

UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

“Análisis comparativo de metodologías de evaluación de impactos ambientales aplicadas en el sector de la construcción”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental

Autora:

María Isabel Rodas Urgiles.

CI: 0105718316

Correo electrónico: mirodasu@gmail.com

Director:

Ing. Paúl Fernando Vanegas Peña, PhD.

CI: 0102596186

Asesora:

Ing. Gabriela Carolina Sucozhañay Idrovo.

CI: 0105386601

Cuenca, Ecuador

11-noviembre-2022

Resumen

Los edificios representan el 19 % del consumo mundial de recursos, el sector de la construcción consume el 40 % de energía y materiales, y el 16 % del agua. A nivel nacional, este sector fue la tercera actividad económica generadora de impacto ambiental durante tres años consecutivos, y hasta 2018 más del 74 % de empresas de construcción no contaban con ningún tipo de permiso ambiental para su operación. La normativa ambiental del Ecuador establece los límites máximos permisibles y las variables que se deben considerar en una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA); sin embargo, no se detalla una metodología o guía para realizar una EIA en el sector de la construcción.

El presente trabajo tiene como objetivo establecer lineamientos que faciliten la selección de una metodología de EIA apropiada para el sector de la construcción. Para ello se realizó un análisis comparativo multicriterio de metodologías como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Huella de Agua, Huella de Carbono, matriz de Leopold, matriz de Battelle Columbus, y matriz Conesa Fernández. El análisis comparativo cuenta con un conjunto de 7 criterios, 21 subcriterios y 62 variables que determinan el desempeño de evaluación cada metodología en 100 puntos. Adicionalmente, se definió un apartado de construcción que analiza el desempeño de las metodologías en 18 categorías de impacto y 19 actividades de impacto a lo largo del ciclo de vida de una edificación. Los resultados mostraron que el ACV fue la metodología con mejor desempeño al presentar una puntuación de 100, la matriz de Conesa Fernández mostró el siguiente mejor desempeño con 75. Las matrices de Battelle Columbus y Leopold tuvieron un puntaje de 68 y 60 respectivamente, la Huella de Agua obtuvo un puntaje de 47, y la Huella de Carbono presentó un puntaje muy bajo de 14 puntos. Finalmente, se propusieron 50 lineamientos que se validaron con expertos, llegando a un nivel de aceptación del 80 % sin ninguna observación mayor. Se concluyó que la principal diferencia entre unas con otras es el nivel de análisis que éstas permiten al identificar, valorar o evaluar impactos ambientales, que para seleccionar una metodología de EIA es importante considerar varios criterios, y que los lineamientos apoyan al evaluador a la toma de decisiones informadas.

Palabras clave: Evaluación de impactos ambientales. Análisis de ciclo de vida. Huella de agua. Huella de carbono. Matriz de evaluación ambiental. Lineamientos para evaluación ambiental. Evaluación ambiental del sector de la construcción.

Abstract

Buildings account the 19 % of global resource consumption, the construction sector consumes 40 % of energy and materials, and 16 % of water. In Ecuador this sector was the third economic activity generating environmental impact for three consecutive years, and more than 74 % of construction companies did not have any type of environmental permission for their operation until 2018. Ecuador's environmental regulations establish the maximum permissible limits and the variables that must be considered in an environmental evaluation. However, it does not detail a methodology or guidance for conducting an environmental assessment in the construction sector.

The present research aims to establish guidelines that facilitate the selection of an appropriate environmental evaluation methodology for the construction sector. For this purpose, it was carried out a multi-criteria comparative analysis of methodologies such as Life Cycle Assessment (LCA), Water Footprint, Carbon Footprint, Leopold matrix, Battelle Columbus Environmental Evaluation and Conesa Fernández method. The comparative analysis has a set of 7 criteria, 21 sub-criteria and 62 variables that determine the evaluation performance of each methodology in 100 points. Additionally, a construction section was defined that analyzes the performance of the methodologies in 18 impact categories and 19 impact activities throughout the life cycle of a building. The results showed that the LCA was the methodology with the best performance with a score of 100. The Conesa Fernández method showed the next best performance with 75. The Battelle Columbus and Leopold matrices scored 68 and 60 respectively. The Water Footprint scored 47, and the Carbon Footprint scored very low at 14 points. Finally, 50 guidelines were proposed and were validated with experts, reaching an acceptance level of 80 % without any major observations. It was concluded that the main difference between them is the level of analysis they allow when identifying, assessing, or evaluating environmental impacts, to select a methodology of environmental evaluation is important to consider several criteria, and guidelines support the evaluator in making informed decisions.

Keywords: Environmental assessment. Life cycle assessment. Water footprint. Carbon footprint. Environmental evaluation matrix. Guidelines for environmental assessment. Construction environmental assessment.

