

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Estimación de la huella de carbono del acero estructural de los
métodos constructivos tradicionales de Galápagos**

Max Dilan Freire Ramón

Gestión Ambiental

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de Licenciatura en Gestión Ambiental

Puerto Baquerizo Moreno, 21 de abril de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Estimación de la huella de carbono del acero estructural de los
métodos constructivos tradicionales de Galápagos**

MAX DILAN FREIRE RAMÓN

Andrés Pazmiño Jaramillo, Candidato a PhD

Puerto Baquerizo Moreno, 21 de abril de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

| | |
|----------------------|--|
| Nombres y apellidos: | Max Dilan Freire Ramón |
| Código: | 00207985 |
| Cédula de identidad: | 2000141834 |
| Lugar y fecha: | Puerto Baquerizo Moreno, 21 de abril de 2022 |

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Galápagos presenta ecosistemas muy frágiles y de gran importancia ecológica a nivel mundial. Razón por la cual las islas fueron declaradas Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO, además de otros reconocimientos. Sin embargo, a pesar de estar sujetos a un régimen especial para garantizar su conservación, Galápagos presenta un desarrollo urbano descontrolado e insostenibilidad en sus métodos constructivos tradicionales. Ya que el sector constructivo es uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero a nivel mundial; es muy importante entender su impacto en lugares como las islas Galápagos, así como es necesario promover la reducción de gases de efecto invernadero en el sector constructivo de Galápagos. El acero estructural es un material básico utilizado en la construcción tradicional. El presente estudio es de carácter cuantitativo descriptivo y busca estimar la huella de carbono inicial del acero estructural en Galápagos. Para esto, se llevó a cabo una revisión bibliográfica para comparar los métodos de estimación de la huella de carbono del acero estructural, y se estableció el Kg CO₂ eq como unidad de medida para el cálculo. Se realizó la medición de la estructura metálica de una casa promedio compuesta de dos a tres pisos, ubicada en la isla San Cristóbal. El cálculo final dio un resultado de 104.834,11 Kg CO₂eq, siendo un valor considerablemente alto para un entorno como el de Galápagos. No obstante, existieron limitaciones referentes al acceso de planos de la casa, lo que derivó a que no se permitiera medir el acero estructural en losas y contrapisos.

Palabras clave: Huella de carbono, construcción, acero estructural, Galápagos.

ABSTRACT

Galapagos holds very fragile ecosystems of great ecological importance worldwide. Therefore, it was declared a Natural Heritage of Humanity by UNESCO, in addition to other recognitions. However, despite being subject to a special regime to guarantee its conservation, Galapagos presents uncontrolled urban development and unsustainable traditional construction methods. Since the construction sector is one of the main emitters of greenhouse gases worldwide; It is very important to understand its impact on places like the Galapagos Islands, just as it is necessary to promote the reduction of greenhouse gases associated to the construction sector of Galapagos. Structural steel is a basic material used in traditional construction. This is a descriptive quantitative study that aims to estimate the initial carbon footprint of structural steel in Galapagos. For this, a literature review was carried out to compare the methods for estimating the carbon footprint of structural steel, and Kg CO₂ eq was established as the unit of measurement for the calculation. The measurement of the metallic structure of an average house composed of two to three floors, located on San Cristóbal Island, was carried out. The final calculation gave a result of 104,834.11 Kg CO₂eq. This is a considerably high value for an environment such as the Galapagos. However, there were limitations in terms of access to the plans of the houses, so it was not allowed to measure the structural steel in slabs and subfloors.

