83 | 20,05 |
| Aditivo | 13,37 | | 13,37 | 13,37 | | 13,37 |
| Agua | 0,11 | | 0,11 | 0,11 | | 0,11 |
| Acero | 0,03 | 51,48 | 51,50 | 0,03 | 51,50 | 51,53 |
| Electricidad | 13,38 | | 13,38 | 13,38 | | 13,38 |
| Diesel | 1,34 | 1,34 | 2,68 | 1,34 | 1,34 | 2,68 |
| Total | 76,51 | 105,78 | 182,30 | 75,64 | 101,09 | 176,73 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5.Estado de Valor Agregado para 1 m³ de hormigón

| Elemento | P35 | | | LC ³ | | |
|--------------------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
| | CUP | CUC | MT | CUP | CUC | MT |
| Valor de la producción | 666,55 | 374,92 | 1041,47 | 666,55 | 374,92 | 1041,47 |
| Menos: Gasto material | 76,51 | 105,783 | 182,30 | 75,64 | 101,09 | 176,73 |
| Valor agregado bruto | 590,04 | 269,137 | 859,17 | 590,91 | 273,83 | 864,74 |
| Menos: Consumo de capital fijo | 15,01 | | 15,01 | 15,01 | | 15,01 |
| Valor Agregado Neto | 575,02 | 269,137 | 844,16 | 575,89 | 273,83 | 849,72 |

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la UEB de Remedios

Tabla 3.6.Estado de Valor Agregado para 12.5 m² de unidad habitacional

| Elemento | P35 | LC ³ |
|--------------------------------|----------------|-----------------|
| Valor de la producción | 8600,00 | 8600,00 |
| Menos: Gasto material | 1009,93 | 979,09 |
| Valor agregado bruto | 7590,07 | 7620,91 |
| Menos: Consumo de capital fijo | 27,15 | 27,15 |
| Valor Agregado Neto | 7562,93 | 7593,76 |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas 3.5 y 3.6 muestran el estado del valor agregado para cada unidad funcional. El valor de un apartamento de cinco habitaciones es aproximadamente 43 000.00 CUP, por tanto el precio aproximado de la habitación es 8600.00 CUP.

Fase 6. Cuantificación de eco-eficiencia

Para cuantificar la eco-eficiencia se utiliza el indicador o ratio que relaciona el desempeño económico y el desempeño ambiental:

Valor agregado neto
Impacto ambiental agregado

El cálculo de valor agregado se efectuará atendiendo al método más extendido en el ámbito macroeconómico y tomando en consideración el Estado de Valor Agregado Bruto, según lo estipulado en la Resolución No.602/2015 del Ministerio de Finanzas y Precios (MFP) vigente hasta la fecha. (Ver Anexo 9). El valor agregado bruto solo deduce el gasto material del valor de la producción sin considerar el consumo de capital fijo o el desgaste del equipamiento; sesgando así el análisis.

El indicador para evaluar la eco-eficiencia se define como:

$$\frac{\text{Valor Agregado Neto}}{\text{Emisiones de CO}_2} = \frac{\text{Valor de la producción} - \text{Gasto material} - \text{Consumo de Capital Fijo}}{\text{Kg de CO}_2}$$

En la tabla 3.7 se ofrece un resumen del proceso de cálculo del indicador de eco-eficiencia para 1m³ de hormigón, reflejando el valor agregado neto, el impacto ambiental agregado y el indicador de eco-eficiencia

Tabla 3.7. Resumen del cálculo de eco-eficiencia

| Eco-eficiencia | UM | P35 | LC ³ |
|--------------------------------|--------------------------|--------|-----------------|
| Valor agregado neto | Pesos | 844,16 | 849,72 |
| Impacto ambiental agregado | kg CO ₂ -eq | 511 | 383 |
| Eficiencia económico-ecológica | pesos/kg CO ₂ | 1,65 | 2,22 |

Fuente: Elaboración propia

Para calcular los indicadores valor agregado y eficiencia económica-ecológica en el segundo nivel de análisis (unidad habitacional) basta con multiplicar el factor de eficiencia en el ahorro en gasto material, y los ahorros de CO₂ por 5.54 m³ de hormigón, que es el volumen de hormigón requerido para una habitación de esas dimensiones.

Fase 7. Interpretación y reporte

De la tabla 3.7 se puede inferir que la eco-eficiencia resultante de sustituir P35 por LC³ aumenta en un 35%. Resulta evidente que, en términos relativos, la relación de eco-eficiencia se mantendrá siempre constante, es decir, el ratio ahorro en costos/ahorro en emisiones será siempre un factor derivado, en última instancia, de la eficiencia técnica del nuevo cemento propuesto. Ahí radica precisamente la desventaja de las medidas o indicadores relativos. Es por ello que el análisis de

ratios de eco-eficiencia siempre se debe complementar con criterios o medidas absolutas que reflejen el cambio en términos más visibles.

Comparando los resultados antes mostrados, con trabajos de diploma desarrollados en cursos precedentes (García, 2014), (Rojas, 2015), se puede apreciar que el indicador de eco-eficiencia aquí obtenido es inferior, debido a la importancia del acero en el gasto material total. Lo anterior no invalida la robustez de los resultados antes obtenidos, más bien incorpora un criterio de rigor al análisis, debido a que el acero es un material de suma importancia en la producción de prefabricados de hormigón.

Comparando resultados de tecnología Gran Panel con otras tipologías

En un artículo publicado por (Cancio, 2016b), se aplica el ACV a una vivienda con tecnología constructiva basada en sistema tradicional de bloques, empleando como unidad funcional una habitación de 80 m². De acuerdo al método de impacto IPCC 2013 100a, el impacto ambiental de esa unidad funcional, si se usara LC³, es 3800 kg CO₂, con un índice de impacto de 47.5 kg CO₂/m².

Si se compara dicha tecnología constructiva, con la descrita y analizada en esta tesis (una habitación de tecnología Gran Panel IV Modificado, de 12.5 m²), se observa que esta última tiene un impacto ambiental de 2180 kg CO₂ (con LC³), con un índice de impacto igual a 174.4 kg CO₂/m², por consiguiente, la tecnología Gran Panel tiene un impacto ambiental 3 veces superior a la tecnología de bloques y 4 veces más costosa, pero con potencialidades de ahorro económico al sustituir P35 por LC³ superiores en la tecnología Gran Panel .

La misma conclusión es fácil de constatar a partir del impacto ambiental de ambas tipologías constructivas, pero empleando cemento P35.

