

Evaluación de la sostenibilidad de aditivos en la producción de hormigón pretensado*

Evaluation of the sustainability of admixture in the production of prestressed concrete

Recibido: Mayo 26 de 2021 - Evaluado: Agosto 27 de 2021 - Aceptado: Noviembre 29 de 2021

Mayra Nápoles Pouza**
Grisel Barrios Castillos***

Para citar este artículo / To cite this Article

Nápoles Pouza; M., & Barrios Castillo, G. (2022). Evaluación de la sostenibilidad de aditivos en la producción de hormigón pretensado. *Revista Gestión y Desarrollo Libre*, 7(13), [Rango de páginas del artículo](#).

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad de los aditivos en la producción de hormigón pretensado de la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas. Desde la metodología, se recurre a los métodos y técnicas específicos, análisis - síntesis, entrevistas, la revisión de resultados de experimentación técnicos y se utilizan los softwares profesionales SPSS vs-22 y Simapro vs-8.0.3.14. La aplicación del modelo confirma los potenciales beneficios medioambientales, económicos y sociales de la inserción del aditivo nacional CBQ-VTC en la cadena productiva del hormigón, pues favorece la reducción de la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, representa la disminución de importaciones en más de un millón de USD anuales, potencia mejoras en la cadena de valor y su implementación en obras constructivas sociales. En el modelo que se presenta subyace el enfoque de desarrollo sostenible donde cada impacto está condicionado o influye sobre las esferas económica, social y medioambiental. Los resultados de la evaluación realizada, muestran que los principales impactos están asociados con el ahorro de

* Artículo inédito. Artículo de investigación e innovación. Artículo de investigación. Artículo vinculado al programa doctoral de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas y al proyecto de investigación coordinado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo de Estructuras y Materiales, el Centro de Bioactivos Químicos de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas y el Instituto Tecnológico “Carlos J. Finlay”.

** Licenciada en Ciencias Económicas y Máster en Administración de Negocios por la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. Profesora de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. Email: mayranp@uclv.cu

*** Licenciada en Cibernética Económica por la Universidad Estatal de Kasán, Rusia; Máster en Desarrollo Económico y Doctor en Ciencias Económicas por la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. Profesor de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba. Email: gbarrios@uclv.edu.cu

energía y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que a su vez incide en la reducción de enfermedades asociadas a este tipo de producción; y el ahorro de divisas por sustitución de importaciones, permitiendo su reinversión en la economía. Los aportes principales radican en que se emplea un modelo de evaluación diseñado con base en el Análisis del Ciclo de Vida, de viabilidad socioeconómica y medioambiental en la introducción del aditivo en el país, extensivo a otros sectores de la economía; y se favorece el desarrollo del contorno medioambiental de la industria, a partir de la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero, así como de otras categorías económico y social.

Palabras Clave: Evaluación, Sostenibilidad, Aditivos, Indicadores Medioambientales, Socioeconómicos

Abstract

The objective of this research is to evaluate the sustainability of additives in the production of prestressed concrete of the Industrial Company of Fixed Installations. From the methodology, specific methods and techniques are used, analysis - synthesis, interviews, review of technical experimentation results and the professional software SPSS vs-22 and Simapro vs-8.0.3.14 are used. The application of the model confirms the potential environmental, economic and social benefits of the insertion of the national additive CBQ-VTC in the concrete production chain, since it favors the reduction of the emission of carbon dioxide into the atmosphere, it represents the reduction of imports in more than one million USD per year, promotes improvements in the value chain and its implementation in social construction projects. The model presented underlies the sustainable development approach where each impact is conditioned or influences the economic, social and environmental spheres. The results of the evaluation carried out show that the main impacts are associated with energy savings and the reduction of greenhouse gas emissions, which in turn affects the reduction of diseases associated with this type of production; and the saving of foreign exchange by import substitution, allowing its reinvestment in the economy. The main contributions lie in the fact that an evaluation model designed based on the Life Cycle Analysis, socioeconomic and environmental feasibility is used in the introduction of the additive in the country, extensive to other sectors of the economy; and the development of the environmental outline of the industry is favored, based on the evaluation of greenhouse gas emissions, as well as other economic and social categories.

Key words: Evaluation, Sustainability, Admixture, Environmental Indicators, Socioeconomic

SUMARIO

INTRODUCCIÓN. - ESQUEMA DE RESOLUCIÓN. - I. Problema de investigación. - II. Metodología. - III. Plan de redacción. - 1. El desarrollo sostenible y los materiales de la construcción. Sostenibilidad del hormigón. - 2. Metodologías de evaluación de la sostenibilidad. Aplicaciones a productos de la construcción. - 3. Resultados de investigación. - CONCLUSIONES. - REFERENCIAS.

Introducción

La idea del planeta como fuente inagotable de recursos se va diluyendo tras años de subestimarlos como ilimitados. Estudiar el medio ambiente conlleva como principio, establecer un equilibrio entre el desarrollo de la actividad humana y el medio que la rodea, así como el de generar instrumentos que regulen e impidan los abusos directos e indirectos (Urza Pérez, 2015) sobre el mismo. En la actualidad, los cambios tecnológicos se producen a un ritmo acelerado y progresivo, simultáneamente, el medio ambiente se deteriora. El sector de la construcción no escapa a su influencia, por lo que se plantea la búsqueda de nuevas fuentes de materias primas que sean sostenibles ambiental, social y económicamente, producto de la alta demanda que presentan los materiales constructivos.