Key words: Carbon footprint, construction, structural steel, Galapagos.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| INTRODUCCIÓN: | 9 |
| METODOLOGÍA | 11 |
| REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| LIMITACIONES | 17 |
| MEDICIÓN | 17 |
| RESULTADOS | 18 |
| DISCUSIÓN | 18 |
| CONCLUSIÓN | 20 |
| BIBLIOGRAFÍA | 21 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Definiciones de Huella de Carbono..... | 12 |
| Tabla 2 Emisiones de cada material Fuente: Carlos Quintana Diez..... | 14 |
| Tabla 3 Impacto del acero por etapa de ciclo de vida Fuente: Paul Laleicke, Alex Cimino-Hurt, Dylan Gardner, Arijit Sinha..... | 15 |
| Tabla 4 Estudios relacionados a la estimación de la huella de carbono del acero | 16 |
| Tabla 5 Resultados de la medición del acero estructural de la construcción residencial | 18 |

INTRODUCCIÓN:

Galápagos es un archipiélago que posee biodiversidad única y ecosistemas frágiles, razón por la cual es reconocido por la UNESCO como Patrimonio Natural de la Humanidad.

Continuamente se ha buscado lograr un desarrollo sostenible en las islas. Este enfoque se ve reflejado en los esfuerzos de autoridades e instituciones en realizar y desarrollar proyectos, programas o normativas que contribuyan a equilibrar la conservación y el desarrollo de las islas (Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos, 2021). Estas islas se encuentran bajo estrictos regímenes de control, cuyo objetivo es minimizar y mitigar los impactos que se generan al medio ambiente. Sin embargo, a pesar de encontrarnos bajo un contexto de alta protección, las actividades humanas y el desarrollo urbano traen consigo una serie de impactos y conflictos que incrementan la presión sobre los limitados recursos biofísicos (Martínez Iglesias, 2019).

El aumento de la población es un factor importante a considerar en Galápagos, ya que no solo implica una mayor demanda de recursos naturales, sino también un crecimiento urbano descontrolado (Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos, 2021). En lo que respecta a las edificaciones, aún no se conoce exactamente el nivel de impacto que genera su construcción y existen incógnitas en cuanto a qué tan sostenibles son. Cifras globales revelan que, en el año 2010, el sector de construcción fue el responsable directo e indirecto de alrededor del 18% de las emisiones de gas invernadero (Yu, Wiedmann, Crawford, & Tait, 2017). Sin embargo, no existen datos para poder estimar el impacto al medio ambiente que supone la construcción en Galápagos. Uno de los criterios más utilizados para ello es la estimación de la huella de carbono, es decir, medir el nivel de CO₂ que un determinado tipo de actividad (en este caso construcción) produce.

La huella de carbono es un término muy utilizado en la actualidad. Este término hace referencia a las emisiones de gases de efecto invernadero producto de la actividad humana, además de ser uno de los aspectos más utilizados para estimar el impacto de dichas actividades (Quintana Díez, 2018). A nivel mundial, se han realizado estimaciones para varias actividades o sectores, tales como: transporte, agricultura, ganadería, turismo, construcción, etc. Sin embargo, este estudio se enfoca en el contexto de la construcción en Galápagos.

El caso de Galápagos es muy particular, ya que toda construcción supone la importación de la mayor parte de los materiales desde la parte continental. Al igual que varios de los mayores emisores, el sector de la construcción cuenta con varias oportunidades de reducción de dichas emisiones, dependiendo de su función, ubicación, materiales, consumo de energía y la suposición de su vida útil (ONU, 2020). Debido a esto, al conocer más a profundidad la cantidad de materiales utilizados, y la respectiva estimación de su huella de carbono, se podrá recomendar el uso de materiales alternativos, nuevos métodos de construcción o utilización de nuevas tecnologías, con el objetivo de contribuir a la creación de un desarrollo urbano sostenible. Por ello, este estudio busca sondear cuáles son los métodos de estimación de la huella de carbono más adecuados para el contexto de Galápagos para el acero estructural.

DESARROLLO DEL TEMA

METODOLOGÍA

El presente es un estudio cuantitativo descriptivo que busca hacer una estimación inicial de la huella de carbono del acero estructural en las Islas Galápagos. Con este propósito, el estudio está estructurado en tres partes:

- Una breve revisión bibliográfica sobre los métodos de estimación de la huella de carbono para el acero estructural.
- La medición de la estructura metálica de una vivienda en la isla San Cristóbal, provincia de Galápagos y la posterior estimación de su huella de carbono.
- Una discusión sobre la conveniencia de los métodos utilizados, sus limitaciones y la relevancia de los resultados.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera está causando perturbaciones al medio ambiente. Esto contribuye a su vez con la problemática del calentamiento global y sus consecuencias (Pandey, Agrawal, & Shanker Pandey, 2011).