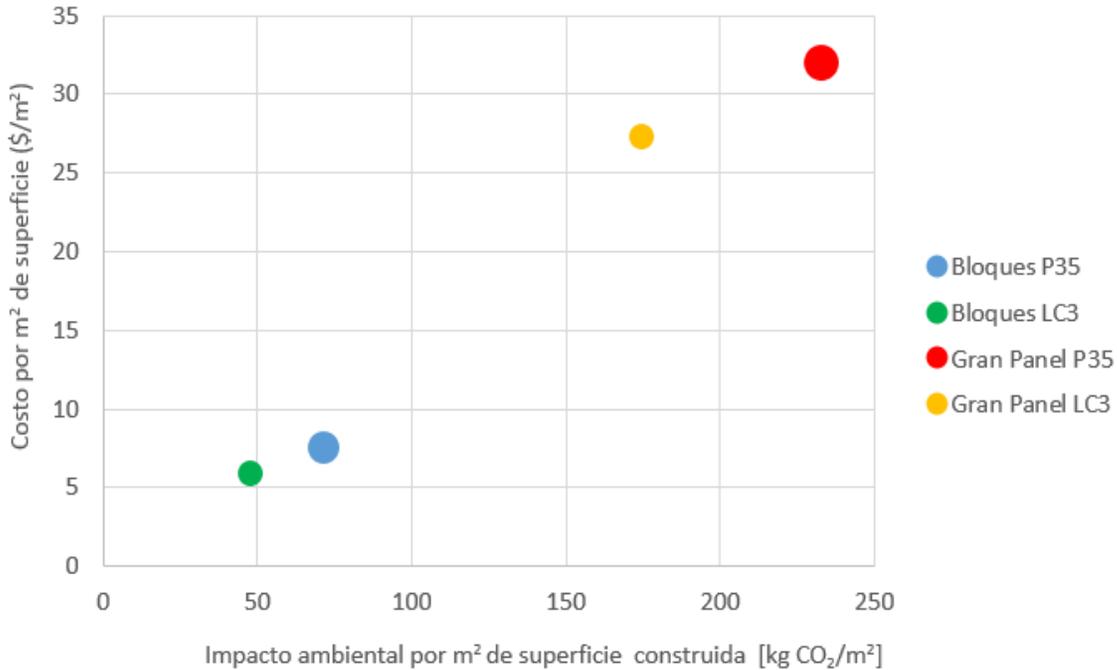


Figura 3.12. Análisis comparativo tecnología tradicional de bloques vs tecnología Gran Panel. Fuente: Elaboración propia

3.3. Conclusiones Parciales del Capítulo

1. El uso del cemento LC³ en la producción de paneles de prefabricado, y a su vez, en obras constructivas tipo Gran Panel, contribuye a mitigar el impacto ambiental en un 25%.
2. Las categorías de impacto ambiental con mayor potencial de mitigación son: cambio climático, agotamiento de la capa de ozono y calidad del ecosistema.
3. La eco-eficiencia de los productos del aglomerante LC³, medido a través de las unidades funcionales 1 m³ de hormigón y 12.5 m² de unidad habitacional, posee un potencial de mejora del 35% con relación al cemento P35.
4. El volumen de ahorros en costo y de mitigación del daño ambiental con el uso del LC³, es proporcional a la escala de utilización del cemento en obras constructivas.
5. Se demuestra que el impacto ambiental de la tecnología Gran Panel es 3 veces superior al generado por la tecnología de bloques huecos de hormigón

y 4 veces más costosa, sin embargo, los mayores potenciales de ahorro económico al sustituir P35 por LC³ se tienen en la tecnología Gran Panel.

Conclusiones

CONCLUSIONES

1. La eco-eficiencia es el proceso sistemático de crear mayor valor económico derivado de la actividad productiva, reduciendo simultáneamente el impacto medioambiental provocado por dicho producto o servicio.
2. La literatura especializada en la temática muestra un reconocimiento creciente del uso de esta herramienta en la toma de decisiones con relación al uso de los recursos en alianza con el desarrollo sostenible.
3. El uso del cemento LC³ en la producción de paneles de prefabricado, y a su vez, en obras constructivas tipo Gran Panel, contribuye a mitigar el impacto ambiental en un 25%, observándose las mayores contribuciones en la categoría cambio climático, aspecto de gran relevancia en los objetivos de desarrollo del milenio, ONU.
4. La eco-eficiencia de los productos del aglomerante LC³, medido a través de las unidades funcionales 1 m³ de hormigón y 12.5 m² de unidad habitacional, posee un potencial de mejora del 35% con relación al cemento P35.
5. Se demuestra que el impacto ambiental de la tecnología Gran Panel es 3 veces superior al generado por la tecnología de bloques huecos de hormigón y 4 veces más costosa, sin embargo, los mayores potenciales de ahorro económico y ecológico al sustituir P35 por LC³ se tienen en la tecnología Gran Panel.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Desagregar la eco-eficiencia del uso del cemento de bajo carbono atendiendo a los elementos estructurales que forman parte de una vivienda, de manera que puedan identificarse las áreas de mayor reserva de eficiencia al interior de cada tecnología constructiva.
2. Extender el análisis a otras fases del ciclo de vida de los edificios, considerando que durante la fase de operación la huella ecológica de los edificios es considerablemente alta.

Bibliografia

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, A. 2006. Agrocadenas de Valor y Alianzas productivas: "Herramienta de Apoyo a la Agricultura Familiar en el Contexto de la Globalización".
- ALEMANDI, M. M. 2011. "Internacionalización empresarial, cadenas de valor globales y MERCOSUR. El joint venture como instrumento para la integración productiva". 21, 17.
- ALVARADO, L. 2002. La Ecoeficiencia se induce, no se impone. Gerente. No. 6: 32-35.
- AYALA, M., HERNÁNDEZ, M. & LOOR, N. 2012. Proyecto de Eco-eficiencia: reciclaje de botellas PET. Revista de la Universidad Espíritu Santo UEES.
- AYLARD, R. & HAWSON, L. 2002. Our agenda for action. World Business Council for Sustainable Development and Cement Sustainability Initiative (WBCSD-CSI).
- BAIR, J., DUSSEL, M. & PETERS, E. 2006. Global Commodity Chains and Endogenous Growth: Exports Dynamisms and Development in Mexico and Honduras. . World Development., 34.
- BARTUMEU, D. 2015. Eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda Tipología III: cemento tradicional versus cemento de bajo carbono. Estudio de caso en Santo Domingo. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- BENÍTEZ, A. & IGLESIAS, S. M. 2013. El uso de los eco-materiales y residuos para la producción de materiales de la construcción.
- BLEISCHWITZ, R. 2003. Cognitive and institutional perspectives of eco-efficiency.
- BOIXADOS, R. 2005. La eficiencia social de IBERMUTUAMUR.
- BRAUNGART, M., MCDONOUGH, W. & BOLLINGER, A. 2006. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design.
- CANCIO, Y. 2016a. Limestone calcined clay cement as a sustainable solution to meet expanding cement demand in emerging economies. Development Engineering Journal. Submitted contribution.
- CANCIO, Y. 2016b. Low investment costs as key driver for upscaling alternative construction technologies. Conference paper submitted for the international