Los componentes del hormigón son: cemento, áridos, agua y los aditivos, según la Norma Cubana 228-1 (2005). Los aditivos constituyen insumos muy empleados en el mundo, debido a su capacidad para reducir el agua de amasado y consecuentemente, obtener hormigones más resistentes, económicos y durables. Buscar variantes productivas que respondan a estas exigencias mundiales y medio ambientales y al mismo tiempo desarrollen progresivamente la calidad de los hormigones, constituye un reto. Sin embargo, los altos costos de importación de los aditivos, así como las restricciones económico- financieras impuestas a Cuba, apostan a los aditivos para hormigón como uno de los productos de mayor fluctuación en el país. Según datos oficiales de la Oficina Nacional de Estadística en Cuba (2016), se han producido como promedio en los últimos 10 años 160 000 m³ de hormigón, cada m³ de hormigón consume aproximadamente entre 5 y 8 litros de aditivo, el costo de este producto en el mercado internacional oscila entre 5 y 8 USD, por lo que los gastos anuales para el país como promedio representan entre 1 y 6 millones de USD (Nápoles Pouza, 2020).

Como una de las alternativas en la búsqueda de sustituir importaciones se desarrolla desde el año 2015 en el Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) de Villa Clara, Cuba, a escala industrial el aditivo registrado como marca CBQ-VTC, que técnicamente ha demostrado la factibilidad de su introducción como insumo básico en la producción de hormigones (Nápoles Pouza, 2020). Contar en el mercado nacional con un aditivo propio no solo permite sustituir las importaciones de productos análogos y su correspondiente ahorro en divisas, sino también, menos riesgos e incertidumbre en la cadena de suministros, mayor independencia del mercado externo y en un segundo momento, un mayor incremento del consumo que permite extender su uso a un segmento de mercado no cubierto.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad de los aditivos en la producción de hormigón pretensado de la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas en la provincia de Villa Clara. Inicialmente se formula la problemática, en la cual se cuestiona sobre la contribución a la evaluación de la sostenibilidad de los aditivos en la producción de hormigón pretensado, luego se presenta la metodología que se aplicó para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados. Posteriormente se realiza el levantamiento bibliográfico donde se demuestra que no se encuentran evidencias de la aplicación de modelos que permitan la evaluación sostenible del empleo de aditivos de origen orgánicos en la producción de hormigón y se constata que los modelos con enfoque de análisis de ciclo de vida son los más completos y empleados para evaluar productos para la construcción.

El valor científico de la investigación radica en que por primera vez en Cuba se propone y aplica un modelo de evaluación de la sostenibilidad de los aditivos de origen orgánico en la producción de hormigón en Villa Clara, lo que debe contribuir a perfeccionar el proceso de toma de decisiones para la introducción de innovaciones en la industria y en un plano más amplio, debe permitir, su instrumentación, incrementando la producción de hormigones pretensados que aseguren el programa de recuperación y desarrollo del ferrocarril dentro del proceso inversionista del país y la sustitución de importaciones como parte del proceso de actualización del modelo socioeconómico cubano.

Esquema de resolución

1. Problema de investigación

¿Cómo se puede evaluar la sostenibilidad de la introducción del aditivo CVQ-BTC en el proceso productivo del hormigón pretensado de traviesas en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas en la provincia de Villa Clara?

2. Metodología

Para la realización de esta investigación se emplearon diferentes métodos científicos tanto del nivel teórico como del nivel empírico.

Del nivel teórico: análisis-síntesis, empleado en todo el proceso de investigación para el estudio crítico de la literatura especializada en la temática objeto de estudio. Histórico-lógico, para analizar la evolución, superación y aportes más relevantes de la teoría. Inducción-deducción, para el análisis, uso y tratamiento de la información y los datos que se utilizan con mucha frecuencia en la investigación.

Del nivel empírico: revisión de documentos, que permite la obtención de la información precisa y relevante. Entrevista, utilizada en el trabajo con expertos, tanto investigadores y académicos como especialistas y tecnólogos. Revisión de resultados de experimentación, consultados por lo novedoso del producto que se espera introducir con el proyecto de inversión estudiado.

Para el procesamiento de la información se empleó el software estadístico SPSS vs-22 y el software profesional para el análisis de ciclo de vida de productos y procesos (Simapro vs-8.0.3.14).

3. Plan de redacción

3.1 El desarrollo sostenible y los materiales de la construcción. Sostenibilidad del hormigón

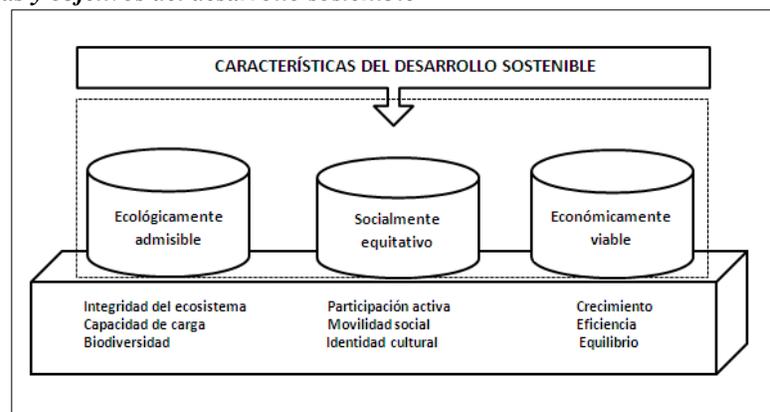
La sostenibilidad constituye un enfoque que ha dado un giro radical a la forma de afrontar nuestra existencia. Como expone Yepes Piqueras (2015), el concepto del desarrollo sostenible se utilizó por primera vez a nivel institucional en 1980 en el informe Estrategia Mundial para la

Conservación (IUCN, 1980) y se popularizó a partir de la publicación en 1987 del Informe Brundland sobre el futuro del planeta y la relación entre medio ambiente y desarrollo (Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, 1987); en este último documento, se define el desarrollo sostenible como “aquel que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”, permitiendo un acceso continuado a los recursos naturales e impidiendo los daños al medio ambiente. La equidad intergeneracional a la que esta idea hace referencia es referida en la declaración de Río de 1992.

