

Diseño conceptual de bloque para la construcción habitacional aplicando TRIZ y ACV¹

Rebeca Rojas Remis², Arely Murillo Silva³, Gladys Carlota Figueroa Valdez⁴,
Sara Eugenia Hernández Ayón⁵, Carlos Alberto Gutiérrez Manuel⁶

Resumen

Actualmente el sistema de construcción para las casas de habitación es el bloque de hormigón, el cual tiene un peso aproximado de entre 17,6 kg por pieza y cuyo diseño es difícil de manejar y complejo de colocar para que la estructura de la construcción quede en óptimas condiciones. Adicionalmente, los materiales que componen el hormigón tienen un impacto ambiental negativo pues la explotación de arena, la fabricación de cemento y el agua utilizada presentan varios impactos

ambientales, considerados como no sostenibles. Debido a lo anterior, los productos dirigidos a la construcción se tienen que innovar mediante la reutilización o reciclaje de materiales que funcionen como agregados para la fabricación de estos bloques de construcción, de tal forma que mejoren las especificaciones técnicas del bloque, que alarguen su vida útil y cuyo diseño físico permita realizar una instalación o colocación en menor tiempo y de forma sencilla. Por esta razón se propone el diseño conceptual y prototipado rápido a escala de un bloque de construcción para casas de habitación bajo

- 1 Artículo original derivado del proyecto de investigación *Diseño conceptual y prototipado a escala de bloque de construcción habitacional tipo lego aplicando TRIZ para su registro de propiedad industrial*, realizado del 1 de septiembre al 31 de agosto de 2022, financiado por el Tecnológico Nacional de México.
- 1 Doctora en Medio Ambiente y Desarrollo, maestra en Docencia, licenciada en Ingeniería Industrial, docente del Departamento de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México, I. T. de Ensenada. Correo: reberemis@ite.edu.mx. Orcid: 0000-0003-4843-3588.
- 2 Maestra en Educación, licenciada en Ingeniería Industrial, docente del Departamento de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México, I. T. de Ensenada. Orcid: 0000-0002-3171-5821.
- 3 Maestra en Sistemas de manufactura, licenciada en Ingeniería Industrial, docente del Departamento de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México, I. T. de Ensenada. Orcid: 0000-0002-9299-6823.
- 4 Doctor en Ciencias e Ingeniería, maestra en Tecnologías de la Información y la Comunicación, licenciada en Ciencias Computacionales, docente del Departamento de Sistemas Computacionales del Tecnológico Nacional de México, I. T. de Ensenada. Orcid: 0000-0003-0565-0152.
- 5 Maestro en Ciencias en Física de Materiales, licenciado en Ciencias de la Educación, área de Ciencias Físico-Matemáticas, docente del Departamento de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México, I. T. de Ensenada. Orcid: 0000-0003-2737-8452.

Autor para Correspondencia: reberemis@ite.edu.mx.
Recibido: 29/06/2022 Aceptado: 31/05/2023

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

un enfoque innovador, haciendo uso de herramientas de ecodiseño, conceptos de la metodología TRIZ y del análisis de ciclo de vida (ACV). El resultado de este trabajo es la propuesta de rediseño de un bloque de construcción que considera la integración de la forma, función y materiales, mejorando

las características del bloque de hormigón actual, disminuyendo sus desventajas y su impacto ambiental negativo, mediante prototipos a escala que validan su función y diseño.

Palabras clave: construcción, bloque, ecodiseño, innovación, impacto ambiental.

Conceptual design of a block for housing construction applying TRIZ and LCA

Abstract

Currently the construction system for residential houses is the concrete block, which has an approximate weight between 17.6 kg per piece and whose design is difficult to handle and complex to place, for the construction structure be in optimal conditions. Additionally, the materials that make up the concrete have a negative environmental impact since the exploitation of sand, the manufacture of cement and the water used, present several environmental impacts, considered unsustainable. Due to the above, the products aimed at construction have to innovate through the reuse or recycling of materials that work as aggregates for the manufacture of these

building blocks, that improve the technical specifications of the block, that lengthen its useful life and whose physical design allows installation or placement in less time and in a simple way. For this reason, the conceptual design and rapid prototyping at the scale of a building block for residential houses is proposed under an innovative approach, making use of Ecodesign tools, concepts of TRIZ methodology and Life Cycle Assessment (LCA). The result of this work is the proposal for the redesign of a construction block that considers the integration of form, function and materials, which improve the characteristics of the current concrete block, reducing its disadvantages and its negative environmental impact, validating its design and function through scale prototypes.

Keywords: Construction, Bricks, Ecodesign, Innovation, Environmental Impact.