- conference "No cost housing", Swiss Federal Institute of Technology- ETH-Zürich.
- CANCIO, Y. & JIMÉNEZ, N. 2016. Power point presentation in the international teammeeting of LC3 project, Lausanne, Switzerland.
- CANCIO, Y., JIMÉNEZ, N. & CORDERO, J. 2014. Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda producida con cemento cubano de bajo carbono, en la ciudad de Santa Clara. 20.
- CARVALHO, A. C. D. 2001. Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento- Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.
- CASTELLANOS, R. F. 2014. Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio construido con tecnología FORSA, en el Reparto Van Troi II de Caibarién. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- CASTILLO, I. M. 2012. Estudio de factibilidad económico-financiera de la producción de metakaolín y su utilización en la producción de cemento en la fábrica de cemento de Siguaney, Sancti Spíritus. Tesis de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- CASTRO, J. G. I. 2013. Cadenas Productivas: Enfoques y Precisiones Conceptuales. 18.
- COLOMBIA, F. 2007. Eco-vivienda en Latinoamérica. .
- CHIAVENATO, I. 2004. Introducción a la Teoría General de Administración Buenos Aires.
- DANSE, M. 2002. Más allá del Control Ambiental. ISO 14001 y su Impacto en la Ecoeficiencia. Gerente. No. 6: 54-58.
- DOMINGO, A., PELUFO, M. J., SERNA, P., ULLOA, V. A. & VERGARA, N. N. 2012. Uso de los residuos de construcción y demolición en la fabricación de hormigón, para uso estructural. Evaluación de las propiedades mecánicas. 12.
- DRUCKER, F. 1964. La Dirección por Objetivos.
- DURAN, J. P. R. 2014. Hormigones Industriales C x A [Online]. Santiago, República Dominicana. 2015].

- ENRÍQUEZ, A. D. B. & PAYTA, H. D. N. 2014. Las cadenas productivas, estrategias de desarrollo empresarial para el municipio de Tamuín, San Luis Potosí [Online]. México: Juan Carlos Martínez Coll. Available: www.tlatemoani@uaslp.mx.
- FALCK, O. & HEBLICH, S. 2007. Doing well by doing good. *Business Horizons. Corporate social responsibility*, 50, 247-254.
- FIELDING, R. & HERNÁNDEZ, J. F. M. 2014. LC3: de chocolate y Ron.
- FLATT, R. 2012. Concrete: an eco material that needs to be improved.
- FRETES, F. & MARTÍNEZ, M. 2011. Aceites esenciales: Análisis de la cadena de valor. In: (USAID/, A. D. G. D. L. E. U. P. E. D. I. (ed.). Paraguay): ACDI VOCA.
- FRÍAS, M., VEGAS, I., GARCÍA, R. & VIGÍL, R. 2013. Nuevos materiales ecoeficientes a partir de residuos de la industria papelera como adiciones activas para la fabricación de cementos portland. *III*, 13.
- GARCÍA, W. 2014. Evaluación de eco-eficiencia en la cadena productiva de un edificio Gran Panel IV Modificado, en el Reparto Van Troi II de Caibarién. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- GEREFFI, G. 2001. Las cadenas productivas como marco analítico para la globalización Juan Carlos Martínez Coll, 32.
- GIULIANO, H. G. 2014. De la cuna a la cuna : una crítica al diseño ecoeficiente. *Revista Argentina de Ingeniería III*, 84.
- GOEDKOOOP, M., OELE, M., LEIJTING, J., PONSIOEN, T. & MEIJER, E. 2013. Introduction to LCA with SimaPro 8. . The Netherlands.: PRé Consultants.
- GONZÁLEZ, M. 2014. Análisis crítico sobre la conceptualización y medición de la ecoeficiencia empresarial. *Ciencia en su PC del Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba*, 95-107.
- GONZÁLEZ, M., MOSQUERA, G. & PÉREZ, M. M. 2014. Estado del arte sobre la interacción entre la ecoeficiencia empresarial y los actores del desarrollo local sostenible: Análisis crítico. *DELOS: Revista Desarrollo Local Sostenible*, Vol 7. , 16.

- GRAHAM, D., TOMMELEIN, I. D. & SMITH, S. D. 2005. Cost reduction through vertical integration of the in-situ concrete supply chain. Vol. 2, 1006-1014.
- GUENSTER, N., DERWALL, J. & BAUER, B. 2005. The Economic Value of Corporate Eco-Efficiency.
- GUERRICO, C. G. 2013. Porque la huella de carbono y la ecoeficiencia. GENOMAS 2.
- GUEVARA, A. B. & GONZÁLEZ, L. V. 2012. Simulación de un modelo para cuantificar los beneficios económicos de la ecoeficiencia. UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA.
- HERNÁNDEZ, E., MARTÍNEZ, W. E. F., PORTILLO, D. & EDGARDO, W. 2007. Aplicación de la metodología de ecoeficiencia a una empresa dedicada a las artesanías de madera en el municipio de la palma, chalatenango. BOSCO.
- HERNÁNDEZ, F. M. 2003. una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clínker de cemento pórtland: el aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa. Doctor, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- HERNÁNDEZ., R. Y. L. 2014. Evaluación de la eco-eficiencia en los hormigones hidráulicos producidos en la provincia de Villa Clara en los últimos 10 años. pre grado, UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS.
- HIRSCHMAN, A. 1958. The Strategy of economic Development.
- HOBBS, J. E. 2000. Value Chains in the Agri-Food Sector.
- HOWLAND, A. 2013. La eficiencia energética en la producción industrial del hormigón.
- HUMPHREY, J. & SCHMITZ, H. 2013. Aportes: Las empresas de los países en vías de desarrollo en la economía mundial: poder y mejora de las cadenas globales de valor. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, 23.
- HUPPES, G. & ISHIKAWA, M. 2005. A framework for quantified eco-efficiency analysis. Journal of Industrial Ecology.
- IHOBE, S. P. D. G. A. 2009. Analisis del Ciclo de Vida y Huella de Carbono: Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. 53.

- INDUSTRIAL, I. N. D. T. 2007. Mapeo del acceso a los beneficios en Camerún por medio del análisis de la cadena productiva: estudio de caso de la cadena maderera de azobé [Online]. Mexico: Instituto Nacional de Ecología. Available: <http://www.guardian.co.uk/letters/story/0,,1439523,00.html>.
- ISO14040 1997. Geston Ambiental. Análisis del ciclo de vida-Principios y marco de referencia.
- ISO14045 2012. Environmental management — Ecoefficiency assessment of product systems — Principles, requirements and guidelines. Switzerland.
- ISO 1999. Gestion ambiental. Analisis del ciclo de vida. Principios y estructura.
- KAYA, O. 2014. Outsourcing vs. In-House Production: A Comparison of Supply Chain Contracts with Effort Dependent Demand. 22.
- KICHERER, A., SCHALTEGGER, S. & TSCHOCHOHEI, S. 2007. Eco-efficiency. Combining life cycle assessment and life cycle cost via normalization. International Journal of Life Cycle Assessment.
- KOSACOFF, B. & LÓPEZ, A. 2008. América Latina y las Cadenas Globales de Valor: debilidades y potencialidades. Globalización, Competitividad y Gobernabilidad, 2, 19-31.
- KUOSMANEN, T. & KORTELAINEN, M. 2005. Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis. Journal of Industrial Ecology.
- LEAL, J. 2005. Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. Revista de la CEPAL
- LERNER, A. 1951. The Economics of Control, New York, Macmillan Co., New York.
- LUNDY 2003. Cadena de valor, estrategias genéricas y competitividad.
- MARCEL, M. 2002. Indicadores de Eco-eficiencia. 5, 20.
- MARES, L. G., SALAZAR, A. M., GÓMEZ, C. V. G., BOTÍN, A. J. V., MIRANDA, W. C. & RIZO, S. F. C. 2010. Diseño de productos y procesos industriales logrando la ecoeficiencia. Aplicación a la fábrica de muebles la cibeles (jalisco, México). 17.
- MARTIRENA, F. 2005. La producción de eco-materiales para la construcción de viviendas de interés social como una vía para la descentralización. La