En la segunda estrategia mundial de la conservación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (*International Union for Conservation of Nature*, IUCN), conjuntamente con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Fondo Mundial de la Fauna Silvestre (*World Wildlife Fund*, WWF) (1991), es responsable del siguiente antecedente, el documento “Cuidar la Tierra”. Así, el producto de un desarrollo de este tipo es una “economía sostenible” que se entiende como aquella que logra mantener la base de recursos naturales y puede continuar desarrollándose mediante la adaptación y mejores conocimientos, organización y eficiencia técnica, y una mayor sabiduría (García, 2014).

Son varios los investigadores que, en sus propuestas, cada vez más, evidencian la relación entre la economía y el medio ambiente. La consideración de una teoría del desarrollo sostenible que considera las tres dimensiones, la ecológica, económica y social, se representa en la figura 1.

Figura 1. Características y objetivos del desarrollo sostenible



Fuente: Sánchez Machado (2010).

Esta nueva forma de producir, sin frenar el desarrollo y sin comprometer la sostenibilidad, necesita ser incorporada por todo el colectivo afectado (sector productivo, usuario final y administración pública), para en conjunto, dar respuestas satisfactorias más respetuosas con el entorno ambiental y que el resultado de ese esfuerzo se transforme en valores culturales para conducir a todos hacia una convivencia comprometida con un futuro sostenible (Mebratu, 1998). Massolo, (2015) refiere que el sector de la construcción requiere un consumo elevado de materiales y energía, lo que consecuentemente, genera grandes cantidades de emisiones gaseosas, líquidas o sólidas contaminantes al medio ambiente. Así pues, para elevar medioambientalmente al sector se requiere: reconocer, cuantificar y calificar tanto los recursos

utilizados como las emisiones generales en las diferentes etapas del proceso constructivo (Urrea Pérez, 2015).

Lograr disminuciones del consumo de cemento en el diseño y producción de hormigones con altas prestaciones, es el reto mayor que se impone a la industria del hormigón, basado en el creciente desarrollo de los aditivos químicos que varían las propiedades reológicas, que facilitan la colocación (Habert, Billard, Rossi., Chen & Roussel, 2010). El problema principal con aditivos químicos es el alto contenido de CO₂ que contiene, debido a su origen orgánico. Sin embargo, como su presencia en la mezcla de concreto es bajo (alrededor del 0,60% del peso del cemento), su relevancia en la carga medioambiental del concreto es muy pequeña (menos de 1,00% de la proporción) (Beltrán, 2014). Incluso, su contribución puede ser ignorada, de acuerdo con las ISO 14041 (2000), ISO 14040 (2005) e ISO 14044 (2006).

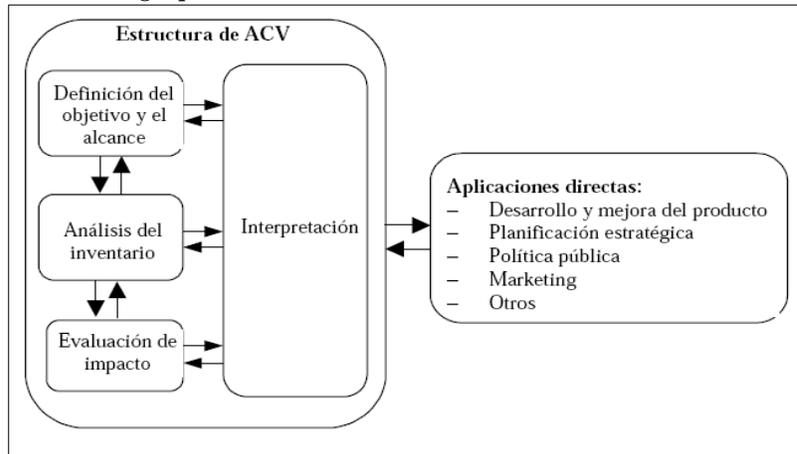
Los miembros de La Federación Europea de Aditivos para el Concreto (EFCA), han estado entrenando en el uso del programa computacional para el Análisis del Ciclo de Vida (LCA), EcoConcrete, que permite establecer el perfil ambiental de los aditivos y los potenciales beneficios medioambientales en la mezcla de hormigón (Dransfiel, 2013). El 90,00% de los aditivos usados está en una dosis menor del 0,10% de producto químico del peso del concreto. Aun en este nivel de adición, su efecto beneficioso en propiedades del concreto, es significativo proveer una mezcla más eco- eficiente, con características mejoradas de colocación y mejor durabilidad. A pesar de estos beneficios, el hecho de que las mezclas son derivadas de la industria química, implica que son estimadas con sospecha por muchos reguladores (Ferreira, 2018).

El levantamiento bibliográfico realizado evidencia que existen diversos trabajos investigativos como los desarrollados por Beltrán Triana (2014), Machado Torres (2015), Martín León (2016), Pérez Sotolongo (2015), Urrea Pérez (2015), Váldez Alemán (2016) entre otros, que analizan a los impactos de los aditivos desde alguna de las dimensiones de la sostenibilidad, en su mayoría se aborda la dimensión técnica, pocos abordan las dimensiones técnico- económica y se encuentra escasas investigaciones que incorporan la dimensión medioambiental fundamentalmente a través del análisis del ciclo de vida.

3.2 Metodologías de evaluación de la sostenibilidad. Aplicaciones a productos de la construcción

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 o producto a lo largo de su ciclo de vida (Carvalho, 2001). Zimoch (2012) introduce el concepto y metodología del ACV, así como el análisis de costes (CCV) para las distintas fases del ciclo de vida de una construcción y las herramientas disponibles para su aplicación. Del mismo modo, incorpora un estudio de los sistemas de gestión de puentes para diferentes países y el análisis de su funcionamiento, donde destacan herramientas como BatMan (Suecia) que incorporan el ACV y CCV en la definición de la óptima estrategia de gestión y estudios de alternativas de actuación frente a impactos económicos. La metodología general para el análisis del ciclo de vida se resume en la figura 2.

Figura 2. Esquema de la metodología para el Análisis del Ciclo de Vida



Fuente: elaboración propia según la Norma UNE-EN-ISO 14040 (2006).