Índice de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	10
1.1.	Objetivo general	11
1.2.	Objetivos específicos.....	11
2.	MARCO TEÓRICO.....	12
2.1.	Impactos Ambientales de la Edificación	12
2.1.1.	Energía	12
2.1.2.	Materiales	13
2.1.3.	Emisiones	14
2.1.4.	Suelo.....	15
2.1.5.	Agua.....	16
2.1.6.	Residuos.....	17
2.2.	Evaluación de Impactos Ambientales (EIA).....	18
2.2.1.	Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	19
2.2.2.	Huella de Agua	23
2.2.3.	Huella de Carbono.....	25
2.2.4.	Matriz de evaluación de impactos ambientales de Leopold.....	26
2.2.5.	Matriz de evaluación de impactos ambientales de Battelle Columbus	27
2.2.6.	Matriz de evaluación de impactos ambientales de Conesa Fernández.....	28
2.3.	Análisis Comparativo Multicriterio	29
2.4.	Lineamientos para la toma de decisiones.....	30
2.5.	Validación de resultados	31
3.	METODOLOGÍA.....	32
3.1.	Identificación de metodologías de Evaluación de Impactos Ambientales más utilizadas a nivel nacional e internacional.....	33
3.2.	Análisis Comparativo Multicriterio de metodologías de EIA.....	35
3.2.1.	Definición de criterios, subcriterios, variables y subvariables de comparación.....	35
3.2.2.	Operativización de parámetros	39
3.2.3.	Jerarquización de criterios, subcriterios, variables y subvariables	40
3.2.4.	Calificación de las metodologías.....	46
3.3.	Elaboración de lineamientos	47
3.4.	Validación de lineamientos a través del método Delphi	47

3.4.1.	Definición del objetivo de validación	48
3.4.2.	Conformación del grupo de expertos	48
3.4.3.	Ejecución de rondas de consulta	49
3.4.4.	Resultados de rondas de consulta.....	49
4.	RESULTADOS	50
4.1.	Resultados de la identificación de metodologías de Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) más utilizadas a nivel nacional e internacional	50
4.2.	Resultados del Análisis Comparativo Multicriterio de metodologías de EIA.....	51
4.2.1.	Resultados de comparación por subcriterios.....	51
4.2.2.	Resultados de comparación por criterios.....	54
4.2.3.	Resultados finales de comparación	56
4.2.4.	Resultados de comparación para el apartado de “Construcción”	57
4.3.	Lineamientos propuestos a partir de los resultados de comparación	62
4.4.	Validación de lineamientos.....	83
5.	DISCUSIÓN.....	87
6.	CONCLUSIONES.....	93
7.	RECOMENDACIONES	96
8.	REFERENCIAS	97
9.	ANEXOS.....	107
	Anexo 1: Matriz de hallazgos de metodologías de EIA.	108
	Anexo 2: Matriz de hallazgos de criterios de comparación.	109
	Anexo 3: Revisión bibliográfica de los subcriterios de comparación para definición de variables y subvariables del Análisis Comparativo Multicriterio	110
	Anexo 4: Matriz de comparación de metodologías de EIA.....	115
	Anexo 5: Matriz de validación de lineamientos.....	117

Índice de Tablas

Tabla 1 Criterios y subcriterios del Análisis Comparativo Multicriterio.....	36
Tabla 2 Escala de medición y parámetros utilizados en el Análisis Comparativo Multicriterio	40
Tabla 3 Pesos de criterios, subcriterios, variables y subvariables del Análisis Comparativo Multicriterio	42
Tabla 4 Pesos de variables del Análisis Comparativo Multicriterio para el apartado “Construcción”	45
Tabla 5 Expertos entrevistados para la validación de lineamientos	48
Tabla 6 Resultados por subcriterios de la comparación de metodologías de EIA	53
Tabla 7 Resultados por criterios de la comparación de metodologías de EIA	55
Tabla 8 Resultados finales de la comparación de metodologías de EIA	57
Tabla 9 Resultados por etapa de ciclo de vida de la comparación de metodologías de EIA para la construcción	59
Tabla 10 Resultados finales de la comparación de metodologías de EIA para construcción	61
Tabla 11 Nivel de acuerdo de expertos con los lineamientos establecidos.....	83

Índice de Figuras

Figura 1 Etapas del Análisis del Ciclo de Vida	19
Figura 2 Esquema metodológico del estudio.....	33
Figura 3 Esquema ejemplo de jerarquización de criterios y variables	41
Figura 4 Resultados por criterios de la comparación de metodologías de EIA	56
Figura 5 Resultados finales de la comparación de metodologías de EIA.....	57
Figura 6 Resultados por etapa de ciclo de vida de la comparación de metodologías de EIA para la construcción	60
Figura 7 Resultados finales de la comparación de metodologías de EIA para la construcción	61
Figura 8 Media y desviación estándar de opiniones de expertos en la validación	86

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

María Isabel Rodas Urgiles, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis comparativo de metodologías de evaluación de impactos ambientales aplicadas en el sector de la construcción", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 11 de noviembre de 2022

Ma. Isabel Rodas U.