Partiendo de la idea de que solo lo medible es manejable, se ha comenzado a medir la intensidad de los gases de efecto invernadero. El impacto de productos, cuerpos, actividades y procesos se han empezado a medir en todo el mundo, expresado en huella de carbono. Esta herramienta pretende orientar los correspondientes y necesarios recortes de emisiones y verificaciones, por lo que es esencial su estandarización a nivel mundial.

La definición de huella de carbono ha evolucionado a través de los años y varía levemente dependiendo del enfoque que le da el autor. Se han atribuido varios conceptos a este término, los cuales podemos encontrar detallados en la Tabla 1:

Tabla 1 Definiciones de Huella de Carbono

| Título | Autores | Año | Revista | Concepto |
|---|---|------|---|--|
| A definition of Carbon Footprint | Widman y Minx | 2007 | Research and Consulting | <p>La demanda de biocapacidad requerida para secuestrar (a través de la fotosíntesis) las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de la combustión de combustibles fósiles.</p> <p>La huella de carbono es una medida de la cantidad total exclusiva de dióxido de carbono emisiones causadas directa e indirectamente por una actividad o se acumula a lo largo de la vida etapas de un producto.</p> |
| The importance of carbon footprint estimation boundaries. | H. Scott Matthews, Chris T. Hendrickson, and Christopher L. Weber | 2008 | Environmental science and technology | <p>La definición de "huella de carbono" es sorprendentemente vaga dado el aumento en el uso del término durante la última década. El término en sí tiene sus raíces en la literatura de "huella ecológica": intentar describir el área total de tierra necesaria para producir algún nivel de consumo humano. Debido a que el uso de la tierra para fabricar la mayoría de los productos de consumo está bastante distante en el tiempo y el espacio del consumidor final, la huella ecológica es inherentemente un cálculo de ciclo de vida completo. Sin embargo, esto no parece ser cierto para el nuevo sucesor del término, la huella de carbono; Wiedmann y Minx (4) encontraron una gran variedad de definiciones que difieren en qué gases se tienen en cuenta, dónde se trazan los límites del análisis y varios otros criterios.</p> |
| Carbon footprint: current methods of estimation | Divya Pandey, Madhoolika Agrawal and Jai Shanker Pandey | 2010 | Environmental monitoring and assessment | <p>El origen de la huella de carbono se remonta a un subconjunto de la "huella ecológica" propuesta por Wackernagel y Rees (1996). La huella ecológica se refiere al área biológicamente productiva de tierra y mar requerida para sustentar una población humana dada, expresada en hectáreas globales. Según este concepto, la huella de carbono se refiere a la superficie de tierra necesaria para asimilar la totalidad del CO₂ producido por la humanidad durante su vida.</p> |

| | | | | |
|---|---|------|---|--|
| Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización | Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España | 2014 | Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado | <p>Se entiende como huella de carbono “la totalidad de gases de efecto invernadero emitidos por efecto directo o indirecto por un individuo, organización, evento o producto”.</p> <p>Huella de carbono de producto: Mide los GEI emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto: desde la extracción de las materias primas, pasando por el procesado y fabricación y distribución, hasta la etapa de uso y final de la vida útil (depósito, reutilización o reciclado)</p> |
|---|---|------|---|--|

A pesar de no existir una definición ampliamente aceptada sobre el término huella de carbono, para motivos de este trabajo utilizaremos la definición de la ‘‘Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización’’ (Gobierno de España, 2014)

Ahora bien, el acero es un material fundamental para la construcción ya que es utilizado para reforzar componentes de hormigón armado -concreto más acero de refuerzo- que se encuentran sujetos a flexión, compresión, tensión y torsión. Casi la totalidad de edificaciones en Galápagos son construidas con hormigón armado. Sin embargo, una revisión in situ revela que existe un uso mínimo, pero creciente, de estructuras metálicas. Es decir, que los elementos estructurales como columnas y vigas son únicamente de perfiles de acero estructural.