- experiencia cubana. III Encuentro mundial de solidaridad con la revolución bolivariana, Venezuela. .
- MARTIRENA, F. 2013. Cemento Ternario en base a arcilla calcinada, carbonato y clínquer.
- MFP, M. D. F. Y. P. 2015. Resolución No.602 "PROFORMA DE ESTADO DE VALOR AGREGADO BRUTO PLAN". La Habana, Cuba.
- MICKWITZ, P. 2006. Regional eco-efficiency indicators-a participatory approach Journal of Cleaner Production.
- MINAM, M. D. A. D. P. 2009. Manual para MUNICIPIOS ECOEFICIENTES.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, P. M. 2009. Guía de Ecoeficiencia para las Empresas.
- MONDEJA, R. 2014. ISO 14045:2012 Gestión Ambiental de la Eco-eficiencia de Sistemas Productivos [Online]. Santa Lucía: Escuela europea de Excelencia.
- MPHIL, K. H. M. 2012. The procurement and use of sustainable concrete on the Olympic Park. Learning legacy, 5, 22.
- N.JOLLANDS, LERMIT, J. & PATTERSON, M. 2004. Aggregate eco-efficiency indices for New Zealand, a principal components analysis.
- NÁPOLES, P. R. 2014. Crecimiento bajo en carbono y adopción de tecnologías para la mitigación. CEPAL – Colección Documentos de proyecto, 59.
- NÚÑEZ, G. 2003. La Responsabilidad Social Corporativa en un Marco de Desarrollo Sostenible. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- OCDE 1998. Eco-efficiency.
- OECD 1998. "Eco-efficiency".
- OLIVEIRA, R. 2002. Teorías de la Administración, Madrid.
- ONUDI 2004. Manual de minicadenas productivas.
- ORTIZ, M. G. & PÉREZ, M. M. 2013. La ecoeficiencia empresarial: Su contribución al desarrollo local sostenible en los marcos de la globalización neoliberal. DELOS: Revista Desarrollo Local Sostenible, 4, 10.

- ORTIZ, M. G. & PÉREZ, M. M. 2016. Evaluación de la interacción entre la ecoeficiencia empresarial y los actores del desarrollo local sostenible. Anuario de Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Vol. VII, 19.
- PARADELO, Y. R. 2015. Diseño y producción de hormigón con cemento de bajo carbono producido en prueba semi-industrial. pre-grado Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- PARETO, W. 1909. Manual de Economía Política, París.
- PARRA, C. 2015. Desarrollan un hormigón ultraligero y eficiente a partir de residuos Residuos profesional.
- PÉREZ, A. C. 2014. Evaluación de la influencia de la molienda separada e intermolienda del cemento de bajo contenido de carbono (CBC), en las propiedades físico mecánicas de morteros. Pre grado, UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS.
- PÉREZ, J. L. & MEZA, V. S. 2013. Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, 10.
- PÉREZ, J. R. 2015. Estudio de factibilidad técnico-financiero de las alternativas de inversión para la industria cementera cubana a corto, mediano y largo plazo pre grado, Universidad Central MARTa Abreu de las Villas.
- PETER HODDINOTT 2014. El rol de la industria cementera en una economía de bajo carbono. Acción concreta para 2050. Cemento & Concreto de Iberoamérica y el Caribe.
- PIERRE, A. 2008. El futuro del hormigón y el hormigón del futuro. Innovación y percepción social en las infraestructuras: el futuro del hormigón.
- PIMENTA, H. C. D., GOUVINHAS, R. P. & S.EVANS 2012. Eco-efficiency within extended supply chain. HOLOS, 1, 13.
- PORTER, M. 2000. Ventaja Competitiva.
- PORTLAND, A. D. F. D. C. 2010. La industria del cemento y la sostenibilidad, Argentina, ILITIA GRUPO CREATIVO.

- POUZA, M. N., CASTILLOS, G. B. & PÉREZ, M. U. 2015. Evaluación de la sostenibilidad de la producción de hormigón a partir del empleo de aditivo. YAYABOCIENCIA 2015, 17.
- PRATT, L. 2002 Nuevas Condiciones para Competir, o Ecoeficientes, o de Segunda Categoría Gerente. No. 6:16-19.
- REYES, V. C. 2011. Análisis del enfoque de cadenas productivas en México1. 10.
- RIBALA, J., SANJUANB, N., CLEMENTEC, G. & FENOLLOSAD, M. L. 2009. Medición de la ecoeficiencia en procesos productivos en el sector agrario. Caso de estudio sobre producción de cítricos. Economía Agraria y Recursos Naturales, Vol. 9, 1, 125-148.
- RODRIGUEZ, B. R. 2003. El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. Forum Ambiental.
- RODRÍGUEZ, D. A. 2015. Eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda prototipo: cemento tradicional carbono.estudio de caso en Sancti Spíritus. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- ROJAS, A. 2015. Eco-eficiencia en la cadena productiva de una vivienda prototipo: cemento tradicional versus cemento de bajo carbono. Estudio de caso en Caibarién. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- S.A., H. E. 2012. Evolución de las Normas para la fabricación de cemento y características de sus aplicaciones. Holcim, 17.
- SÁNCHEZ, S. 2015. Economic and environmental impacts of LC3. Specific case of Cuba. PPT Presentation on LC3 International Meeting. Zurich, Switzerland.
- SÁNCHEZ, S. 2016. Assessing the environmental and economic potential of Limestone Calcined Clay Cement in Cuba. Journal of Cleaner Production.124.
- SÁNCHEZ, S. & CANCIO, Y. 2015. Assessment of Sustainability of Low Carbon Cement in Cuba. Cement Pilot Production and Prospective Case. First International Conference on Calcined clays for Sustainable concrete. Lausanne, Switzwerland.
- SCRIVENER, K. 2014. Reducción en un 40% de la huella de carbono: cemento verde. “Sourceable”, 2.