María Isabel Rodas Urgiles

C.I: 0105718316

Cláusula de Propiedad Intelectual

María Isabel Rodas Urgiles, autora del trabajo de titulación “Análisis comparativo de metodologías de evaluación de impactos ambientales aplicadas en el sector de la construcción”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 11 de noviembre de 2022

Ma. Isabel Rodas U.

María Isabel Rodas Urgiles

C.I: 0105718316

Agradecimientos

A Gaby por la guía a lo largo de este trabajo, por el conocimiento transmitido y el tiempo invertido. A Paúl Vanegas por el apoyo, la confianza, y por los comentarios y sugerencias para ayudarme a mejorar. A todos quienes conforman el equipo de investigación de Economía Circular Inclusiva y Desarrollo Sostenible del Departamento Interdisciplinario de Espacio y Población de la Universidad de Cuenca por la experiencia compartida y la oportunidad de formar parte de este grupo de excelentes profesionales y grandes personas.

A quienes formaron parte de esta gran etapa de aprendizaje, Daniela, Paz, Mateo, Samuel, David, Magaly, Galia, y todos aquellos que contribuyeron a mi formación profesional.

Finalmente, a todas las personas que directa o indirectamente estuvieron presentes y me dieron los ánimos para seguir adelante.

Dedicatoria

A mis padres, Maribel y Fernando que, con cariño, esfuerzo y dedicación supieron guiarme por el camino apropiado y siempre me dieron palabras de aliento.

A mi hermano Juan Fernando que ha sido mi compañero y nunca me ha dejado sola.

A mi hermana Gabriela y a mis sobrinos Martín y Clarita, por las alegrías y risas de cada día.

1. INTRODUCCIÓN

Los asentamientos humanos generan impactos significativos en el ambiente por dos principales causas: el consumo excesivo de recursos y la expansión demográfica que genera desechos y contaminación (Daza, 2010). El crecimiento de la mayoría de las ciudades se da sin criterios ambientales causando degradación de recursos, pérdida de la calidad de suelo, aumento de Gases de Efecto Invernadero, y elevadas cantidades de residuos (Jiménez, 2018).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), a nivel nacional, el sector de la construcción emitió cerca de 0,3 kg. CO_{2eq}/USD en 2017, y para 2018 este valor aumentó a 0,51 kg. CO_{2eq}/USD. Al mismo tiempo, el indicador de Intensidad Energética de la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) muestra que este sector utilizó 3,5 y 3,6 MJ de energía eléctrica y combustibles en 2016 y 2017 respectivamente. Para el 2018 este valor estuvo cercano a 7 MJ de energía, lo que muestra que la eficiencia energética en el sector disminuyó en el tiempo (INEC, 2019a, 2020).

Asimismo, el uso de agua subterránea incrementó considerablemente, en 2016 el sector de la construcción usó un 25 % de aguas subterráneas, y para 2018 este valor superó el 80 %. Agregado a esto, el segundo residuo que más produjeron las empresas entre 2017 y 2018 fueron los escombros de construcción con cerca de 1 Mt generada cada año. A pesar de los datos, hasta 2018 más del 74 % de empresas de construcción no contaban con ningún tipo de permiso ambiental, evidenciando un bajo nivel de regulación en el sector en lo referente a la evaluación de impactos ambientales (INEC, 2019a, 2020).

En Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica es el responsable de la gestión ambiental y otorga los permisos ambientales pertinentes a los diferentes proyectos según una categorización de impactos. A través del Sistema Único de Información Ambiental, se presentan y revisan los estudios y evaluaciones de impacto requeridas para obtener los permisos. El Catálogo de Actividades del Sistema de Regulación Ambiental menciona que la construcción de todo tipo de edificios debe tener un certificado ambiental; sin embargo, dentro de la normativa no se establece una metodología específica para realizar una evaluación ambiental en el sector de la construcción, ni consideraciones para seleccionar alguna que permita evaluar los impactos que se producen en el sector (MAATE, 2021).

Varios estudios proponen que se empleen metodologías como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Huella de Carbono, o Huella de Agua para evaluar el desempeño ambiental de una edificación, debido a que éstas evalúan impactos relacionados al medio a través de métricas estandarizadas, siguen un proceso sistemático y son reconocidas a nivel internacional (Dellavedova, 2016). A nivel nacional, las metodologías más usadas para evaluación ambiental son matrices como la de Leopold, Battelle Columbus o Conesa Fernández, ya que éstas permiten analizar requisitos que menciona la normativa; sin embargo, su proceso metodológico solo permite la identificación y valoración de actividades que generan efectos en el ambiente y no calculan el verdadero impacto que se produce (Ligrone, 2017).