Projeto conceitual de um bloco para construção habitacional aplicando TRIZ e ACV

Resumo

Atualmente o sistema construtivo para casas residenciais é o bloco de concreto, que tem um peso aproximado de entre 17.6 kg por peça e cujo projeto é de difícil manuseio e complexo de colocar, para que a estrutura construtiva esteja em ótimas condições. Adicionalmente, os materiais que compõem o betão têm um impacto ambiental negativo uma vez que a exploração da areia, o fabrico do cimento e a água utilizada, apresentam vários impactos ambientais, considerados insustentáveis. Pelo exposto, os produtos destinados à construção têm que inovar através do reaproveitamento ou reciclagem de materiais que funcionam como agregados para a fabricação desses blocos de

construção, que melhoram as especificações técnicas do bloco, que prolongam sua vida útil e cujo projeto físico permite a instalação ou colocação em menos tempo e de forma simples. Por esta razão, o projeto conceitual e prototipagem rápida na escala de um bloco de construção para casas residenciais é proposto sob uma abordagem inovadora, fazendo uso de ferramentas de Ecodesign, conceitos da metodologia TRIZ e Análise de Ciclo de Vida (ACV). O resultado deste trabalho é a proposta de redesenho de um bloco construtivo que considera a integração de forma, função e materiais, que melhoram as características do bloco de concreto atual, reduzindo suas desvantagens e seu impacto ambiental negativo, validando seu projeto e função através de protótipos em escala.

Palavras-chave: construção, tijolos, ecodesign, inovação, impacto ambiental.

Introducción

La industria de la construcción consume el 50 % de los recursos mundiales, lo que la convierte en una de las actividades menos sostenibles del planeta. Sin embargo y pese a lo anterior, la vida cotidiana gira alrededor de construcciones, principalmente de casas de habitación que dan resguardo a la existencia del hombre; se considera que este tipo de construcciones son grandes consumidores de materias primas. El capital medioambiental invertido en ello es enorme, al igual que su impacto en términos de residuos. Tan solo el 60 % de los recursos bióticos y abióticos

mundiales se destinan a la fabricación de materiales dirigidos a la construcción (Ihobe, 2018). Es evidente que algo debe cambiar y que los productos de la construcción deben considerar su impacto ambiental.

Actualmente uno de los sistemas de construcción para casas de habitación más utilizado en México es el de los bloques fabricados de hormigón que consiste en una mezcla de cemento, arena y agua, cuyas características y dimensiones son consideradas adecuadas para realizar construcciones que duren un periodo mayor de tiempo. Sin embargo, algunas desventajas de estos bloques son: la fuerza de tensión del

concreto es baja, por lo que hay que añadir acero en su colocación para mayor soporte interno; no es flexible, por lo que se puede romper fácilmente durante su traslado o colocación; es un material pesado que no lo compensa con fuerza o durabilidad (17,6 kg por pieza) y su forma no permite un manejo adecuado ni ergonómico, lo que genera que se requiera de experiencia para su colocación con la finalidad de que la estructura quede en óptimas condiciones estructurales.

Es de gran importancia que exista una interacción entre el diseño de los productos utilizados para la construcción y el medio ambiente, por lo que se deben diseñar productos y elementos de construcción amigables con el medio ambiente y cuyos beneficios se perciban a largo plazo. Se han hecho propuestas de integración de nuevos materiales e innovación en la forma física de bloques de construcción para casas de habitación, mediante la utilización de herramientas como: la teoría de resolución de problemas de inventiva (TRIZ), que permite innovar de manera eficiente integrando todos los aspectos deseados eliminando o disminuyendo los problemas que presenta el producto actual; la metodología del ecodiseño que permite incorporar materiales reciclados o sustentables para colocarlos como agregados a la elaboración de estos bloques, mejorando sus características estructurales y el análisis de ciclo de vida (ACV), para determinar el impacto ambiental que generan estos nuevos materiales incorporados en comparación con los materiales tradicionales con la finalidad de establecer mejoras en el diseño.

Se han adelantado estudios que pueden servir como antecedentes en los que se ha utilizado la metodología TRIZ como parte fundamental para la innovación tal como se evidencia en la publicación *Modelo de innovación para el diseño de productos con TRIZ: La creatividad como eje central de progreso en empresas emergentes de México*, aquí se propone un modelo para el diseño de nuevos productos considerando la TRIZ como eje principal aplicada en empresas emergentes (Flores *et al.*, 2017); así también en el trabajo de Carvalho *et al.* (2012) en donde refieren la importancia de la aplicación de la TRIZ en el diseño de nuevos productos o sistemas, así como parte de la evaluación de eficiencia del diseño de un tanque térmico solar (Gutiérrez *et al.*, 2015). Es importante mencionar que, aunque en los estudios anteriores se aplicó la metodología TRIZ para el diseño o rediseño de productos distintos al que se trabaja en el presente proyecto, sirve como base para validar la diversidad de casos en los que se pueda aplicar la TRIZ logrando obtener resultados óptimos y de innovación importantes.

Adicionalmente, se tiene como antecedente la utilización de la metodología del ecodiseño como base para integrar los resultados obtenidos de TRIZ, y realizar el desarrollo conceptual de diversos productos considerando su sustentabilidad, tal es el caso del proyecto de diseño conceptual de empaque de lima persa de exportación bajo aspectos funcionales y medioambientales a través de optimización multicriterio, el cual utilizó tanto la herramienta de la TRIZ como el ecodiseño (Aguilar, 2017).