- SCRIVENER, K. & NONAT, A. 2011. Hydration of cementitious materials, present and future. *Cem. Concr.*, 41 (7), 651-665.
- SCHALTEGGER, S. 1996. Corporate Environmental Accounting.
- SCHALTEGGER, S. & STURM, A. 1998. Eco-Efficiency by Eco-Controlling. Zurich.
- SCHALTERGGER, S. & STURM, A. 1990. Ökologische Rationalität.
- SCHMIDHEINEY, S. 1992. Changing course: A global business perspective on development and the environment, Cambridge.
- TODARO, M. 1997. Economic Development, Londres, Logman.
- TORRES, E., RISCO, M., MARTÍNEZ, A. & PÉREZ, L. 2008. Conociendo la cadena productiva de Tuna y Cochinilla en Ayacucho.
- TRUSTY, W.B., MEIL & J.K. 1999. Building Life Cycle Assessment.
- TYL, B. 2011. Cómo alcanzar la ecoeficiencia a través del ecodiseño y de la ecología industrial. REMAR: Red Energía y Medio Ambiente.
- VARELA, I. 2002. La Acción Empresarial debe Anticipar la Legislación. Gerente. No. 6:27-29.
- VASCO, G. 2003. Medio Ambiente en la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- VÁSQUEZ, J. M. 2008. Ecoeficiencia: Una propuesta de responsabilidad ambiental empresarial para el sector financiero colombiano. Posgrado Maestría, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- VERFAILLIE, H. A. & BIDWELL, R. 2000. Measuring ecoefficiency a guide to reporting company performance. World Business Council for Sustainable Development.
- VIZCAÍNO, L. M. 2014. Cemento de bajo carbono a partir del sistema cementicio ternario clínquer – arcilla calcinada caliza. tesis doctoral, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- WBCSD 2000. Creando más valor con menos impacto.
- WBCSD & PNUMA 1997. 1997.
- WRISBERG, N. 1997. A Strategic Research Programme for Life Cycle Assessment. In From Life Cycle Assessment to Tolls for Chain Management.
- ZERQUERA, I. V. 2015. Producen en Remedios prefabricados para puentes del pedraplén Caibarién-Cayo Santa María. VAnguardia.

ZHANGA, B., BIA, J., FANB, Z., YUANA, Z. & GEA, J. 2008. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: A data envelopment analysis approach. *E C O L O G I C A L E C O N O M I C S*.

Anexos

ANEXOS

Anexo 1: Definiciones de Eco-eficiencia

| Fuente | Definición |
|---|---|
| Gobierno australiano | La eco-eficiencia es un proceso de gestión que está diseñado para " producir más con menos ". La eco-eficiencia puede lograrse mediante el aumento de la recuperación de minerales, utilizando menos insumos como energía y agua, reciclando más y reduciendo emisiones. ^a |
| Agencia Europea de Medioambiente | La eco-eficiencia es la cantidad de " ambiente " utilizada por unidad de " actividad económica ". ^b |
| Centro de Investigación para el Desarrollo Global | La relación entre las salidas económicas (producto, servicio, actividad) y el impacto ambiental agregado causado por la producción, consumo y eliminación. ^c |
| Joseph Fiksel | La capacidad de una entidad gestionada para hacer coincidir la reducción de costos, la calidad, el cumplimiento de las metas, la reducción de impactos ambientales, y la conservación de recursos valiosos. ^d |
| Klaus North | La eco-eficiencia, la producción más limpia y la producción ajustada se basan en una filosofía común: reducir " residuos " en todas las etapas de un proceso de producción. La eliminación de los residuos dará lugar a mejoras en la eficiencia ecológica y contribuye así a: menor consumo de energía, menos material de desecho, menos manipulación de materiales, y menos almacenamiento intermedio. ^e |
| Laurent Grimal | Esta estrategia induce la integración de la tecnología de producción más limpia en el proceso de producción, con miras a una reducción de los materiales y el consumo de energía y por lo tanto a una disminución de la contaminación. ^f |
| LEAN Advisors | Los medios mediante los que se crean más y mejores bienes y servicios utilizando menos recursos y minimizando desechos y contaminación. En la práctica, la eco-eficiencia tiene tres objetivos principales: el aumento del valor del producto o servicio, la optimización del uso de los recursos, y reducción del impacto medioambiental. ^g |
| Nokia | Eco-eficiencia significa producir mejores resultados con menos material y energía. Para nosotros esto significa: reducir al mínimo la intensidad energética, reduciendo al mínimo el consumo de materiales en bienes y servicios, extendiendo la durabilidad del producto, aumentando la eficiencia de los procesos, reduciendo al mínimo la dispersión tóxica, promoviendo el reciclaje, y maximizando el uso de los recursos renovables. ^h |
| Print Net | La eco-eficiencia es un concepto que vincula el desempeño ambiental y financiero. Para ello, se centra en el desarrollo, producción y entrega de productos y servicios que satisfagan las necesidades humanas al tiempo que reduce progresivamente el |

| | |
|--------------------|--|
| | <p>impacto ambiental durante su ciclo de vida. Eco-eficiencia esencialmente significa hacer más utilizando menos recursos medioambientales y haciendo más eficientes los procesos económicos. La aplicación de la eco-eficiencia es emprendida, más que limitada, por enfoques y herramientas tales como producción más limpia y sistemas de gestión ambiental.ⁱ</p> |
| Toshiba Group | <p>La eco-eficiencia se calcula dividiendo el 'valor' de un producto por los impactos ambientales producidos. Cuanto menor es el impacto ambiental y más alto es el valor del producto, mayor es la eco-eficiencia.</p> <p>El valor de un producto se calcula en base a sus funciones y su rendimiento, tomando en consideración la voz del cliente. El impacto medioambiental de un producto se calcula, teniendo en cuenta diversos impactos ambientales a lo largo de su ciclo de vida.^j</p> |
| WMC Resources Ltd. | <p>Maximizar la eficiencia de los procesos de producción y reducir al mínimo el impacto sobre la ambiente. La eco-eficiencia se puede lograr mediante el uso de las nuevas tecnologías, utilizando menos insumos por unidad de producto, como la energía y el agua, el reciclaje más y la reducción de las emisiones tóxicas. En resumen, hacer más con menos.^k</p> |

Fuente: (Braungart et al., 2006)

a Gobierno australiano: sitio web: erin.gov.au/industry/finance/glossary.html.

b Agencia Europea de Medioambiente: sitio web: <http://reports.eea.eu.int/>.

c Centro de Investigación para el Desarrollo Global: sitio web: www.gdrc.org/uem/ait-terms.html.

d Fiksel J. Diseño para el medioambiente: creando productos y procesos eco-eficientes. McGraw-Hill; 1996.

e North K. Gestión medioambiental de negocios. 2nd edición. Geneva: Organización Internacional del Trabajo; 1997.

f Grimal L. La adopción de tecnologías de producción más limpia y el surgimiento de la actividad industrial ecológica: consecuencias para el empleo. Alsace, France; 2003.

g LEAN Advisors sitio web: <http://www.leanadvisors.com>.

h Nokia sitio web: <http://www.nokia.com>.

i PrintNet sitio web: <http://www.printnet.com.au>.

j Toshiba Group sitio web: <http://www.toshiba.co.jp>.

k WMC Resources Ltd. sitio web: <http://www.wmc.com.au/sustain/envrep97/glossary.htm>.