En este contexto, el presente trabajo de titulación realizará un análisis comparativo de las metodologías de evaluación ambiental más empleadas a nivel internacional y nacional, por medio de criterios y variables de comparación para determinar el desempeño de cada metodología en evaluación ambiental, tomando como caso de estudio el sector de la construcción. Con los resultados se espera establecer lineamientos que sean validados por expertos para asegurar su claridad y aplicabilidad, con el fin de que apoyen al evaluador en el momento de seleccionar una herramienta adecuada para la evaluación ambiental de impactos generado por actividades o proyectos de construcción.

1.1. Objetivo general

Establecer lineamientos que faciliten la selección de una metodología de evaluación de impactos ambientales apropiada para el sector de la construcción, de acuerdo a las características del proyecto y las propias del método.

1.2. Objetivos específicos

- Identificar las metodologías de evaluación de impactos ambientales más utilizadas a nivel nacional e internacional en el sector de la construcción, mediante una revisión de literatura.
- Realizar un análisis comparativo de las metodologías, en base a criterios definidos según las características de cada una.
- Proponer lineamientos a partir de los hallazgos del estudio.
- Validar los lineamientos propuestos por medio de entrevistas con expertos en evaluación de impactos ambientales, a través del método Delphi.

2. MARCO TEÓRICO

En la presente sección se detallan los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de una edificación en cuanto al consumo de energía, materiales que emplea, emisiones que genera, uso de suelo, consumo de agua y generación de residuos. Posterior a ello, se definen las metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental más sugeridas por la academia como el Análisis de Ciclo del Vida, Huella de Agua, y Huella de Carbono, y las más empleadas en Ecuador como la matriz de Leopold, matriz Battelle Columbus y matriz Conesa Fernández. Finalmente, se señala el procedimiento del Análisis Comparativo Multicriterio, la necesidad de lineamientos para la toma de decisiones y la importancia de la validación de resultados con expertos.

2.1. Impactos Ambientales de la Edificación

El entorno urbano produce contaminación al aire y agua, generación de residuos, islas de calor, escurrimiento de aguas pluviales, y ruido, causando efectos en la salud humana, degradación del medio ambiente y pérdida de recursos (Daza, 2010). Los edificios representan el 19 % del consumo mundial de recursos, el sector de la construcción consume el 40 % de la energía y los materiales, y el 16 % del agua en el mundo (UN-Habitat, 2012, 2017). Dentro de los impactos más significativos se pueden mencionar el consumo de energía eléctrica, producción de materiales, emisiones de gases, uso y ocupación del suelo, consumo de agua y generación de residuos.

2.1.1. Energía

Del total de consumo de energía en todo el mundo entre el 20 % al 50 % corresponde a las edificaciones, siendo la etapa de uso la que representa entre el 60 % al 90 % de consumo de energía durante todo el ciclo de vida (Gustavsson y Joelsson, 2010). Generalmente la principal causa de consumo energético en el uso de las edificaciones es la calefacción y el sistema de aire acondicionado, lo que representa alrededor del 60 % del consumo de energía. Este porcentaje se ve reflejado en valores de emisiones de 10 a 15 kg. CO_{2eq}/año por habitante (Zabalza *et al.*, 2009). En las etapas de producción de materiales y construcción se consume alrededor del 40 % de la energía a lo largo del ciclo de vida de la edificación (Gustavsson y Joelsson, 2010).

En Ecuador, una vivienda promedio en Cuenca consume alrededor de 85 kWh/m² al año durante su uso. El gas es el principal combustible para cocinar y calentar agua sanitaria, más de la mitad de las viviendas utilizan focos ahorradores para la iluminación y la gran mayoría no cuentan con un sistema de calefacción (Baquero y Quesada, 2016). El Marco de Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental a Ecoestructuras, propone una sustitución parcial o total de las fuentes de energía eléctrica por otras fuentes renovables, coprocesamiento, optimización en el consumo y reducción del desperdicio eléctrico, aprovechamiento de la luz solar, y sistemas de iluminación libre de mercurio, con el fin de reducir el impacto ambiental por el consumo energético (MAATE, 2015b).

Entre los estudios que han utilizado metodologías de evaluación ambiental para analizar los impactos del consumo de energía en la construcción se encuentran: Rossi *et al.* (2012), utilizaron el ACV para evaluar las emisiones de CO₂ debido al consumo de energía incorporada y operacional de edificios residenciales en tres ciudades. Panahian *et al.* (2017), emplearon la Huella de Carbono para calcular las emisiones de Gases de Efecto Invernadero por el consumo eléctrico de un edificio durante la etapa de uso.

2.1.2. Materiales

Los materiales de construcción tienen impactos en el medio ambiente en todas las fases de su ciclo de vida, desde la extracción, producción, uso y disposición final. Del total de energía empleada durante el ciclo de vida de una edificación, del 20 % al 40 % es energía utilizada para producir los materiales de construcción (Hoxha *et al.*, 2020). Según el Worldwatch Institute, la construcción de edificaciones consume anualmente alrededor del 40 % de piedra, arena y gravilla y el 25 % de madera del mundo. El crecimiento de la demanda de materiales de construcción se refleja en mayor consumo de materias primas y energía, especialmente en las fases de extracción, producción y transporte (Venegas, 2018).