Otros trabajos donde la herramienta del ecodiseño se ha utilizado para la mejora de productos y procesos es la propuesta de cocina de autor considerando productos alimenticios de alto valor nutricional y tecnologías sustentables (Sandoval-Ruiz y Ruiz-Díaz, 2018), así como el trabajo de Marques *et al.* (2017) donde se aplica el ecodiseño para el desarrollo e innovación de productos sustentables enfocados en la construcción desde su etapa de conceptualización, hasta el impacto ambiental esperado una vez que este es utilizado.

Como antecedente sobre la importancia de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) se tiene el artículo de revisión de Stark *et al.* (2016) *Metodologías para la evaluación de sistemas agropecuarios. Parte I. Generalidades. Análisis del ciclo de vida (ACV) y de las redes ecológicas (ENA)* en el que se analizan las diferentes metodologías utilizadas a nivel internacional para la evaluación ambiental de los sistemas de producción; también la revisión elaborada por Chau *et al.* (2015) quienes abordan los tres tipos de impactos del ACV más utilizados para evaluar la factibilidad ambiental y el impacto final de los productos utilizados en la construcción de edificios, por último, pero no menos importante, tenemos el trabajo titulado *Método análisis de ciclo de vida* de Cloquell *et al.* (2016) en el que se muestra la importancia de la aplicación del ACV en la etapa de diseño de nuevos productos, con la finalidad de disminuir su impacto ambiental durante todo su ciclo de vida.

Es importante mencionar que no se encontraron antecedentes sobre la

realización de proyectos que integren las metodologías de TRIZ, ecodiseño y ACV para el diseño o innovación de nuevos productos, en específico para bloques de construcción o productos enfocados en la construcción, es por esto que el presente proyecto pretende desarrollar un ecodiseño conceptual y prototipo a escala de bloques de construcción para casas habitación mediante la utilización de la TRIZ y el ACV, para validar que puede tener éxito su aplicación en el diseño estructural de casas.

Materiales y métodos

Innovación del bloque de construcción utilizando la metodología TRIZ

El proceso de diseño consta de varias etapas que interactúan entre sí para llegar a un resultado final esperado: i) identificar la necesidad o el problema, ii) planear cómo se realiza el proceso, iii) elaborar el diseño conceptual, iv) demostrar que el nuevo diseño satisface la necesidad o resuelve la problemática planteada mediante prototipos a escala y v) llevar a cabo la producción piloto de la primera pieza. Algunas de las fases pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación de su vida útil (Custodio, 2020).

Debe destacarse que una vez realizado el diseño, se deben evaluar los resultados para hacer modificaciones o ajustes que permitan que el diseño para el nuevo producto quede validado, por lo anterior evaluar representa la prueba final de un diseño, generalmente implica una prueba

de laboratorio o realización de modelos o prototipos a escala que permitan verificar su funcionalidad y cumplimiento con los requerimientos, esto con la intención de poder fabricar la primera pieza y realizar las pruebas necesarias para aprobación y producción en masa (Frank, 2019).

De acuerdo con lo anterior se realizó el planteamiento del problema para el bloque de construcción de hormigón para casas de habitación: aminorar la contaminación causada por el hormigón utilizado para la fabricación de los bloques de construcción mediante la incorporación de nuevos materiales y mejorar el diseño físico del bloque con el propósito de disminuir las lesiones que sufren los trabajadores ocasionadas por el peso del bloque al momento de cargarlos, así como facilitar su ensamblaje durante el proceso de construcción de las casas habitación garantizando su funcionalidad y capacidad estructural.

Una vez redactada de forma detallada la problemática, se identificaron las características principales a considerar en la innovación del bloque:

- Forma física: rectangular, con perforaciones para la colocación de tuberías, varillas estructurales.
- Nuevos materiales: incorporar nuevos materiales para disminuir su impacto ambiental y el peso (gramaje).
- Facilidad de ensamblaje: ensamblaje sencillo y fácil de realizar, sin necesidad de experiencia.

- Funcionalidad: resistente al agua, al calor y frío, a los golpes y fuerza estructural.

Tomando en consideración las características anteriores se aplicó la metodología TRIZ utilizando la herramienta de la matriz de contradicciones para la cual se identificaron los parámetros que mejoran (son las características que se pretenden innovar) y que empeoran (son las características que se desea no sean alteradas al realizar la innovación).

- Mejora: modificar la forma física e incorporar nuevos materiales: 35. Adaptabilidad.
- Empeora: mantener su funcionalidad y la facilidad de ensamblaje: 13. Estabilidad de la composición del objeto y 33. Conveniencia de uso.

Una vez determinados los parámetros, se ubicó su interacción en la matriz de contradicciones para identificar los principios de inventiva mediante los cuales se puede resolver la problemática (Rantanen *et al.*, 2017). Ya identificados los principios de inventiva resultantes de la interacción de los parámetros, se procedió a seleccionar cuáles son aquellos que ayudan a resolver la problemática, determinando que: los principios 30 (películas flexibles), 1 (segmentación), 16 (acción parcial o sobrepasada) y 34 (restauración de partes) no ayudan a resolver el problema; sin embargo los principios 14 (esfericidad), 35 (transformación de propiedades), 7 (anidación) y 15 (dinamicidad), son aplicables para lograr cumplir con las características principales para la mejora del bloque,

modificando su forma física y sus materiales sin que estos afecten su función y su facilidad de ensamblaje. Los principios seleccionados

se aplicaron a la innovación del bloque para construcción como se describe en la **tabla 1**.