Anexo 2: Cuatro tipos básicos de eco-eficiencia

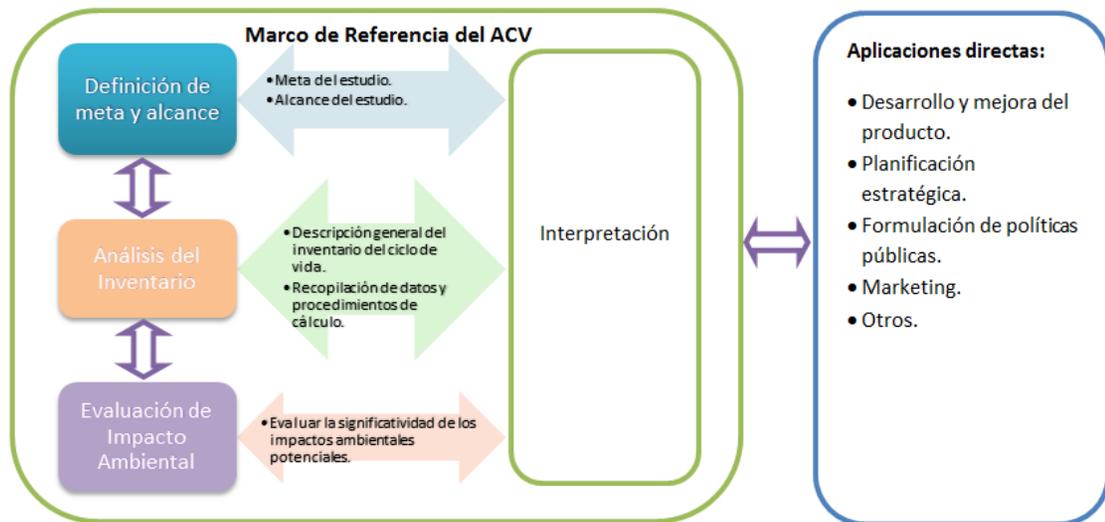
| | Producto o producción primaria | Mejora ambiental primaria |
|--|---|---|
| Lo económico dividido por lo ambiental | <i>Valor de la producción por unidad de impacto ambiental o productividad ambiental</i> | <i>Costo unitario por mejora ambiental o costo de mejora ambiental</i> |
| Lo ambiental dividido por lo económico | <i>Impacto ambiental por unidad de producción o intensidad ambiental</i> | <i>Mejora ambiental por costo unitario o eficacia de los costos ambientales</i> |

Fuente: Huppés & Ishikawa, 2005

Anexo 3: Marco de referencia del ACV

La figura muestra el marco del ACV propuesto por la ISO 14040:1997 compuesto por cuatro elementos principales:

1. Definición del objetivo y alcance
2. Análisis del inventario
3. Evaluación del impacto
4. Interpretación de los resultados



Fuente: Adaptado ISO 14040: 1997

Anexo 4: Avances en eco-eficiencia en algunos países de América Latina y el Caribe

| País | Programas y acciones desarrolladas |
|-------------------|--|
| Brasil | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável</i> (versión nacional del WBCSD) agrupa a diferentes organizaciones empresariales que tengan como firme propósito la promoción del desarrollo sostenible en el medio empresarial a través del concepto de la eco-eficiencia. Participa, junto con organismos de la ONU, del Gobierno Brasileño y de entidades empresariales, en la implantación de la <i>Rede Brasileira de Produção Mais Limpa</i>. • El <i>Ministério do Desenvolvimento</i>, la <i>Confederação Nacional da Indústria</i>, el <i>BNDES</i>, la <i>Sebrae</i> (autoridad ambiental) y el <i>Centro Nacional de Tecnologías Limpias</i>, quienes crearon el programa de producción más limpia. • Premio <i>SEBRAE</i> de la eco-eficiencia destinado a premiar a micro, pequeñas y medianas empresas nacionales que se hayan destacado en sus prácticas de protección ambiental. Participan en una visita técnica a un <i>Centro de Tecnologías Ambientales y Energía</i> del país, las organizaciones con mejores resultados son objeto del <i>Premio Nacional de Conservación y Uso Racional de la Energía</i>, promovido por el sector eléctrico. |
| México | <p>El concepto de eco-eficiencia ha sido aplicado fundamentalmente a la pyme; existen diversas iniciativas privadas que son bien vistas por el gobierno como es el caso del <i>Centro INNOVA para el Desarrollo Sostenible en México</i>.</p> <p>A través del <i>Proyecto de la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación</i> apoyado por la <i>GTZ</i>, hoy <i>GIZ</i>, que plantea el desarrollo de la eco-eficiencia entre sus asociados; se asesora técnicamente y capacita a sectores industriales específicos acerca de los criterios para una gestión eco-eficiente. Hacen parte el programa <i>FUNDES</i>, que apoya técnica y financieramente a las empresas en proyectos orientados a mitigar el impacto ambiental; el <i>Centro de Información para la Eco-eficiencia en los Negocios</i>, que facilita información sobre eco-eficiencia y desarrollo sostenible a toda empresa interesada en estos temas; y <i>Promoción de la Pequeña y Mediana Empresa Eco-eficiente Latinoamericana</i>, que diseña planes de administración ambiental para las pyme. Por otra parte el <i>Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sostenible</i> y un grupo de empresas líderes en materia de desempeño ambiental crearon el <i>Círculo Mexicano de Eco-eficiencia</i>, que publica el <i>Anuario Mexicano de Eco-eficiencia</i> para difundir los avances en el desarrollo ambiental de la industria del país. Cuentan con un sistema de indicadores que representa un esfuerzo para avanzar regionalmente hacia la adopción y medición de la cultura de la eco-eficiencia.</p> |
| Costa Rica | <p>El <i>Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible</i> desarrolló una iniciativa para ser aplicada por el sector financiero. Utilizan una variante de la definición clásica: "La eco-eficiencia es lograr una ventaja competitiva sostenida a través de</p> |