Los materiales de construcción, además de utilizar energía para su producción, aportan el 40 % de las emisiones de CO₂ durante la producción, con respecto a toda la vida útil del edificio (Venegas, 2018). La manufactura y el transporte de los materiales representan el 23 % de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, de las cuales más de la mitad se deben a la producción del cemento y el aluminio (Hoxha *et al.*, 2020).

En Cuenca, los materiales de una vivienda promedio para las paredes son hormigón, ladrillo y bloque, para el techo y cubiertas estuco y Eternit, y para el piso madera o cerámica (Quesada

et al., 2018). El Marco de Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental a Ecoestructuras incentiva el uso de elementos constitutivos de la fachada con materiales naturales o equivalentes artificiales, y materiales alternativos que sean sostenibles, reciclables, reutilizables, y no tóxicos. Además, propone la construcción de ecoviviendas con mobiliarios y espacios multifuncionales que optimizan espacios y materiales (MAATE, 2015b).

Los impactos ambientales de los materiales de construcción se han evaluado con distintas metodologías, por ejemplo: Salas *et al.* (2018) realizaron un ACV para identificar los puntos críticos durante la producción del hormigón geopolímero en Ecuador analizando las emisiones de CO₂ y el uso de energía, Fantilli *et al.* (2019) compararon la Huella de Carbono de la producción de hormigón y acero utilizados en tres edificios residenciales de diferentes alturas.

2.1.3. Emisiones

Los Gases de Efecto Invernadero emitidos por los edificios están relacionados al uso de combustibles fósiles y refrigerantes (Wallhagen *et al.*, 2011). En Ecuador, durante 2018 el sector de la construcción emitió 0,51 kg.CO_{2eq}/USD, principalmente por los combustibles utilizados para energía y transporte, siendo el sector con mayor aumento de generación de CO₂ con respecto al 2017 (INEC, 2020); sin embargo, las emisiones que regula la Norma de Calidad de Aire Ambiente del Libro VI del TULSMA como los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, oxidantes fotoquímicos y material particulado, no se toman en cuenta en ninguna etapa del ciclo de vida de la edificación.

Se han utilizado diferentes metodologías de evaluación ambiental de los contaminantes de una vivienda, por ejemplo: Zabalza *et al.* (2009), realizaron un ACV de un edificio en la etapa de uso para analizar las emisiones de CO₂ del consumo eléctrico para la producción de los materiales, iluminación, cocción, calefacción y calentamiento de agua durante el uso de la vivienda. Panahian *et al.* (2017), utilizaron la Huella de Carbono para estimar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero relacionados al uso de electricidad para calefacción e iluminación.

Por otro lado, las matrices de evaluación de impactos también han sido utilizadas para identificar y valorar impactos al aire por las emisiones, por ejemplo: Eliconsul (2013), empleó la matriz de Leopold e identificó que las principales emisiones de gases y polvo se generan durante la construcción del edificio debido a la operación de la maquinaria y los vehículos que transportan materiales. Abril y Rodríguez (2013), utilizaron la matriz de Battelle Columbus y los resultados mostraron que la calidad del aire se vio afectada debido a la concentración de sustancias

generadas por combustión durante la operación de maquinaria en la construcción. El estudio de Camacho (2015), empleó la matriz de Conesa Fernández durante la etapa de construcción y uso de un edificio de oficinas y concluyó que las afecciones al aire por emisiones de CO, SO₂, NOx y polvos contaminantes son de baja magnitud.

2.1.4. Suelo

La expansión urbana y el aumento de la superficie construida son responsables de dos tipos de impactos al suelo: la huella ambiental de las edificaciones y el proceso de extracción, producción, transporte y tratamiento de fin de vida de los materiales de construcción. Los impactos dependen principalmente de la densidad construida, ocupación y transformación del suelo, tipo de suelo, biodiversidad, entre otros parámetros (Trigaux *et al.*, 2017). El proceso de construcción provoca compactación y la reducción de la porosidad del suelo, perturbando la infiltración de agua lluvia, capacidad de retención del agua y fertilidad. Otro impacto significativo es la erosión de la capa superficial, pues el recurso puede llegar a perderse por completo durante la ocupación de las edificaciones (Milà I Canals *et al.*, 2007).

La normativa ecuatoriana establece en el art. 214 del capítulo VIII del Libro VI del TULSMA y en el art. 197 del Código Orgánico del Ambiente, que toda actividad que afecte la calidad o estabilidad del suelo o pueda provocar su erosión, serán reguladas y en caso de ser necesario, restringidas. Adicionalmente el Marco de Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental a Ecoestructuras, menciona que el porcentaje mínimo de áreas verdes por área del proyecto debe ser del 15 %, y que el proyecto debe tener una armonía del diseño con la localidad o paisaje donde se ubica (MAATE, 2015b).