Otras herramientas muestran una mayor sencillez en su funcionamiento, como SGP (España) que únicamente incluye un catálogo de costes de las actuaciones pero no implementa modelos de evaluación ni recopilación de información de costes, mejores o planificaciones en un marco temporal (Comisión Europea, 2015). Sundquist & Karoumi (2012) introducen la metodología del análisis de Costes de Ciclo de Vida sobre la base de los costes inducidos de agencia, quien cubre principalmente el diseño, la construcción, el mantenimiento y la disposición final, así como los costes de los usuarios producidos por los retrasos, incomodidades e incremento de riesgos, y finalmente, los costes en la sociedad repercutidos por accidentes, impactos ambientales y otros. El estudio analiza la sensibilidad de los parámetros afectados en el cálculo (Roca, 2014).

Sagemo & Storck (2013) definen el concepto y metodología del ACV y CCV, así como la integración de ambas metodologías y su aplicación. El estudio presenta diferentes enfoques para la integración de ACV y análisis CCV, que se analizan de forma independiente y se otorga una puntuación para la categoría ganadora de cada uno de los análisis. Posteriormente, se combinan los enfoques ambientales y económicos mediante análisis de decisiones multiatributo (Urra Pérez, 2015).

Sánchez Berriel (2017) presenta en su investigación una comparación de 19 modelos de evaluación de impactos propuestos en los últimos 15 años, donde se incluyen los principales autores encontrados en el proceso de pesquisa realizado en el marco nacional e internacional en relación a los siguientes métodos o herramientas de evaluación: Indicadores de Rentabilidad (IR), Análisis costo-beneficio (ABC), Simulación y modelos matemáticos (S-MM), Análisis de costos de ciclo de vida (ACCV), Costo evitado (CEv), Valuación contingente (VC), Otros métodos de evaluación económica (OMVE), Análisis de ciclo de vida (ACV), Juicio de expertos (JE), Búsqueda de antecedentes (BA), Análisis multicriterio (AMc) y Análisis social de ciclo de vida (ACV-S).

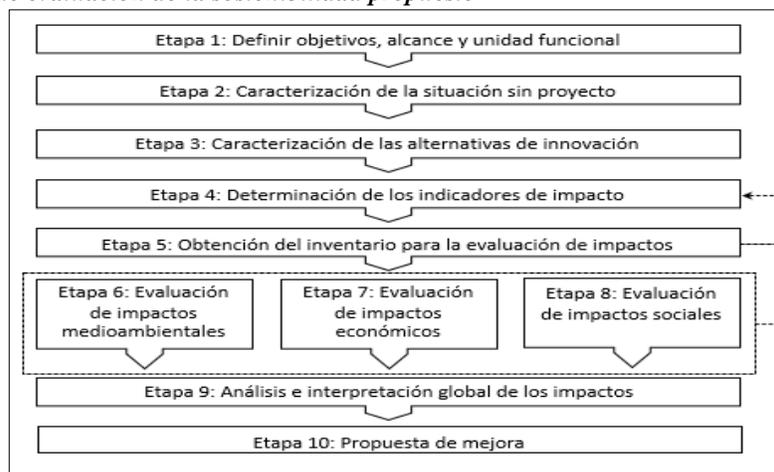
Según Sánchez Berriel (2017) aunque teóricamente se reconoce la necesidad de integrar los factores económicos, sociales y medioambientales, solo el 47,00% de estos estudios lo logran de forma eficiente. El componente económico se incluye en el 100,00% de los modelos, de ellos el 68,00% se considera realiza un análisis satisfactorio. En un segundo plano, con un 58,00% de

utilización efectiva, se encuentra el aspecto medioambiental y el componente social se incluye de forma efectiva en solo el 42,00% de los modelos analizados; elemento que se considera una debilidad importante en los sistemas de evaluación propuestos, ya que su no inclusión limita la determinación de efectos asociados al bienestar social en general. En su propuesta de un modelo de evaluación integrada de impactos para la industria cementera que tiene sus bases metodológicas en diversas herramientas que son ampliamente usadas para evaluaciones de impacto económicas, sociales y medioambientales por separado, aunque la herramienta Análisis Sostenible del Ciclo de Vida es la herramienta central de la propuesta. Su integración, de manera sistémica, le otorga una robustez metodológica que permite abarcar las dimensiones del desarrollo sostenible y evaluarlas, al mismo tiempo que son develados los vínculos que existen entre ellas

El modelo de evaluación de impactos que se propone en la presente investigación es resultado de la experiencia obtenida del estudio de impactos en esta industria durante un período de cinco años, tiene sus bases metodológicas en el modelo propuesto por Sánchez Berriel (2017) que parte como herramienta central de su propuesta en el Análisis Sostenible del Ciclo de Vida (ASCV) y en diversas herramientas que son ampliamente usadas para evaluaciones de impacto económicas, sociales y medioambientales. Finalmente, la propuesta metodológica (Nápoles Pouza, 2020) para la evaluación de la sostenibilidad desglosada en etapas se presenta en la figura 3.

El alcance del estudio debe estar lo suficientemente bien definido para asegurar que la extensión, la profundidad y el detalle del estudio sean compatibles y suficientes para dirigirse hacia la meta establecida. Se recomienda que para un nivel de integración final se mantenga el alcance igual en todas las evaluaciones de impactos económicos, medioambientales y sociales, pero según el interés del decisor este puede variar en cada una de las etapas de análisis individuales (Nápoles Pouza, 2020). El alcance de la evaluación depende además de la disponibilidad de información que exista. Para el cálculo de impactos medioambientales la base de datos Ecoinvent provee información para realizar evaluaciones de varios países y regiones del mundo (Gervasio & da Silva, 2018). Los datos económicos o sociales deben ser compilados por los evaluadores a través de diferentes técnicas de investigación como entrevistas, revisión de documentos, análisis de literatura, observación, entre otros.

Figura 3. Diagrama de evaluación de la sostenibilidad propuesto



Fuente: elaboración propia.