| | |
|------------------|---|
| | <p>mayor productividad de los materiales y la energía, menor impacto ambiental negativo y desarrollo integral de los recursos humanos y la comunidad local". Se enfoca en las siguientes dimensiones: Uso de recursos y relación con proveedores, papel de la economía en la eco-eficiencia y relación con clientes, protección ambiental y socios comerciales evaluación del riesgo ambiental</p> |
| Argentina | <p>El Consejo empresario argentino para el desarrollo sostenible (CEADS) representa diversos sectores (energéticos, petroquímicas, construcción, siderurgia, alimentos, salud, sector bancario, cementeras, comunicaciones, informática y otras); es la organización líder en el país en materia de eco-eficiencia.</p> |
| Chile | <ul style="list-style-type: none"> • Asociación de Empresas y Profesionales por el Medio Ambiente AEPA quienes lideran la implementación de lineamientos para la eco-eficiencia • Desarrollo de ferias internacionales de tecnologías limpias y servicios para el medio ambiente • Desarrollo e implementación de la política de producción Limpia |
| Bolivia | <p>La Cámara Nacional de Industrias lidera la temática ambiental en las industrias, otorga incentivos a las iniciativas de las empresas bolivianas de mejorar la calidad ambiental mediante el financiamiento y reconocimientos. Uno de ellos es el "Premio Nacional a la Eco-eficiencia", que no tiene carácter pecuniario sino que procura mejorar la imagen empresarial y constituir un símbolo reconocido por la sociedad. Ha contado desde su inicio con el apoyo del Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), USAID y la Cooperación Danesa.</p> |
| Venezuela | <p>La Agencia de la Eco-eficiencia (organización Vitalis) lidera en el país los lineamientos necesarios para lograr la misma.</p> |
| Colombia | <p>Han habido importantes esfuerzos por parte de las entidades públicas, principalmente por parte de las autoridades ambientales, entre estos esfuerzos se cuentan la formulación de una Política de Producción más Limpia en 1997 y su replanteamiento hacia una Política de Producción y Consumo Sostenible; asimismo la introducción de la necesidad de implementación de Parques Industriales Eco-eficientes en la ciudad de Bogotá, que se describe en el Plan de Ordenamiento Territorial y la emisión de la Política para parques Industriales Eco-eficientes; también se incluye el desarrollo de importantes programas que buscan promover una producción eco-eficiente en las micro, pequeñas y medianas empresas. Son muchos los esfuerzos que se han desarrollado en el país, a continuación se listan algunos de los avances en la implementación del concepto de eco-eficiencia :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Programas de asistencia técnica, ventanillas ambientales como ACERCAR, la ventanilla ambiental de la CAR ▪ La creación de la figura BORSI que permite transacciones de residuos industriales promoviendo el reuso y la disminución de la cantidad de residuos a enviar a disposición final ▪ El Programa de Excelencia Ambiental Distrital (PREAD) que a través de diferentes niveles de gestión ambiental se premia a las compañías por su avances en eco-eficiencia |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> ▪ El desarrollo de Ferias Internacionales de Medio Ambiente, donde cada vez se busca traer experiencias que se integren a la gestión ambiental realizada en el país ▪ Reubicación de empresarios de artes gráficas del sector de Santa Inés y conformación del Parque Industrial Eco-eficiente ASCOPRO, con una inversión en 2003 de cerca de 4.000 millones de pesos colombianos (red independiente de vertimientos, planta de tratamiento centralizada, bodega de reciclaje y compactación para residuos, sistemas de ventilación para prevenir la concentración de vapores de solventes, centro tecnológico para la investigación, centro de capacitación y de conferencias) |
| <p style="text-align: center;">Perú</p> | <p>El Ministerio del Ambiente (MINAM) diseñó el Programa de Municipios Eco-eficientes. Este procede en aquellas comunidades que aprovechan sus recursos y potencialidades con eficiencia, para el bienestar de su población y el desarrollo sostenible.</p> <p>Tiene como objetivos: la equidad, la sostenibilidad y el logro de eficiencia y eficacia a través de la asistencia técnica a los gobiernos locales, que permiten identificar las oportunidades para el tratamiento y reuso de las aguas residuales; el reciclaje y disposición sostenible apoyando las gestiones técnico financieras para el desarrollo de los proyectos y segura de los residuos sólidos y el ordenamiento territorial para el desarrollo su implementación.</p> |

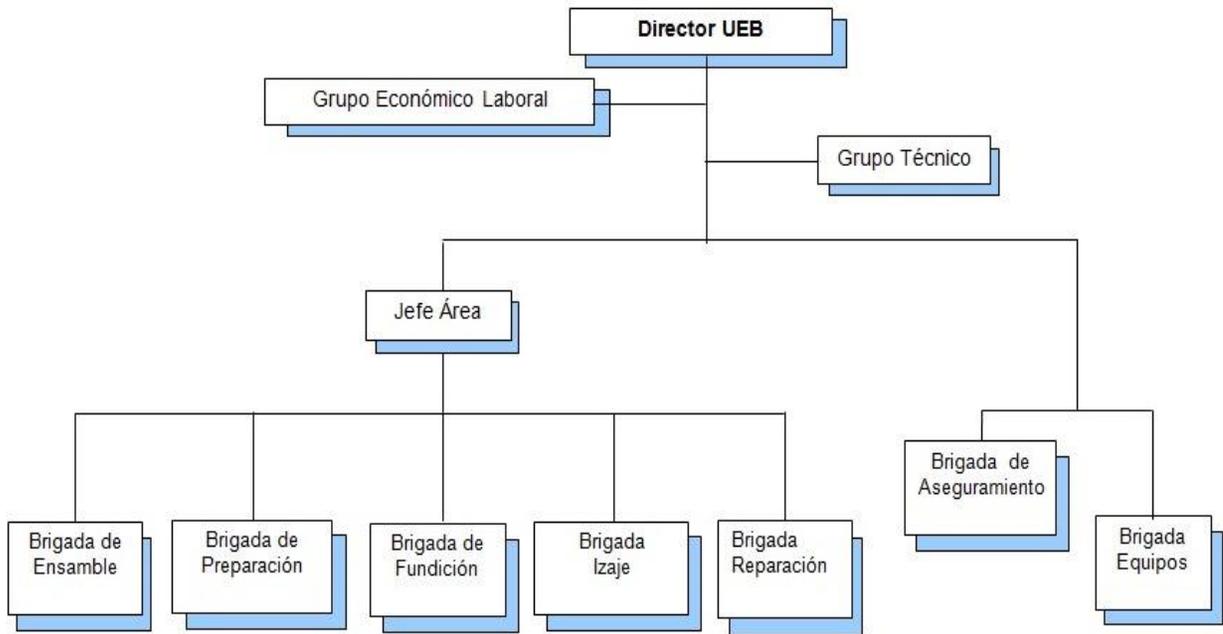
Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Resumen de usos y destinos del cemento de bajo carbono producido en el 2013.

| Institución | Organismo | Cant.(Ton.) | Cant.(Sacos) | Hormigón(m³) | Comentario sobre el uso |
|-------------------------------|----------------|-------------|--------------|--------------|--|
| Empresa Eladio Rodríguez | MINCONS | 22 | - | 73,33 | Producción de bloques huecos de hormigón |
| Industria Matriales Cifuentes | MICONS | 22 | - | 73,33 | Producción de elementos de piso (baldosa prefabricada automática) |
| EPI VC | MICONS | 22 | - | 73,50 | Aplicación en obras de prefabricado (Prefabricado T-26, paneles, losas, alcantarillas, hormigón 20 Mpa y 25 Mpa) |
| ECM No. 3 VC | MINFAR | 16 | 356 | 53,33 | Producción de hormigón de varios elementos (Prefabricado T-26, paneles,cimientos, bloques) |
| ECM No. 3 VC | MINFAR | 4 | 89 | 13,33 | Producción de hormigón para bloques Phi (14) con destino al sitio de exposición |
| EMC | Gobierno de VC | 5 | 111 | 16,67 | Taller de producción materiales Sagua la Grande |
| EMC | Gobierno de VC | 5 | 111 | 16,67 | Taller de producción materiales Manicaragua |
| ECOAI-1 | MICONS | 17 | 17 | 56,57 | Construcción de objetos de obra MICONS |
| UCLV | MES | 7 | 0 | 23,33 | Mantenimiento |
| Siguaney | Constructor | 3 | 67 | 10 | Constructor por esfuerzo propio No.1 |
| Siguaney | Constructor | 3 | 67 | 10 | Constructor por esfuerzo propio No.2 |

Fuente: Reporte del repositorio documental del Proyecto "Cemento de Bajo Carbono".
Martirena (2014)