Tabla 1. Aplicación de los principios de inventiva en la innovación del bloque para construcción

Características	Principio de inventiva	Aplicación del principio en la innovación
Forma física	Principio 14. Esfericidad	Modificar las partes lineales con partes principalmente curvas dejando una perforación central para colocación de tuberías y perforaciones en las esquinas para colocación de varillas estructurales de refuerzo.
Nuevos materiales	Principio 35. Transformación de propiedades	Considerar la incorporación de nuevos materiales de reutilización o reciclaje a la mezcla de hormigón que disminuyan su impacto ambiental y el peso (gramaje) del bloque.
Facilidad de ensamblaje	Principio 7. Anidación	Añadir a la forma física del bloque en la parte superior, inferior y laterales con conexiones macho y hembra que permitan realizar un ensamble tipo Lego®, ya que las principales ventajas de este tipo de ensamblaje es que facilita la integración de los elementos dando fortaleza a las uniones y por lo tanto a la estructura gracias a la interferencia generada.
Funcionalidad	Principio 15. Dinamicidad	Considerar que los nuevos materiales incorporados, así como la nueva forma física y su facilidad de ensamblaje, garanticen que sea resistente al agua, al calor y frío, a los golpes y dar fuerza estructural a la construcción.

Nota: elaboración de los autores.

Aplicación del ecodiseño en la innovación del bloque

Acorde con la naturaleza del proyecto, se integraron las consideraciones del ecodiseño junto con los principios de inventiva para la innovación del bloque, ya que el ecodiseño considera los aspectos ambientales

en diferentes etapas del proceso para conseguir productos con el menor impacto ambiental posible y orientados hacia su durabilidad y reciclado (MacDonald y She, 2015), específicamente, para el proyecto se aplicaron las consideraciones e integración al concepto resultante de la TRIZ, como se presentan en la **tabla 2**.

Tabla 2. Integración del ecodiseño en la innovación del bloque para construcción

Características	Consideración del ecodiseño	Aplicación en la innovación triz
Nuevos materiales	Optimización de materiales y optimización del fin de vida	El nuevo material que se propuso incorporar a la mezcla de hormigón es el neumático fuera de uso, ya que es uno de los residuos que se generan en grandes cantidades (Isan, 2017) y cuyos componentes se pueden reutilizar como materias primas para la fabricación de otros productos (Gómez y García, 2019), adicionalmente, al ser un material ligero disminuye el peso (gramaje) del bloque. Una vez que el bloque llega al fin de la vida útil sus materiales pueden reutilizarse como nuevas materias primas.
Funcionalidad	Reducción del impacto de uso	El neumático fuera de uso incorporado a la mezcla de hormigón confiere a los bloques resistencia al agua, al calor y al frío así como aislamiento acústico, sin afectar la resistencia a los golpes y a la fuerza estructural lo que garantiza su funcionalidad para la construcción (Herrero, 2019).

Nota: elaboración de los autores.

Modelado en 3D del nuevo concepto de bloque para construcción

La ventaja del modelado en 3D (objetos en tercera dimensión) consiste en utilizar un *software* especializado para poder representar el objeto deseado de manera digital, lo que permite visualizar cómo sería cuando este se fabrique, lo que ayuda a tomar decisiones sobre las mejoras en el diseño y realizar simulaciones de ensamble y fuerza que permitan validarlo de manera previa, con la finalidad de seleccionar el diseño conceptual óptimo (Rendemy, 2019). Por tal motivo es que una vez que se obtuvieron todas las especificaciones a incorporar en la innovación del bloque resultantes de la TRIZ y el ecodiseño se realizaron varios diseños conceptuales para su modelado en 3D mediante *software* especializado

(SolidWorks, 2018), los cuales se presentan en detalle en la **tabla 3**.

Prototipado a escala del bloque de construcción para casas habitación

La importancia del prototipado a escala mediante impresión 3D radica en poder realizar pruebas de funcionalidad (forma y facilidad de ensamble) de las diferentes opciones y seleccionar el diseño conceptual óptimo del bloque para construcción, por lo que una vez modelados en 3D, se imprimieron igualmente en 3D los prototipados a escala utilizando *software* especializado (Ultimaker Cura® ver.4.2) y un filamento PLA (polímero de ácido poliláctico) negro, estos prototipos se presentan en la **tabla 3**.

Tabla 3. Modelado e impresión 3D de los diseños conceptuales de bloque, considerando la TRIZ y el ecodiseño