3.3 Resultados de investigación

Este subíndice está dedicado a la validación de la hipótesis de investigación planteada a través de la aplicación del modelo propuesto de evaluación de la sostenibilidad de la introducción de aditivos en la producción de hormigón. Se define como objetivo central de la aplicación del modelo: evaluar los impactos medioambientales, económicos y sociales de la introducción del aditivo CBQ- VTC en la producción de traviesas de hormigón pretensado.

El estudio ambiental que se realiza se enfoca desde la producción y transporte de las materias primas del hormigón para la traviesa en la fábrica (de la cuna a la puerta). La unidad funcional que se considera en la realización del estudio es una traviesa de hormigón pretensado; se toma como referencia este valor para realizar los cálculos de los materiales y productos a utilizar.

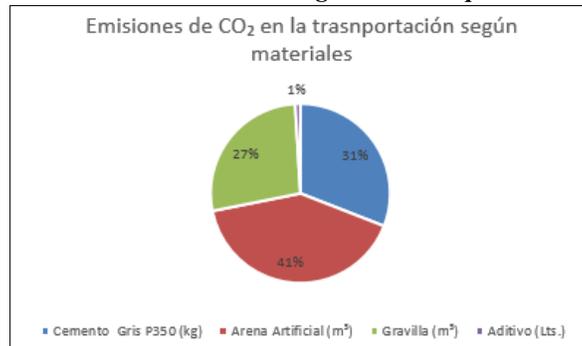
La etapa de evaluación de los impactos medioambientales en el proceso de producción del hormigón pretensado se realiza a partir de definir dos escenarios posibles, en correspondencia con los resultados técnicos experimentales desarrollados en el proceso de producción de la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas: el primero, emplear el aditivo importado Dynamon SX 32 y el segundo, aditivo nacional CBQ-VTC para la producción de traviesas de hormigón.

En la elaboración del inventario general, se consideran todas las entradas de materias primas, materiales, el uso de energía, y combustible de cada uno de los procesos que intervienen en el ciclo de vida del producto objeto de estudio. Los datos para la conformación del inventario se obtienen a partir de las siguientes fuentes: 1) instituciones internacionales referentes en el tema como el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, World Business Council for Sustainable Development) y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), para los factores de emisión y poder calórico de diferentes tipos de combustibles (WBCSD/CSI, 2013; IPCC, 2014b); 2) la Federación Europea de Aditivos para el Concreto (EFCA) y el programa computacional para el Análisis del Ciclo de Vida (LCA), EcoConcrete que permitieron la obtención de los perfiles ambientales para los aditivos; 3) documentos que emiten regularmente la Organización Internacional de Normalización ISO 14040 (2005), el Catálogo de Combustible de Cuba, documento que emite la empresa CUPET y la Unión Eléctrica Nacional para los procesos vinculados con la extracción de materias primas y combustibles, transporte y generación eléctrica, ajustados a las condiciones cubanas (Oficina Nacional de Estadística e Información, 2016); y 4) indicadores técnicos, productivos, económicos y sociales del Centro de Bioactivos Químicos (CBQ) y la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas (EIIIF).

La evaluación medioambiental se realiza a partir de varios indicadores, en este apartado se analiza en detalle el consumo de energía en el proceso de transportación y por concepto de producción y utilización de las materias primas, expresado en megajoules (MJ); las emisiones de CO₂ en el proceso de transportación y por concepto de producción y utilización de las materias primas, expresado en kilogramos de CO₂. Los cálculos se realizan utilizando el software profesional Simapro vs-8.0.3.14 y la herramienta de Windows Microsoft Excel 2013, para el tratamiento de algunos datos. En la figura 4 se puede apreciar que el por ciento de las emisiones de CO₂ se comporta de forma similar en la transportación de los materiales, condicionado por las distancias recorridas; sin embargo, el aditivo que tiene el mayor ciclo de transportación,

prácticamente se anula, como resultado de su baja proporción en la dosificación del m³ de hormigón.

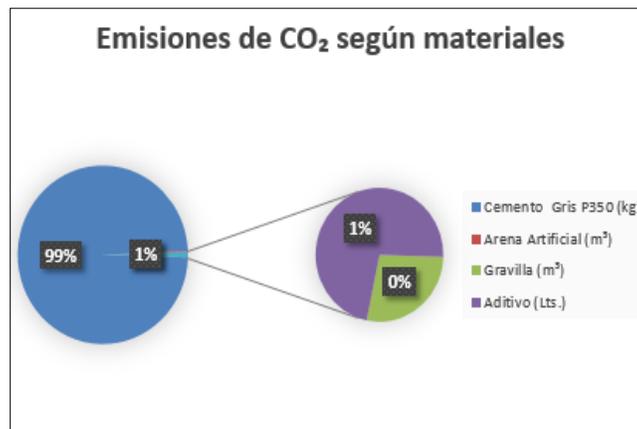
Figura 4. Análisis comparativo de las emisiones de CO₂ según materias primas en la transportación



Fuente: elaboración propia.

El análisis comparativo de las emisiones de CO₂ (figura 5) en la producción de hormigón pretensado independientemente del escenario analizado, evidencia que es el cemento el responsable del 99,00% de las emisiones totales como se resalta por varios autores en las fuentes bibliográficas consultadas, tales como Mariategui (2017) y Marinkovic, Radonjanin, Malesev & Ignjatovic (2010).