Para poder estimar la huella de carbono del acero estructural, fue necesario identificar una unidad de medida que pueda facilitarnos su cálculo final y la posterior comparación con otros materiales de construcción como la madera y el hormigón armado. Otro factor importante fue seleccionar un método de estimación de la huella de carbono que sea aplicable al contexto de Galápagos. Con este fin, se recopiló información de dos estudios sobre la huella de carbono generada en la fabricación del acero estructural.

Método 1: Cálculo de la huella de carbono de vehículos utilitarios mediante el análisis del ciclo de vida:

La huella de carbono es una herramienta muy útil para conocer cuáles de los procesos producen mayor cantidad de gases de efecto invernadero (GEI). Varias empresas han optado por utilizar esta herramienta como primer paso para poder proceder con su reducción. En este estudio se utiliza el análisis de ciclo de vida para los vehículos, utilizando el CO₂ equivalente como unidad de medida. Se analizan los procesos de extracción de cada uno de los materiales que componen un vehículo a través de una revisión bibliográfica, el cual da como resultado los siguientes valores:

Tabla 2 Emisiones de cada material Fuente: Carlos Quintana Diez

| MATERIAL | EMISIONES |
|-----------------|--------------------------------------|
| ACERO | 1,9 kg CO ₂ eq/kg acero |
| ALUMINIO | 8,937 kg CO ₂ eq/kg acero |
| HIERRO | 1,425 kg CO ₂ eq/kg acero |
| COBRE | 6,6 kg CO ₂ eq/kg acero |
| CAUCHO | 0,66 kg CO ₂ eq/kg acero |
| VIDRIO | 0,93 kg CO ₂ eq/kg acero |
| PP | kg CO ₂ eq/kg acero |
| PVC | kg CO ₂ eq/kg acero |
| PU | kg CO ₂ eq/kg acero |
| HDPE | kg CO ₂ eq/kg acero |

Para poder realizar el cálculo, se tomó en cuenta las emisiones realizadas hasta la puerta de salida de la fábrica. El estudio cradle-to-gate permite cubrir todos los pasos y por ende toma en cuenta todas las emisiones realizadas, desde la extracción del material, transporte, obtención de productos secundarios, etc. (Quintana Díez, 2018). Así, el estudio reveló que, por cada 1 Kg de acero, se produce 1,9 Kg CO₂ eq.

Método 2: Comparative Carbon Footprint Analysis of Bamboo and Steel Scaffolding

Mediante el análisis de ciclo de vida, se realiza la comparativa de la huella de carbono de los andamios de acero y de bambú. Para analizar los impactos comparativos, se usa la estructura proporcionada por la serie ISO 14040. El impacto en el cual se centró el estudio es al potencial calentamiento global, expresado en masa de CO₂ eq.

Al igual que en el primer estudio, para la contabilización se tomaron en cuenta los procesos tanto de la cuna a la puerta; pero se añadieron los tramos posteriores: puerta a la puerta y de la puerta al uso. Para el cálculo del impacto de CO₂ eq, para las diferentes etapas, se utilizaron las cifras proporcionadas por el Departamento de Energía de Estados Unidos en un estudio que describe la industria del acero y el hierro. Sin embargo, se tuvo que transformar a la unidad de medida, ya que el estudio de 1998 ofrece una estimación de las libras de CO₂ por tonelada de acero (Laleicke, Cimino-Hurt, Gardner, & Sinha, 2015). Lo que da como resultado un impacto diferenciado en cada una de las etapas (Tabla 3).