Anexo 6: Organigrama de la UEB Remedios



Fuente: Manual de la Organización de la UEB Remedios

**Anexo 7: Áreas de trabajo de la UEB
(Directos a la producción)**

| Área | Cantidad de trabajadores |
|--|--|
| Taller de Acero | 13 trabajadores: 8 operarios B, 3 soldadores C y 2 Ayudantes. |
| Brigada de Preparación | 10 trabajadores: 1 electricista y el resto operarios integrales |
| Brigada de Fundición | 15 trabajadores: 10 operarios integrales, 1 operarios B y 1 operario C de planta hormigón, 1 operario de grúa viajera, 2 operarios de grupos de transporte |
| Izaje | 5 Trabajadores: 2 operarios de grúa viajera y 3 operarios de carga y descarga. |
| Brigada de equipos: son los encargados de darle mantenimiento a los equipos de la planta | 3 trabajadores: 1 soldador C, 1 mecánico y 1 electricista. |

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la UEB Remedios

**Áreas de trabajo de la UEB
(Indirectos a la producción)**

| Área | Cantidad de trabajadores |
|--|---|
| Grupo económico-laboral: -Área de RH -Área de Economía | 5 de ellos: -2 trabajadores(1 Especialista, 1 Técnico de Seguridad y Salud) -3 trabajadores (1 técnico de gestión económica, 1 especialista de venta, 1 contador) |
| Grupo técnico: los que supervisan el trabajo de los obreros | 6 trabajadores (2 especialistas y 4 técnicos en prefabricados) |
| Brigada de Aseguramiento: manejo de materiales, herramientas | 4 trabajadores (2 balancistas, 1 ayudante, 1 jefe de aseguramiento) |

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de la UEB Remedios

Anexo 8: Actividades realizadas en el proceso productivo del hormigón

1. Acero

Primeramente el técnico del área realiza un desglose de los aceros que conforman el elemento, posteriormente el operario de máquina portadora corta las barras en las cantidades y longitudes necesarias correspondientes a dicho elemento. El ensamblador coloca las barras rectas y/o dobladas en la posición que corresponde según proyecto y son fijados con alambón o soldadura.

2. Preparación del molde

Se arma el molde correspondiente al elemento utilizando las gualderas (laterales) necesarias, se le aplica un desmoldante para evitar que se pegue la pieza durante la extracción, se colocan los tacos de mortero como separadores (conocidos como durofríos) para evitar que la maya toque el molde y quede sin recubrimiento, se coloca la armadura de acero previamente elaborada en el taller, cuidando que quede bien calzada y colocada, finalmente se ubican los accesorios (izajes, aceros salientes, insertos metálicos, pases, etc.) según el proyecto.

3. Fundición

Para la elaboración del hormigón se comienza pesando los componentes, se mezclan en el tiempo establecido, se agrega el agua y el aditivo según la dosificación. El mismo se obtiene en la planta dosificadora y mezcladora (batching plant), con las dosificaciones aprobadas previamente por la ENIA, según los requerimientos de los elementos que van a ser fundidos.

Para la colocación del hormigón se utiliza grúa y cubo, se compacta el mismo utilizando vibradores de inmersión o contacto según se requiera y se le da terminación al elemento con frota y llana.

4. Izaje y Almacenamiento (se encarga de mover y trasladar los elementos tanto internamente con la utilización del Montacarga VOLVO como para transportación externa)

Después del tiempo establecido se extrae el elemento por las grúas de izaje y se almacenan respetando las normas de almacenaje correspondiente.

Anexo 9: Resolución 602/2015 del Ministerio de Finanzas y Precios (MFP) sobre el Estado del Valor Agregado Bruto.

| | | | | | | | | |
|--|-----|--------|--|-------|-----------|--------------------------|-----------------------------|---|
| Ministerio de Finanzas y Precios | | | Estado de Valor Agregado Bruto Plan | | | | | Unidad de Medida: Pesos Cubanos con dos decimales |
| Entidad: | | | | | | | | |
| Código Entidad | | | NAE | | DPA | | | Página 1 |
| ORG | SUB | CODIGO | DIVISION | CLASE | PROVINCIA | MUNICIPIO | | |
| | | | | | | | | |
| CONCEPTO | | | | | Fila | Plan 2015 Recalculado | Estimado2015 Recalculado | Plan 2016 |
| (A) | | | | | (B) | (1) | (2) | (3) |
| Ventas o Ingresos Netos | | | | | 01 | | | |
| Más: Financiamiento Recibido de las empresas | | | | | 02 | | | |
| Más: Saldo de la Cuenta Producción en Proceso en esta fecha | | | | | 03 | | | |
| Menos: Saldo de la Cuenta de Producción en Proceso al Inicio del Año | | | | | 04 | | | |
| Más: Saldo de la Cuenta Producción Terminada en esta fecha | | | | | 05 | | | |
| Menos: Saldo de la Cuenta de Producción Terminada al Inicio del Año | | | | | 06 | | | |
| Menos: Aumento de la existencia de producción terminada por conceptos distintos al de producción y entrega | | | | | 07 | | | |
| Más: Disminución de la existencia de producción terminada por conceptos distintos al de producción y entrega | | | | | 08 | | | |
| Más: Gastos diferidos del período relacionados con procesos productivos y de servicios | | | | | 09 | | | |
| Más: Gastos del período de las producciones destinadas al insumo o al autoconsumo | | | | | 10 | | | |
| Más: Saldo de las cuentas de Otros Ingresos e Ingresos Financieros (Excepto variación de tasas de cambio y los dividendos) | | | | | 11 | | | |
| Menos: Gastos incorporados a las producciones en proceso proveniente del almacén de las producciones de insumo o del autoconsumo | | | | | 12 | | | |
| Más: Gastos de Reparaciones Generales con medios propios | | | | | 13 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--|----|--------------------|--|--|---|---|---|--|--|--|
| Más: Inversiones con medios propios | 14 | | | | | | | | | |
| Menos: Saldo de la cuenta Costo de Venta de las Mercancías | 15 | | | | | | | | | |
| PRODUCCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS | 16 | | | | | | | | | |
| Gasto Material | 17 | | | | | | | | | |
| Otros Gastos Monetarios | 18 | | | | | | | | | |
| Financiamiento entregado a la OSDE | 19 | | | | | | | | | |
| CONSUMO INTERMEDIO | 20 | | | | | | | | | |
| VALOR AGREGADO BRUTO CREADO | 21 | | | | | | | | | |
| HECHO POR: | | APROBADO POR: | | <p>CERTIFICAMOS QUE LOS DATOS CONTENIDOS EN ESTE ESTADO FINANCIERO SE CORRESPONDEN CON LAS ANOTACIONES CONTABLES DE ACUERDO CON LAS REGULACIONES VIGENTES</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>D</td> <td>M</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> | D | M | A | | | |
| D | M | A | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| _____ | | _____ | | | | | | | | |
| Nombre y Apellidos | | Nombre y Apellidos | | | | | | | | |
| _____ | | _____ | | | | | | | | |
| Firma | | Firma | | | | | | | | |

Fuente: Resolución 602/2015 del MFP