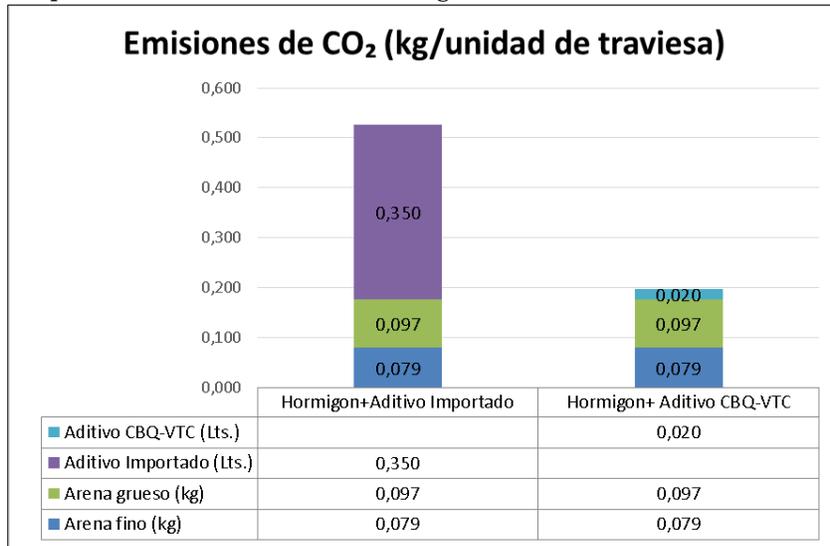
Figura 5. Análisis comparativo de las emisiones de CO₂ según materias primas en el proceso productivo del hormigón



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, en la figura 5, se confirma lo expuesto en las ISO 14041 (2000), ISO 14040 (2005) e ISO 14044 (2006), referido a que los aditivos solo representan aproximadamente un 1,00% de las emisiones totales; siendo, sin embargo, mayor proporcionalmente que las emisiones correspondientes a los áridos. En la figura 6 se muestra una comparación del comportamiento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera; a partir de los dos escenarios mutuamente excluyentes evaluados. Se puede observar cómo se presenta una tendencia a la disminución de las emisiones en la medida en que se reemplaza, según la dosificación, la proporción de aditivo CBQ-VTC, ya que en el proceso productivo del aditivo nacional se producen una proporción menor de emisiones a la atmósfera.

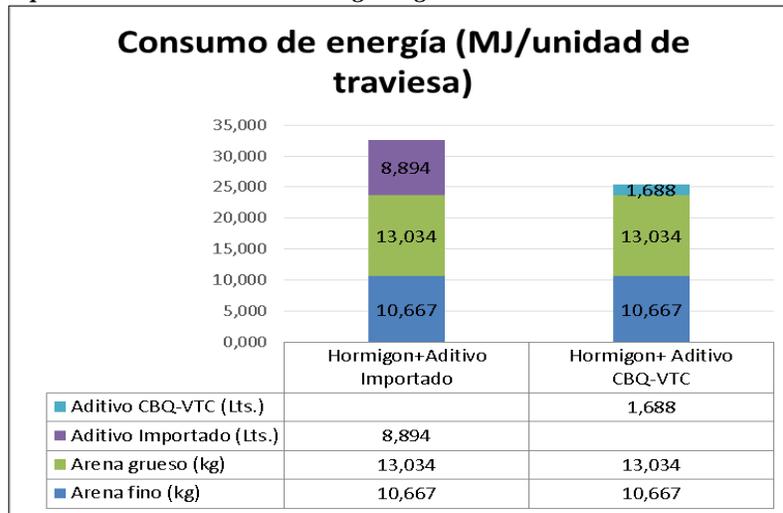
Figura 6. Análisis comparativo de las emisiones de CO₂ según escenarios evaluados



Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 se presenta una comparación del comportamiento del consumo de energía total, considerándose los dos escenarios descritos. Se puede observar cómo, el comportamiento será similar con una tendencia a la disminución; sin embargo, es importante significar que el consumo de energía por litro producido del aditivo CBQ-VTC representa solo el 14,00% del consumido por el Dynamon SX 32.

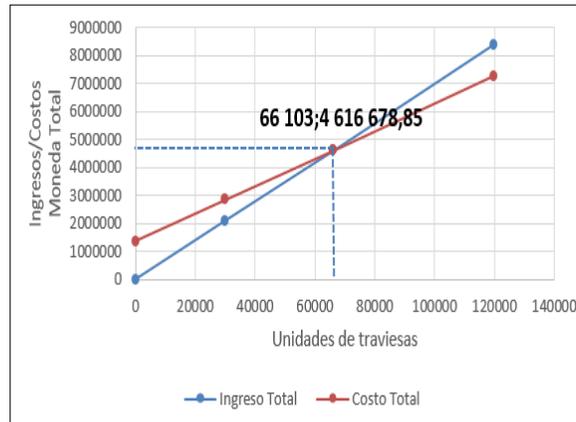
Figura 7. Análisis comparativo del consumo de energía según escenarios evaluados



Fuente: elaboración propia.

Para evaluar la factibilidad económica se estudian las capacidades productivas y el punto de equilibrio, determinados a partir de los datos copilados en el inventario. En la figura 8 se representa el punto mínimo de producción establecido para un año productivo, estimándose una producción de 66 103 traviesas, lo que representa un ingreso/costo de 4 616 678.85 moneda nacional para el período productivo de un año.

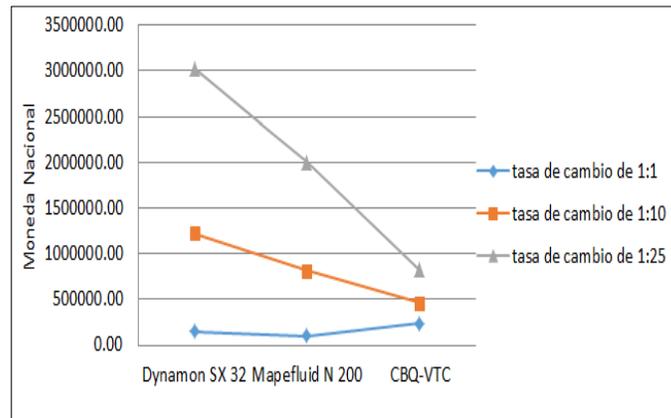
Figura 8. Punto de equilibrio anual



Fuente: elaboración propia.