Tabla 3 Impacto del acero por etapa de ciclo de vida Fuente: Paul Laleicke, Alex Cimino-Hurt, Dylan Gardner, Arijit Sinha

| Stage | Kg CO ₂ e / FU |
|-------|---------------------------|
|-------|---------------------------|

| | |
|----------------------------------|-------|
| Mining | 5,41 |
| Cokemaking | 8,01 |
| Pulverized Coal Injection | 0,08 |
| Ironmaking | 156,9 |
| BOF Steelmaking | 38,44 |
| Hot-rolling | 29,51 |
| Cold-rolling | 17,97 |
| Tempering and Finishing | 13,73 |
| Transportation | 2,70 |
| Use | 27,28 |
| Total | 300,1 |

Se tomó el valor de huella de carbono de 5,41 Kg CO₂ eq/FU del estudio ‘‘Comparative Carbon Footprint Analysis of Bamboo and Steel Scaffolding’’ (Quintana Diez, C., 2018), debido a que nos proporciona más información del impacto que genera el carbono en sus diferentes etapas. En la Tabla 4 se detallan de manera simplificada los estudios comparados.

Tabla 4 Estudios relacionados a la estimación de la huella de carbono del acero

| | Título | Autores | Año | Kg CO₂/ ton |
|------------------|---|---|------------|------------------------------------|
| Estudio A | Cálculo de la huella de carbono de vehículos utilitarios mediante el análisis del ciclo de vida | Quintana Diez, C. (2018) | 2018 | 1,9 kg CO ₂ eq/kg acero |
| Estudio B | Comparative Carbon Footprint Analysis of Bamboo and Steel Scaffolding | Laleicke, P. F., Cimino-Hurt, A., Gardner, D., & Sinha, A. (2015) | 2015 | 5,41 Kg CO ₂ /FU |

LIMITACIONES

Durante la fase de recopilación de datos para este estudio se presentó una limitación importante:

Debido a que la gran mayoría de construcciones son informales en la isla de San Cristóbal, no existen planos de las viviendas. Esto hace que no se pueda estimar correctamente la cantidad de acero en paredes, contrapisos y losas. Además, debido a la informalidad de las construcciones, no hubo apertura de la población para permitir la medición de sus viviendas.

Debido a lo mencionado anteriormente, el estudio se centró únicamente en la medición de una construcción residencial. La muestra utilizada no es representativa, por lo que no se pudo realizar un estudio estadísticamente significativo.

MEDICIÓN

Para la segunda etapa del proyecto, se realizó la medición de una casa promedio en Galápagos, la cual tiene entre 150 m² a 200 m² y está compuesta de dos a tres pisos. En base a esto se seleccionó una construcción residencial de 187 m² en dos pisos ubicada en el barrio Fragata de la isla San Cristóbal en Galápagos. A partir de un diagrama realizado manualmente se empezó a medir los elementos estructurales de la construcción, es decir las vigas y columnas, utilizando un medidor láser, una aplicación de medición y una cinta métrica. Se usaron los tres métodos de medición para comprobar que no haya problemas en la exactitud de las mediciones. Posteriormente, se procedió a utilizar el medidor láser por su precisión y facilidad de uso. No se tomó en consideración el acero de refuerzo de losas y contra pisos ya que sin los planos es imposible estimar su cuantía.

Finalmente, los datos de los perfiles de acero estructural fueron sacados del catálogo de la página web de Import Aceros.

Los resultados de la medición se presentan en la Tabla 5:

Tabla 5 Resultados de la medición del acero estructural de la construcción residencial