Nombre del concepto	Descripción del concepto	Modelado 3D del bloque	Impresión 3D prototipo a escala en PLA
Bloque tipo A	Forma rectangular con dos perforaciones para la colocación de tuberías o varillas estructurales, conexiones macho y hembra en la parte superior e inferior con bordes redondeados para realizar un ensamble tipo Lego® de forma vertical fabricados con una mezcla a base de neumáticos fuera de uso triturados y hormigón.		
Bloque tipo B	Forma rectangular con dos perforaciones para la colocación de tuberías o varillas estructurales, conexiones macho y hembra en la parte superior e inferior con bordes redondeados para realizar un ensamble tipo Lego® de forma vertical fabricados con una mezcla a base de neumáticos fuera de uso triturado y hormigón.		
Bloque tipo C	Forma rectangular con dos perforaciones para la colocación de tuberías o varillas estructurales, conexiones macho y hembra en la parte superior, inferior y laterales como con bordes redondeados para realizar un ensamble tipo Lego® tanto de forma vertical como horizontal, fabricados con una mezcla a base de neumáticos fuera de uso triturados y hormigón.		
Bloque tipo D	Forma rectangular con perforación central para la colocación de tuberías, dos perforaciones en las esquinas para la colocación de varillas estructurales, conexiones macho y hembra en la parte superior, inferior y laterales con bordes redondeados para realizar un ensamble tipo Lego® tanto de forma vertical como horizontal, fabricados con una mezcla a base de neumáticos fuera de uso triturados y hormigón.		

Nota: elaboración de los autores.

Análisis de impacto ambiental mediante la metodología ACV

La metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta que permite evaluar el impacto ambiental generado por productos o sistemas, con la finalidad de conocer cuál es el que contribuye en menor escala al deterioro del medio ambiente o inclusive para identificar las oportunidades de diseño o rediseño de los mismos desde las primeras etapas de conceptualización. La metodología de ACV analiza cualquier tipo de sistema desde la *cuna a la tumba*, es decir, desde que inicia el sistema hasta los residuos que genera, y cómo es que estos se disponen (Palomar *et al.*, 2022).

Con la finalidad de poder evaluar ambientalmente el bloque para construcción convencional versus el diseño conceptual, se analizaron las características principales de la innovación considerando principalmente los materiales, ya que se determinó que estos son los que mayor impacto tienen en el ambiente durante el ciclo de vida del bloque para construcción, incluso más que su forma o función, la **tabla 4** nos permite analizar el sistema completo (del bloque para la construcción) tomando en cuenta los nuevos materiales y la función de estos en el sistema estudiado.

Tabla 4. Análisis del sistema estudiado tomando en cuenta los nuevos materiales y su función

	Sistema actual (bloque convencional)	Sistema propuesto (bloque con innovación)
Definición del sistema	Bloque para construcción a base de hormigón con forma convencional.	Bloque para construcción a base de hormigón y neumáticos fuera de uso triturados con forma tipo Lego®.
Sector e industria	Sector de la construcción/fabricación de bloques de hormigón.	Sector de la construcción/fabricación de bloques de hormigón.
Alcance del análisis ACV	Desde el inicio del proceso de fabricación hasta su disposición final al concluir con su vida útil.	Desde el inicio del proceso de fabricación hasta su disposición final al concluir con su vida útil.
Funciones del sistema estudiado	Bloque para construcción habitacional con forma convencional, dimensiones de 20 cm de ancho, 40 cm de largo y 20 cm de alto, compuesto de hormigón, cuyo peso es de 17,6 kg.	Bloque para construcción habitacional con forma tipo Lego®, dimensiones de 20 cm de ancho, 40 cm de largo y 20 cm de alto, compuesto de una mezcla de neumáticos fuera de uso triturados y hormigón, cuyo peso estimado es de 15,5 kg (Rojas-Remis, 2016).
Unidad funcional	100 % hormigón (17,6 kg): 50 % cemento (8,8 kg), 40 % grava-arena (7,04 kg) y 10 % agua (1,76 kg), se estima un residuo del 1 % durante el proceso de fabricación.	70 % hormigón (10,85 kg): 35 % cemento (5,42 kg), 28 % grava-arena (4,35 kg) y 7 % agua (1,08 kg); 30 % neumáticos fuera de uso triturados (4,65 kg): 40 % caucho artificial, 30 % caucho natural, 15 % acero, 15 % fibra textil, se estima un residuo del 1 % durante el proceso de fabricación (Rojas-Remis, 2016).

Nota: elaboración de los autores.

Una vez que se realizó al análisis del sistema estudiado, se elaboró el diagrama de flujo de sustancias, el cual permite visualizar las entradas, el proceso productivo y las salidas, con la finalidad de generar el inventario que permita llevar a cabo el análisis de impactos.

Para este caso de estudio las entradas son: la mezcla de neumáticos triturados y el hormigón, el molde para fabricación del bloque, aceites y grasas necesarios para la maquinaria y energía consumida por la maquinaria. El proceso de fabricación del bloque consiste en: mezclado de las materias primas para su vaciado en el molde, realizar su compactación y proceso de curado, por último, como salidas del sistema se tienen: residuos líquidos y sólidos del proceso, el molde sucio, los gases de efecto invernadero (GEI) y el bloque de construcción.

Resultados

Diseño conceptual final del bloque de construcción considerando la TRIZ y el ecodiseño

El prototipado 3D de los diferentes diseños conceptuales de bloque para construcción permitió realizar las pruebas de forma física y ensamble con la finalidad de seleccionar la mejor propuesta, el cual por su facilidad de ensamblaje, funcionalidad y cantidad de material a utilizar fue el bloque tipo D, las especificaciones y características del diseño conceptual del bloque para construcción óptimo se presentan en la **tabla 5** y en la **figura 1**.