Entre las metodologías de evaluación ambiental utilizadas para el análisis de los impactos en el suelo se encuentran: Allacker *et al.* (2014) utilizaron el ACV para evaluar los impactos generados por la transformación de la superficie del suelo desde la extracción hasta el fin de vida de un edificio residencial. El estudio de Panahian *et al.* (2017) concluyó que la cobertura del suelo exterior de la edificación influye en la Huella de Carbono de la construcción de una vivienda ya que de esto dependerá el secuestro de emisiones de carbono.

Entre los estudios que han empleado matrices de evaluación de impactos se encuentran: Eliconsul (2013), empleó la matriz de Leopold e identificó que el corte, excavado, extracción de materiales y movimientos de tierra durante la construcción generan pérdida de suelo y cambio de calidad de éste. Abril y Rodríguez (2013), utilizaron la matriz de Battelle Columbus y observó

que la erosión, estabilidad del suelo y capacidad agrológica muestran deterioro debido al uso de suelo durante la construcción y ocupación de la edificación. Camacho (2015), utilizó la matriz de Conesa Fernández y concluyó que las actividades durante la construcción de un edificio afectan la calidad del suelo debido a la cimentación e instalación de infraestructura y posibles derrames de elementos contaminantes.

2.1.5. Agua

Los impactos de la construcción sobre los sistemas de agua se vinculan al consumo humano, ya que la población en las ciudades necesita agua dulce para beber, lavar, limpiar, producir alimentos, materiales y energía, para lo cual se utilizan cerca del 55 % de fuentes superficiales o subterráneas a nivel mundial (Gerbens-Leenes *et al.*, 2018). Durante la etapa de construcción de una edificación se utilizan alrededor de 680 l/m² construido, más de la mitad de dicha cantidad termina contaminada por sustancias tóxicas como sólidos suspendidos, efluentes líquidos, contaminantes químicos de limpieza, etc. Además, los movimientos de tierra, excavaciones y eliminación de la cubierta vegetal generan alteración de los cuerpos de agua, modificando los flujos y la calidad del recurso (Echeverry, 2020).

En Ecuador, en cuanto al consumo de agua durante la etapa de uso de la edificación, la NEC establece que la dotación para una vivienda debe ser entre 200 a 350 l/hab./día, el triple de lo que establece la Organización Mundial de la Salud, este rango muy amplio pone en riesgo los recursos hídricos de la región (Ortiz *et al.*, 2018). El Marco de Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental a Ecoestructuras menciona que una ecovivienda debe tener sistemas eficientes para la recolección, optimización en el consumo, reducción del desperdicio, aprovechamiento, reutilización, tratamiento y/o sistemas propios de potabilización de agua (MAATE, 2015b).

Una vivienda promedio en Cuenca consume al día cerca de 180 l/hab. proveniente de la red pública. Según una encuesta realizada a 280 viviendas del área urbana de Cuenca, casi todas las viviendas tienen conexión al alcantarillado para gestionar las aguas negras generadas, ninguna vivienda cuenta con un sistema de recolección de agua lluvia y menos del 25 % incluyen estrategias de ahorro de agua (Ortiz *et al.*, 2018).

Numerosos estudios han utilizado diferentes metodologías para evaluar los impactos al agua por la construcción de edificaciones, entre ellos: Teshnizi *et al.* (2018) realizaron un ACV de dos edificios residenciales en el cual se comparó el consumo de agua en las fases de construcción, uso y fin de vida, Panahian *et al.* (2017) emplearon la Huella de Carbono para cuantificar la

reducción de emisiones de CO₂ por ahorro de agua durante el uso de un edificio, Tian *et al.* (2019) calcularon la Huella de Agua del sector urbano en China por medio de un modelo de entradas y salidas.

Las matrices de evaluación se han empleado para identificar los impactos al agua debido a la construcción y uso de edificaciones, por ejemplo: Eliconsul (2013), empleó la matriz de Leopold y los resultados señalaron que en la etapa de construcción se generan sedimentos a los drenajes de cauces de agua, además que los desechos podrían obstaculizar el drenaje de quebradas. Abril y Rodríguez (2013), utilizaron la matriz de Battelle Columbus e identificaron que la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales y sustancias tóxicas son los componentes que mayor cambio presentan debido a los contaminantes que se vierten al agua durante el uso de la edificación. Camacho (2015), empleó la matriz de Conesa Fernández y determinó que durante las actividades de construcción de la edificación el nivel freático podría verse afectado por el contacto del material de construcción o derrames de aceites lubricantes.