| Piso | Elemento Estructural | Cantidad | Sección Medida | | | Perfil Equivalente | | Peso (kg) |
|--|------------------------|----------|----------------|-----------|----------|--------------------|--------|-----------------|
| | | | Ancho (m) | Largo (m) | Alto (m) | Nombre | kg/m | |
| 1ro | Columna de Cerramiento | 24,00 | 0,30 | 0,30 | 2,50 | Tubo 100x100x5 | 14,41 | 864,60 |
| | Columna A1 | 13,00 | 0,35 | 0,35 | 2,70 | HEB 300 | 117,00 | 4106,70 |
| | Columna B1 | 5,00 | 0,25 | 0,25 | 2,70 | HEB 240 | 83,20 | 1123,20 |
| | Columna E1 | 3,00 | 0,35 | 0,50 | 2,70 | HEB 360 | 142,00 | 1150,20 |
| 2do | Columna A2 | 12,00 | 0,35 | 0,35 | 2,70 | HEB 300 | 117,00 | 3790,80 |
| | Columna B2 | 2,00 | 0,25 | 0,25 | 2,70 | HEB 240 | 83,20 | 449,28 |
| | Columna E2 | 3,00 | 0,35 | 0,50 | 2,70 | HEB 360 | 142,00 | 1150,20 |
| Subtotal | | | | | | | | 12634,98 |
| 1ro | Viga a1 | 22,00 | 0,30 | 3,00 | 0,40 | IPE 270 | 36,10 | 2382,60 |
| 2do | Viga a2 | 19,00 | 0,30 | 3,00 | 0,40 | IPE 270 | 36,10 | 2057,70 |
| Cubierta | Viga a3 | 19,00 | 0,30 | 3,00 | 0,40 | IPE 220 | 26,20 | 1493,40 |
| Cubierta | Correa c3 | 44,00 | 0,30 | 3,00 | 0,40 | G 150x15x30x3 | 6,13 | 809,16 |
| Subtotal | | | | | | | | 6742,86 |
| PESO TOTAL DE ACERO ESTRUCTURAL (kg) NO INCLUYE EL ACERO DE REFUERZO EN LOSAS Y CONTRAPISOS | | | | | | | | 19377,84 |

RESULTADOS

El resultado de la medición dio un peso total de 19.377,84 Kg de acero utilizado en la construcción de la vivienda residencial. Tomando el valor de la huella de carbono del estudio ‘‘Comparative Carbon Footprint Analysis of Bamboo and Steel Scaffolding’’ (Quintana Diez, C., 2018), 5,41 Kg CO₂ eq/FU, se procede a hacer el cálculo:

$$19.377,84 \text{ Kg} * 5,41 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq/FU} = 104.834,11 \text{ Kg CO}_2 \text{ eq/FU}$$

DISCUSIÓN

El desarrollo urbano se considera comúnmente como un proceso positivo, brindando oportunidades de mejorar económica y social a sectores rurales. Sin embargo, en el contexto de Galápagos tiende a ser muy diferente. En primer lugar, se debe reconocer la fragilidad de los ecosistemas y el gran impacto a los servicios que estos proporcionan, tales como el ciclo del

agua, biodiversidad, clima local, etc. En segundo lugar, la disponibilidad de recursos naturales es muy limitada, y la mayor parte de materiales de construcción es importada desde el Ecuador Continental.

En la construcción, se consideran varios factores que afectan a las emisiones de carbono, tales como el tamaño de la edificación, su ubicación, el transporte de los materiales hasta el lugar de la obra, el equipo utilizado, etc (García-Ochoa, Quito-Rodríguez, & Perdomo Moreno, 2020). En la etapa de transporte, el potencial riesgo de introducción de especies es latente y puede ocasionar alteraciones a los procesos ecológicos de los ecosistemas que posee Galápagos. Medir la huella de carbono de los materiales de construcción nos permitirá calcular el nivel de impacto que se genera al medio ambiente. Asimismo, da apertura a que se trabaje en alternativas para disminuir o eliminar las emisiones de CO₂.

Los resultados obtenidos demuestran que la huella de carbono del acero estructural en una casa es considerablemente alta, alcanzando una cifra de 104.834,11 Kg CO₂eq. El método utilizado para la estimación de la huella de carbono fue conveniente debido a la escasa información que se posee sobre emisiones CO₂ de la construcción en Galápagos. La falta de planos de la vivienda significó también una gran limitante para el estudio. Sin embargo, para poder afinar las estimaciones de la huella de carbono se deben realizar más estudios similares que involucren otros aspectos de la construcción, tales como las paredes, instalaciones y consumo de energía y agua. Por último, es importante la utilización una muestra representativa

En términos de reutilización, en el caso del acero, solo las piezas de fácil acceso se pueden recuperar, siendo la tasa de recuperación del hormigón armado poco significativa (Castells, 2000). No obstante, la cualidad de ser reutilizable nos da la oportunidad de buscar

maneras de optimizar la utilización de este material y que su huella de carbono no termine en su primer uso.