En esta investigación se propone un análisis complementario, al utilizar variantes de tasa de cambio que responden a las condiciones reales en cuanto a la política monetaria actual y permiten estudios más objetivos. La figura 9, presenta un análisis comparativo de los costos totales de adquisición del aditivo fundamentado en dos propuestas de tasa de cambio, con el objetivo de aminorar en el análisis comparativo, el efecto monetario de la dualidad en el análisis anteriormente expuesto expresado en moneda nacional. En todos los casos la introducción del aditivo nacional CBQ-VTC presenta mejor perfil de costos que los aditivos importados, siendo su mayor limitante la duración del tiempo de curado de la traviesa que disminuye la capacidad productiva.

Figura 9. Comparación entre los costos totales de adquirir aditivo según variantes productivas para alternativas de tasa de cambio



Fuente: elaboración propia.

La evaluación de impactos sociales se realiza fundamentalmente evaluando el potencial de cambio que muestran los indicadores seleccionados proponiéndose los niveles: A. Insignificante, B. Menor, C. Moderado y D. Significativo. Cuando es posible se realiza el análisis cuantitativo de indicadores seleccionados. Es importante destacar que el análisis considera desde la producción del aditivo hasta la obtención de la traviesa y su uso. La tabla 1 muestra los resultados de la evaluación, donde el 50,00% y 30,00% de los impactos presenta potencial de cambio significativo o moderado respectivamente.

Tabla 1. Resultados del análisis del potencial de cambio en indicadores sociales

Indicadores	Evaluación cuantitativa		Evaluación cualitativa
	Aditivo importado	Aditivo CBQ-VTC	
Variaciones del salario percibido ante desabastecimiento de importaciones	-2137.29 MN mensual	0	C
Número de horas trabajadas/unidades producidas (año)	0.0129 horas/travesía	0.0208 horas/travesía	C
Incidencia de enfermedades atribuibles a la producción			D
Kilómetros de vía férrea reparables en el año	84 km	52 km	D
Cantidad de accidentes ferroviarios evitados por reparaciones			B
Número de empleos creados	0	5	C
Número de proyectos de infraestructura desarrollados con acceso y beneficio a la comunidad			D
Cantidad de patentes solicitadas	0	1	B
Mejoras en la cadena de suministro			D
Ahorro y reinversión por concepto de sustitución de importaciones			D

Fuente: elaboración propia.

El impacto sobre salario percibido ante un desabastecimiento de aditivos importados tiene un potencial de cambio moderado, pues como efecto directo, se paraliza el proceso productivo y los trabajadores directos no reciben el pago salarial que correspondería de mantenerse activo el proceso productivo, que asciende a un total de 8.411,87 Moneda Nacional, este disminuye en 2.137,29 Moneda Nacional al no solventar la entidad la tasa por condiciones de trabajo, para un total de 21 trabajadores. Lo que redundaría en una menor capacidad de compra en el mercado de bienes y servicios.

El potencial de cambio del número de horas trabajadas por unidades producidas es moderado, ya que la jornada laboral de 8 horas se mantiene y el pequeño aumento en el índice se debe a la disminución de la capacidad productiva como resultado del aumento del tiempo en el horno de curado de la travesía. Como consecuencia de esto último factor técnico productivo, también la cantidad de vía férrea a reparar en el año por concepto de colocación de traviesas disminuye con la introducción del aditivo nacional, sin embargo si se considerara un desabastecimiento temporal del aditivo importado los resultados serían prometedores ante la alternativa cero de inversión.

El impacto sobre la salud y seguridad de los trabajadores tiene potencial de cambio significativo debido a la reducción estimada de las emisiones de gases y el consumo de energía, y así mismo, el empleo local es un indicador moderado, pues sus impactos se producen fundamentalmente en el proceso productivo del aditivo nacional CBQ-VTC. La cantidad de accidentes ferroviarios evitados por reparaciones de las vías férreas tiene un potencial de cambio menor, ya que ante las dos alternativas se tendrían las mismas probabilidades de reparación, pero está en dependencia de los planes de reforma que se tengan, entre otras variables.

Sobre los proyectos de infraestructura desarrollados con acceso y beneficio de la comunidad no se encontró información. Se le otorga un potencial de cambio significativo ya que, de existir las condiciones para ello, pudiera tener una evolución positiva con la introducción del aditivo nacional CBQ-VTC. Los indicadores, mejoras en la cadena de suministros y, ahorro y reinversión por concepto de sustitución de importaciones, no se cuantifican, pero se considera un potencial de impacto significativo, ya que la producción del aditivo CBQ-VTC y su introducción en la producción de traviesas, no solo permite el acceso seguro a este producto para el sector de la construcción, siendo la oferta más rápida y factible, sino extender su uso en elementos constructivos en los cuales no se emplea ningún plastificante, inclúyase también la construcción de viviendas en el sector social y el acceso directo de la población a través de la redes de comercialización nacional. Permitiendo además, la sustitución de importaciones de productos análogos con el consiguiente ahorro en divisas y mayor independencia del mercado externo para satisfacer la demanda nacional.

Conclusiones

El estudio bibliográfico realizado, refleja que existe una creciente tendencia de estudios de problemas medioambientales mediante diferentes herramientas; pero los modelos con enfoque de análisis de ciclo de vida son los más completos y aplicados para la evaluación de la sostenibilidad en los productos de la construcción. El modelo que se propone tiene sus bases metodológicas en el modelo propuesto por Sánchez (2017) que parte como herramienta central de su propuesta en el Análisis Sostenible del Ciclo de Vida (ASCV) y en diversas herramientas que son ampliamente usadas para evaluaciones de impacto económicas, sociales y medioambientales.

Al comparar los resultados de las diferentes alternativas en la evaluación económica, social y medioambiental, podemos afirmar que se evidencian impactos en su mayoría positivos, de introducir el aditivo CBQ-VTC en la producción de traviesas de hormigón de la EIIF. Los resultados de la evaluación realizada como parte de esta investigación, muestran que los principales impactos están asociados con la revitalización de la infraestructura tecnológica productiva; el ahorro de energía y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, que a su vez incide en la reducción de enfermedades asociadas a este tipo de producción; y el ahorro de divisas por sustitución de importaciones, permitiendo su reinversión en la economía.