Impacto ambiental de acuerdo con el ACV

Con la finalidad de determinar el impacto ambiental, y de acuerdo con el análisis del flujo de sustancias, para el bloque convencional y el bloque con innovación seleccionado (bloque tipo D), se ingresaron los datos del inventario de sustancias en *software* SolidWorks sustentabilidad (2018), el cual considera los aspectos ambientales de mayor impacto.

Como se observa en la **tabla 5**, el impacto ambiental del bloque tipo D es menor durante todo su ciclo de vida para cada una de las categorías analizadas: huella de carbono con una reducción del 49 %, en la energía total consumida se tiene una disminución de 38 %, para la acidificación atmosférica un 58 % menos y por último en la eutrofización del agua la reducción es un 43 %; por lo tanto se considera que el nuevo diseño de bloque tiene un menor impacto ambiental que el bloque convencional, no solo por los nuevos materiales sino por su forma, proceso de fabricación, uso y disposición final, adicionalmente se estimó utilizando el modelado 3D mediante *software* especializado (SolidWorks, 2018) que debido a la propuesta de cambio de material el peso total por bloque disminuye de 17,6 kg a 15,5 kg lo que representa una disminución del 12 %.

Debido a lo anterior se demuestra que, gracias a la aplicación de las diferentes metodologías en conjunto, el concepto del nuevo diseño del bloque para construcción es factible, considerando que en esta etapa del proyecto únicamente se realizó el diseño y la conceptualización, por lo que

se pretende que para futuros proyectos se lleve a cabo la fabricación de la primera pieza con la finalidad de realizar los estudios y análisis pertinentes para validar su fabricación en masa.

Tabla 5. Especificaciones del diseño conceptual óptimo y comparativo del impacto ambiental del bloque convencional versus bloque tipo D

Concepto seleccionado	Descripción del concepto	Pruebas de ensamblaje del prototipo
Bloque tipo D	Forma rectangular con una perforación central que permite la colocación de tuberías, dos perforaciones en las esquinas para la colocación de varillas estructurales, conexiones macho y hembra en la parte superior, inferior y laterales con bordes redondeados que permiten realizar un ensamble tipo Lego®, tanto de forma vertical como horizontal, fabricados con una mezcla a base de neumáticos fuera de uso triturados (30 %) y hormigón (70 %), con un peso estimado de 15,5 kg.	 <p>Ensamblaje horizontal</p>  <p>Ensamblaje vertical</p>

Nota: elaboración de los autores con resultados obtenidos de SolidWorks (2018) sustentabilidad.

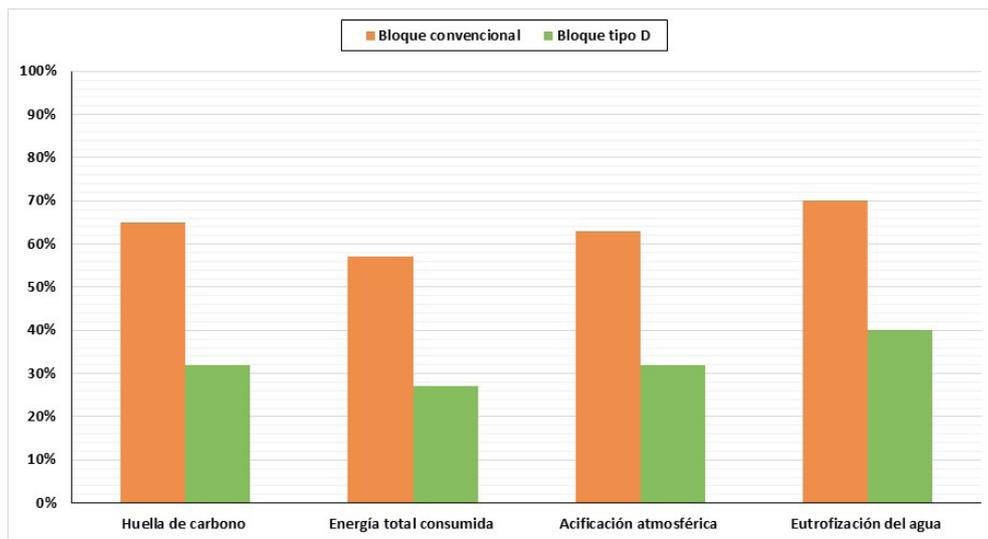


Figura 1. Comparativo impacto ambiental bloque convencional versus bloque tipo D

Nota: elaboración de los autores con resultados obtenidos de SolidWorks (2018) sustentabilidad.

Discusión

Como se muestra en los diferentes estudios realizados, por ejemplo Carvalho *et al.* (2012) en donde refieren la importancia de aplicación de la TRIZ en el diseño de nuevos conceptos, la aplicación de esta metodología permitió lograr el rediseño del bloque convencional mejorando su forma física lo que hace que estos bloques sean ensamblados de manera más eficiente al incorporar un sistema por interferencia tipo Lego® que permite ensamblar de forma rápida y sencilla e incorporar nuevos materiales que mejoren sus capacidades y disminuyan su peso (gramaje).