CONCLUSIÓN

El resultado de la huella de carbono del acero estructural en la construcción residencial elegida demostró ser considerablemente alta para un entorno como el de Galápagos. Sin embargo, el estudio no se puede generalizar debido a que no es estadísticamente representativo. Los resultados obtenidos cuentan con varias limitantes explicadas en secciones anteriores, entre la que destacamos la informalidad que existe en el proceso de construcción.

De poseer los planos de la vivienda, la etapa de medición y sus resultados hubieran sido más exactos. Sin embargo, podemos usar las limitantes de este estudio como parte de nuestros resultados. La informalidad en la construcción deriva en una falta de acceso a la información por parte del GAD Municipal de San Cristóbal. Razón por la cual es importante el desarrollo de políticas y códigos que regulen y busquen mejorar la eficiencia de los procesos constructivos, mediante la integración de diseños eficientes y materiales con huellas de carbono bajas.

La ventaja del acero es que posee la cualidad de ser reutilizable, algo que no sucede con los demás residuos de construcción. Someter al acero a correctos procesos de fundición y purificación, le brinda la posibilidad de que su huella de carbono no termine en su primer uso.

Aún a pesar de las limitantes, el presente estudio es el primer paso hacia futuras investigaciones relacionadas al cálculo de la huella de carbono de la construcción en Galápagos. Ya que el desarrollo urbano descontrolado es un problema que actualmente está afectado a las islas y si hacemos caso omiso puede provocar consecuencias a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Benítez, F., Mena, C., & Zurita-Arthos, L. (2018). Urban land cover change in ecologically fragile environments: the case of the Galapagos Islands. *Land*, 21.
- Castells, X. E. (2000). *Reciclaje de residuos industriales: aplicación a la fabricación de materiales para la construcción*.
- Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos. (2021). *Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Régimen Especial de Galápagos, Plan Galápagos 2030*. Puerto Baquerizo Moreno, Galápagos, Ecuador.
- García-Ochoa, J., Quito-Rodríguez, J., & Perdomo Moreno, J. (2020). *Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente*. Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Gobierno de España. (2014). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado.
- Import Aceros. (2022). Obtenido de <https://www.importaceros.com/>
- Laleicke, P., Cimino-Hurt, A., Gardner, D., & Sinha, A. (2015). Comparative Carbon Footprint Analysis of Bamboo and Steel Scaffolding. *Journal of Green Building*, 114-126.
- Martínez Iglesias, C. (2019). *El Conflicto entre Conservación y Desarrollo en las Islas Galápagos. Usando el Análisis de los Sistemas Metabólicos Socio-Ecológicos*. Universidad Autónoma de Barcelona.

Ministerio del Ambiente. (s.f.). *MAE trabaja en programas de mitigación y adaptación para reducir emisiones de Co2 en Ecuador*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/mae-trabaja-en-programas-de-mitigacion-y-adaptacion-para-reducir-emisiones-de-co2-en-ecuador/>

ONU. (16 de Diciembre de 2020). *Emisiones del sector de los edificios alcanzaron nivel récord en 2019: informe de la ONU*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/emisiones-del-sector-de-los-edificios-alcanzaron-nivel>

Pandey, D., Agrawal, M., & Shanker Pandey, J. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental monitoring and assessment*, 135-160.

Quintana Díez, C. (2018). *Cálculo de la huella de carbono de vehículos utilitarios mediante el análisis de ciclo de vida*. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN.

Yu, M., Wiedmann, T., Crawford, R., & Tait, C. (2017). The carbon footprint of Australia's construction sector. *Procedia Engineering 180 (2017)*, 211 - 220.