Referencias

- Beltrán Triana, R. (2014). Impactos Económicos del uso de plastificantes en las construcciones turísticas del norte de Villa Clara. (*Tesis de pregrado*). Santa Clara, Cuba: Facultad de Construcciones, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Carvalho, A. (2001). Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de inventarios del ciclo de vida del cemento. (*Tesis doctoral*). Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.

- Comisión Europea, GECES. (2015). *Métodos propuestos para la medición del impacto social*. Obtenido de http://ec.europa.eu/internal_market/social_business/expertgroup/social_impact/index_en.htm
- Dransfiel, J. (2013). *Environmental impact of Admixture use, Cement Admixtures Association*. West Midlands, Reino Unido. Obtenido de <http://www.admixtures.org.uk/en934.asp>.
- Ferreira, R. M. (2018). Probability-based durability analysis of concrete structures in marine environment. *Revista Materiales de la Construcción*, 371 (1), 5-9.
- García-Segura, T., Yepes, V., & Alcalá, J. (2014). Life cycle greenhouse gas emissions of blended cement concrete including carbonation and durability. *Int J Life Cycle Assess*, 19, 3–12.
- Gervasio, H., & da Silva, L.S. (2018). Comparative life-cycle analysis of steel-concrete composite bridges. *Revista Structure and Infrastructure Engineering*, 4 (4), 251–269.
- Habert G., Billard C., Rossi P., Chen C., & Roussel N. (2010). Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. *Revista Cement and Concrete Research*, 40, 820–826.
- IPCC. (2014a). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)). Ginebra, Suiza: IPCC. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- IPCC, (2014b). *Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories*, Obtenido de <http://www.ipcc.ch>
- Machado Torres, M. (2015). Comportamiento del bio-producto CBQ-VTC como aditivo plastificante en pastas. (*Tesis de pregrado*). Santa Clara, Cuba: Facultad de Construcciones, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Mariategui, J. C. (2017). Aditivos Plastificantes. *Revista Materiales de la Construcción*, 371 (1), 16-18.
- Marinkovic, S., Radonjanin, V., Malesev, M., & Ignjatovic, I. (2010) Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Revista Waste Management*, 30(11), 2255-2264.
- Martín León, Y. (2016). Evaluación del impacto técnico-económico de la implementación del aditivo CBQ-VTC en la producción de traviesas en la Empresa Industrial de Instalaciones Fijas. (*Tesis de pregrado*). Santa Clara, Cuba: Facultad de Construcciones, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

- Massolo, L. (2015). *Introducción a las herramientas de gestión ambiental*. La Plata, México: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata.
- Mebratu, D. (1998). Sustainability and Sustainable Development: Historical and Conceptual Review. *Revista Environmental Impact Assessment*. 18, 493-520.
- Nápoles Pouza, M. (2020). Evaluación integral del empleo de aditivo cubano en la producción de traviesas de hormigón. (*Tesis de maestría*). Santa Clara, Cuba: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Norma Cubana, 228-1 (2005). *Aditivos para hormigones, morteros y pastas, Parte 1: Aditivos para hormigón- Requisitos*. La Habana. Cuba: Oficina Nacional de Normalización.
- ONN. (2000). ISO 14041. *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición del objetivo y alcance y análisis del inventario*. Obtenido de <http://www.iso.ch>
- ONN. (2005). ISO 14040. *Gestión ambiental—análisis del ciclo de vida — principios y marco de referencia*. Obtenido de <http://www.iso.ch>
- ONN. (2006). ISO 14044. *Gestión Ambiental – Análisis del ciclo de vida – Requisitos y lineamientos*. Obtenido de <http://www.iso.ch>
- Oficina Nacional de Estadística e Información. (2016). *Anuario Estadístico de Cuba*. La Habana. Cuba: Oficina Nacional de Estadística en Cuba. Obtenido de <http://www.onei.cu>
- Pérez Sotolongo, L. (2015). Evaluación de combinaciones del bio-producto CBQ-VTC y aditivo químico A2R9 en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido. (*Tesis de pregrado*). Santa Clara, Cuba: Facultad de Construcciones, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Roca, M. (2014). Comparativa de Análisis de Ciclo de Vida de dos tipos de puente de carretera. (*Tesis de pregrado*). Barcelona, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Sagemo A., & Storck. L. (2013). Comparative study of bridge concepts based on life-cycle cost analysis and life-cycle assessment. (*Tesis de maestría*). Gotemburgo, Suecia: Chalmers University of Technology.
- Sánchez Machado, R. I. (2010). *Evaluación económica y social de proyectos de inversión*. Ecuador: Programa de Maestría en Economía, Universidad de Guayaquil.
- Sánchez Berriel, S. (2017). Modelo de Evaluación integrada de impactos aplicado al proceso de introducción del cemento de bajo carbono en la industria cementera en Cuba. (*Tesis de doctorado*). Santa Clara, Cuba: Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

- Urra Pérez, M. (2015). Estudio de sostenibilidad de la producción de hormigón a partir del uso del aditivo nacional MEF 32 en la Cayería Norte de Villa Clara. (*Tesis de pregrado*). Santa Clara, Cuba: Facultad de Construcciones, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Váldez Alemán, E. (2016). Aplicación del bioproducto CBQ-VTC en la traviesas de hormigón pretensado. (*Tesis de pregrado*). Santa Clara, Cuba: Facultad de Construcciones, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Yepes Piqueras, V. (2015). *Antecedentes y motivación del proyecto de investigación BRIDLIFE*. Obtenido de <http://victoryepes.blogs.upv.es/2015/04/24/antecedentes-y-motivacion-del-proyecto-de-investigacion-bridlife#more-5778>.docx.
- Zimoch, E. (2012). Life-cycle assessment of existing bridges and other structures. (*Tesis de pregrado*). Cataluña, España: Universidad Politécnica de Cataluña.