Es importante mencionar que adicionalmente a la utilización de la TRIZ, con la finalidad de tener en cuenta las consideraciones de sustentabilidad para el diseño de nuevos productos se incorporó la metodología del ecodiseño, esto para disminuir el impacto ambiental del producto desde su conceptualización sin que disminuyan su eficacia y su función, tal como se demuestra en el proyecto de diseño conceptual de empaque de lima persa de exportación el cual utilizó tanto la herramienta de la TRIZ como la de ecodiseño, logrando obtener un producto funcional en el que se consideraron los aspectos sustentables (Aguilar, 2017). Debido a esto es que la integración del ecodiseño en el diseño conceptual del bloque dio como resultado un producto funcional para la construcción de casas de habitación, al igual que en Marques *et al.* (2017) donde se aplicó el ecodiseño para el desarrollo e innovación de productos sustentables enfocados en la construcción.

En cuanto a la impresión 3D de prototipos a escala, es importante que se realice como parte de la generación de nuevos conceptos, ya que de acuerdo con Frank (2019), estos prototipos ayudan a verificar la funcionalidad y el cumplimiento de las especificaciones de diseño, lo anterior permitió seleccionar el diseño conceptual óptimo al validar su forma física, ensamblado y funcionalidad al momento de ser utilizado para la construcción, adicionalmente para el presente proyecto, los prototipos permitieron seleccionar el diseño conceptual óptimo, es decir, el bloque tipo D en el cual no solo se innovó la forma física, sino que también se consideró la incorporación de materiales reutilizados como los neumáticos fuera de uso, lo que permite disminuir en un 30 % la utilización de hormigón en la fabricación del bloque al incorporar este nuevo material.

Adicionalmente, el utilizar neumáticos fuera de uso como parte de la composición de los materiales de bloque para la construcción (en una relación de 30 % de neumáticos fuera de uso y 70 % de hormigón), ayuda a la disminución del impacto ambiental de los neumáticos ya que de acuerdo a lo que indica Isan (2017), este es uno de los residuos que se generan en mayor cantidad y cuyos elementos pueden volver a utilizarse como materias primas para fabricar nuevos productos (Gómez y García, 2019), adicionalmente, al ser un material ligero y al mezclarse con el hormigón disminuye el peso (gramaje) (Rojas-Remis, 2016), lo que se puede corroborar mediante el presente estudio, ya que se logró reducir su gramaje en un 12 % sin afectar su capacidad estructural y su resistencia a las temperaturas y a

golpes, como lo refiere Herrero (2019), debido a que este componente confiere a los bloques resistencia al agua, al calor y al frío, e incrementa su capacidad de aislamiento acústico sin afectar la resistencia a los golpes y a la fuerza estructural.

Una vez que se tiene el nuevo diseño conceptual, es necesario evaluarlo mediante la metodología de ACV con la intención de analizar el sistema estudiado desde la *cuna a la tumba* (Palomar *et al.*, 2022), con la finalidad de conocer el impacto ambiental del nuevo diseño y poder hacer modificaciones o mejoras desde el inicio de la conceptualización, como lo refieren Cloquell *et al.* (2016) y que concuerda con lo realizado en el presente proyecto, ya que esto permitió validar el diseño conceptual de bloque para construcción considerando la incorporación de nuevos materiales para su fabricación, la nueva forma y función obtenida de la aplicación de la TRIZ y del ecodiseño corroborando que el nuevo bloque tipo D tiene un 47 % menos de impacto ambiental negativo en comparación con el bloque para construcción convencional.

Por último, el presente estudio muestra la importancia de la integración de varias metodologías como lo son la TRIZ, el ecodiseño y el ACV para el diseño, rediseño o innovación de diversos productos, ya que permitió la innovación de un bloque para construcción de casas de habitación que conceptualmente cuenta con forma tipo Lego®, lo que mejora su funcionalidad, con dimensiones de 20 cm de ancho, 40 cm de largo y 20 cm de alto, incorporación de materiales sustentables mediante la utilización de una mezcla de neumáticos

fuera de uso triturados y hormigón, cuyo peso estimado es de 15,5 kg (Rojas-Remis, 2016) y que tiene un menor impacto ambiental negativo en comparación con el bloque convencional utilizado para la construcción de casas de habitación.

Conclusión

La utilización de la metodología TRIZ permitió resolver la problemática planteada para los bloques de construcción convencionales integrando las consideraciones de forma, función y nuevos materiales.

El ecodiseño integra nuevos componentes a la mezcla tradicional de hormigón, demostrando que es factible incorporar materiales reutilizados en la fabricación de nuevos productos para la construcción sin que estos pierdan su funcionalidad o características.

El modelado en 3D y los prototipos a escala ayudan a seleccionar las opciones más viables y óptimas con la finalidad de trabajar con la mejor alternativa para su desarrollo, adicionalmente permite validar un diseño antes de que este se fabrique.

La evaluación ambiental de un nuevo diseño o producto mediante la utilización del ACV también valida que la innovación generada tenga un menor impacto ambiental que los productos o sistemas convencionales contribuyendo con la sustentabilidad, en especial en la industria de la construcción cuyo impacto por la extracción de materias primas es elevada en comparación con otros sectores industriales.

El beneficio de esta propuesta en la rama de la construcción es significativo, ya que el nuevo diseño conceptual de bloque es un 12 % más ligero comparado con el convencional, contribuye a evitar lesiones en los trabajadores por la carga constante gracias a su nueva forma, permite realizar un ensamble con facilidad, es estable y las construcciones se pueden hacer más rápidamente. El proyecto permitió validar el diseño y la función del bloque propuesto mejorando las características del bloque de hormigón convencional, disminuyeron sus desventajas y su impacto ambiental en un 47 %; por lo que la nueva propuesta de bloque es funcional y por lo tanto es posible utilizarlo para la construcción de casas de habitación según su fase de diseño conceptual.

Con la finalidad de validar su función estructural y contemplar los beneficios de utilizar neumáticos fuera de uso como parte de la mezcla para la fabricación de los bloques para construcción, se pretende realizar próximos trabajos para confirmar la información generada en el presente proyecto, y que esto permita el desarrollo del nuevo producto mediante la fabricación de la primera pieza, y verificar su cumplimiento para la posible producción en masa.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo del Instituto Tecnológico de Ensenada por las facilidades técnicas necesarias para utilización de *software* especializado, realización de prototipos y análisis con la finalidad de validar la funcionalidad e impacto del proyecto.

Referencias

- Aguilar, L. (2017). *Ecodiseño conceptual de empaque de lima persa de exportación bajo aspectos funcionales y medioambientales a través de optimización multicriterio y la teoría TRIZ*. Instituto Tecnológico de Orizaba, México.
- Chau, C., Leung, T. and Ng, W. (2015). A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. *Applied Energy*, 143(1), 395-413.
- Cloquell, V., Contreras, W., Owen, M. y Vivancos, J. (2016). *Evaluación del nivel de sostenibilidad de la madera y de los productos forestales. Método análisis de ciclo de vida*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Custodio, C. (2020). *Diseño y planeación del producto*. Carlos Custodio.
- De Carvalho, M., Buzinaro, C., Brandalize, G. and Chagas, L. (14-16 de noviembre de 2012). *TRIZ/Systematic innovation applied to design and process problems* [Ponencia]. VII Congreso Iberoamericano de Innovación Tecnológica y Desarrollo de Productos, Veracruz, México.
- Flores, G., Garnica, J., Córdova, E., Niccolas, H., Medina, J. y Millán, E. (2017). *Modelo de innovación para el diseño de productos con TRIZ: la creatividad como eje central de progreso en empresas emergentes de México*. <https://lc.cx/L6JQJU>.

- Frank, F. (2019). *Rapid Prototyping and Engineering Applications: A Toolbox for Prototype Development*. (2ª ed.). Taylor and Francis.
- Gómez, R. y García, E. (2019). *Caracterización mecánica de los ladrillos no convencionales según la norma NTC 4026, construidos a partir de concreto y neumáticos fuera de uso (NFU)* [Trabajo de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://lc.cx/7Fihp9>.
- Gutiérrez, R., Cárdenas, B. y León, N. (2015). *Diseño de Tanque Térmico Solar considerando las contradicciones técnicas y los principios de inventiva*. <https://lc.cx/GO6FK3>.
- Herrero, A. (2019). *Arquitectura reciclada: residuos como nuevos materiales de construcción* [Trabajo de Grado]. Universidad Politécnica de Madrid. <https://oa.upm.es/53939>.
- Ihobe. (2018). *Guía para el uso de materiales reciclados en construcción*. Ihobe. <https://lc.cx/NEVeh5>.
- Isan, A. (21 de noviembre de 2017). Los neumáticos, grandes contaminantes. *Ecología Verde*. <https://www.ecologiaverde.com/los-neumaticos-grandes-contaminantes-419.html>.
- MacDonald, E. and She, J. (2015). Seven cognitive concepts for successful eco-design. *Journal of Cleaner Production*, 92(1), 23-36. <https://lc.cx/DGFBWp>.
- Marques, B., Tadeu, A., de Brito, J. and Almeida, J. (2017). A perspective on the development of sustainable construction products: An eco-design approach. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(2), 304-314. <https://lc.cx/DiDrn3>.
- Palomar, J., Rey, F., López, R., Lozano, J. y Rey, J. (2022). *Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en edificios sostenibles y descarbonizados*. Paraninfo.
- Rantanen, K., Conley, D. and Domb, E. (2017). *Simplified TRIZ. New Problem-Solving Applications for Technical and Business Professionals*. (3ª ed.). Taylor and Francis.
- Rendemy. (2019). *Modelado 3D para diseño de producto*. <https://lc.cx/z0131p>.
- Sandoval-Ruiz, C. y Ruiz-Díaz, E. (2018). Eco-diseño de propuestas de cocina de autor basada en productos y tecnología sostenible. *Qualitas*, 15(1), 75-99. https://lc.cx/F5n2s_.
- SolidWorks (2018). *Dassault Systèmes*. Estados Unidos.
- Stark, F., Moulin, C.-H., Cangiano, C., Vigne, M., Vayssières, J. y González-García, E. (2016). Metodologías para la evaluación de sistemas agropecuarios. Parte I. Generalidades. Análisis del ciclo de vida (ACV) y de las redes ecológicas (ENA). *Pastos y Forrajes*, 39(1), 3-13.