2.1.6. Residuos

Los residuos producidos por una edificación causan impactos negativos al suelo al necesitar un espacio en donde tratarlos o desecharlos. Uno de los temas más desafiantes es decidir cómo eliminar los residuos de materiales de demolición de edificios, cuyas cantidades son cada vez mayores y necesitan una gestión adecuada al ser residuos especiales (Blengini, 2009). En 2018 en Ecuador se generaron 872 810 t. de escombros de construcción y demolición, representando el 21,43 % del total de residuos sólidos no peligrosos generados en el país. La gestión de estos residuos no es del todo adecuada pues muchos de ellos se desechan en botaderos sin recibir un tratamiento apropiado (INEC, 2020).

Por otro lado, los residuos generados en una vivienda en Cuenca durante su etapa de uso son 38 % de plásticos y aluminio, 23 % de residuos orgánicos y el 21 % de papel y cartón (Quesada *et al.*, 2018). El Marco de Reconocimiento Ecuatoriano Ambiental a Ecoestructuras motiva a que las edificaciones tengan huertos y áreas para tratamiento de desechos orgánicos, además de una infraestructura, equipamiento y tecnologías adecuadas para el manejo óptimo de residuos y desechos (MAATE, 2015b).

En cuanto a evaluación ambiental, la metodología ACV permite definir si es posible reemplazar materiales vírgenes por materiales reciclados en la construcción de una edificación, y calcular la reducción de impacto por el reciclaje de residuos. Blengini (2009), estableció un modelo de

ACV durante la demolición y rediseño de una edificación, los resultados demostraron que el reciclaje de residuos de construcción es sostenible desde el punto de vista energético y medioambiental. Bernstad (2010) utilizó el ACV para calcular las emisiones de CO₂ producidas desde la generación y separación de residuos sólidos de una vivienda hasta su disposición final con el software EASEWASTE.

Por otra parte, las matrices de evaluación también se pueden utilizar para identificar los efectos de los residuos durante la construcción, uso y mantenimiento de una edificación, entre ellos: Eliconsul (2013), utilizó la matriz de Leopold e identificó que los residuos de tipo doméstico durante la etapa de uso pueden generar un gran impacto debido al manejo inadecuado, además la eliminación inapropiada de escombros de construcción puede alterar negativamente la calidad del suelo y agua. Camacho (2015), empleó la matriz Conesa Fernández y los resultados mostraron que el inadecuado almacenamiento y disposición temporal de desechos sólidos no peligrosos y especiales que se generan durante la construcción de una edificación pueden ocasionar afecciones al ambiente.

2.2. Evaluación de Impactos Ambientales (EIA)

Según la Asociación Internacional para la Evaluación de Impacto, la EIA es el proceso de identificar, predecir y evaluar los efectos ambientales, sociales y otros, ya sean positivos y negativos, relevantes de proyectos, programas o políticas, y que debe realizarse antes de la toma de decisiones (IAIA, 2020). A la hora de aplicar una EIA se debe tener en cuenta la actividad o proyecto a evaluar, el tipo de evaluación a realizar y el factor ambiental que se considere. Una EIA correctamente ejecutada debe incorporar variables de calidad ambiental y humana, y contener datos válidos, objetivos y comparables con la realidad (Ligrone, 2017).

La EIA se incorpora en marcos jurídicos nacionales e internacionales, transformándose en herramienta de gestión ambiental. En Ecuador, el art. 179 del Código Orgánico del Ambiente dispone que los estudios de impacto ambiental deberán contener herramientas de análisis de impactos. En el capítulo IV del Libro VI del TULSMA, se detalla que para las EIA se deben considerar variables del medio físico, biótico y sociocultural. La Ley de Gestión Ambiental en el art. 23 especifica que la EIA debe contener un análisis ex ante y ex post, es decir, un análisis del entorno previo a la aplicación de las actividades y un estudio que determine el nivel de afectación al ambiente después de las actividades.

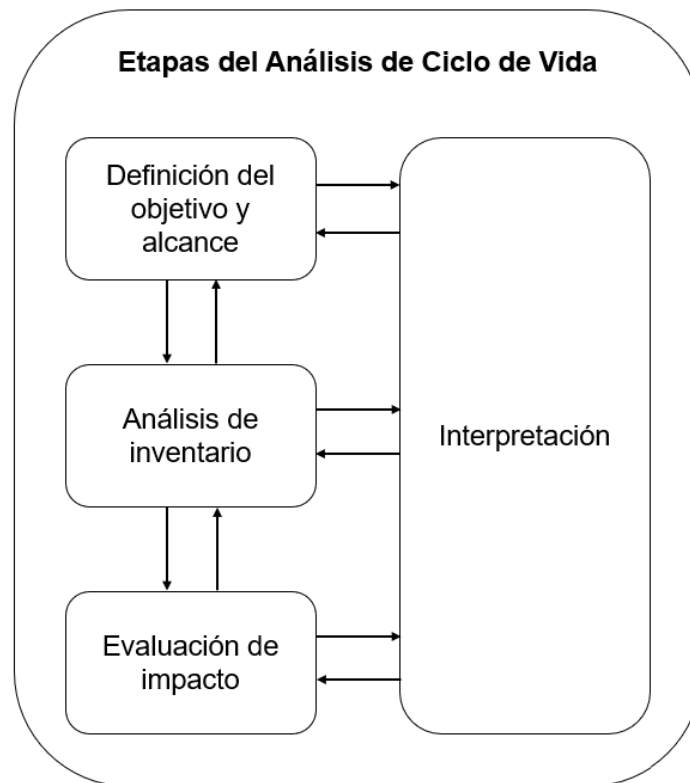
A nivel mundial varios autores han aplicado diferentes metodologías de evaluación ambiental para analizar los impactos en diferentes sectores, entre ellos la construcción. Los resultados muestran que durante la concepción del proyecto se debe realizar una evaluación de los impactos que se producirán a lo largo del ciclo de vida de la edificación para tomar medidas preventivas o realizar un plan de compensación (Structuralia, 2019). Algunas metodologías de EIA empleadas en el sector son:

2.2.1. Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La metodología fue implementada en 1974 por varias empresas e instituciones interesadas en desarrollar bases de datos y métodos para conocer el impacto de sus productos. Posteriormente en 2006 se publicó la norma UNE-EN ISO 14 040 que define el ACV como una técnica que analiza los impactos ambientales potenciales a lo largo de todas las etapas que constituyen el ciclo de vida de un producto, proceso o servicio, mediante la recopilación de un inventario de las entradas y salidas (Ihobe, 2009). Este método sigue 4 etapas:

Figura 1

Etapas del Análisis del Ciclo de Vida



Etapa 1: Definición del objetivo y alcance del ACV.

En esta etapa se definen los límites del sistema, como:

- De la cuna a la cuna, en los que el fin de vida del producto es el reciclaje o reutilización y se incluye nuevamente a la cadena de producción.
- De la cuna a la tumba, que empieza por la fase de extracción y termina en el fin de vida.
- De la cuna a la puerta, que considera desde la fase de obtención de materia prima y energía, hasta que el producto se encuentra en la planta para ingresar al mercado.
- De la puerta a la puerta, que incluye sólo los procesos que intervienen dentro del sistema de producción.

Una vez elegidos los límites del sistema se selecciona la unidad funcional, siendo la unidad que representa la función del sistema y en la que se representan los resultados de los cálculos (Ihobe, 2009). Algunas unidades funcionales utilizadas con frecuencia para el sector de la construcción son: kg. materiales, m³ agua, m² área construida, kWh energía, t. residuos, etc. (Rossi *et al.*, 2012).

Etapa 2: Análisis de inventario de ciclo de vida.

Incluye la identificación y cuantificación de las entradas (consumo de recursos) y salidas (emisiones al aire, suelo, agua y residuos) del sistema (ISO 14 044, 2020). El inventario de un producto o proceso está compuesto por datos primarios e información que se encuentra en las bases de datos. Algunas bases de datos utilizadas en el sector de la construcción son: Ecoinvent, Idemat 2001, sirAdos 1.2, Eurofer data set, etc. (Colón y Arena, 2016).

Etapa 3: Evaluación de impacto de ciclo de vida.

La evaluación consiste en un proceso de clasificación, categorización, caracterización, y normalización de los impactos ambientales (Ihobe, 2009). En la clasificación se definen los impactos y se clasifican los datos del inventario. La categorización se puede realizar por categorías endpoint o midpoint (Colón y Arena, 2016), las 18 categorías de impacto endpoint empleadas por ReCiPe son:

- Calentamiento global: fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos. Se calcula en kilogramos equivalentes de dióxido de carbono [kg_{eq.} CO₂].

- Toxicidad humana: efectos nocivos sobre la salud humana debido a la absorción de sustancias tóxicas mediante la inhalación de aire, la ingesta de alimentos o agua, o la penetración a través de la piel, en la medida en que estén relacionados con el cáncer y efectos no cancerígenos. Se mide en Unidad Tóxica Comparativa para las personas [CTUp].
- Agotamiento de ozono: efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica. Se calcula en kilogramos equivalentes de clorofluorocarbonos-11 [$\text{kg}_{\text{eq. CFC-11}}$].
- Acidificación terrestre: pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. Se calcula en mol equivalente de hidrógeno [$\text{mol}_{\text{eq. H}^+}$].
- Eutrofización de agua dulce: crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua. Se calcula en kilogramo equivalente de fósforo [$\text{kg}_{\text{eq. P}}$].
- Eutrofización marina: crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua. Se calcula en kilogramo equivalente de nitrógeno [$\text{kg}_{\text{eq. N}}$].
- Formación fotoquímica oxidante: los oxidantes fotoquímicos pueden resultar perjudiciales para la salud humana, los ecosistemas y la agricultura. Afectando por tanto a la salud humana, recursos y entornos naturales. Se calcula en kilogramo equivalente de etileno [$\text{kg}_{\text{eq. C}_2\text{H}_4}$].
- Formación de material particulado: categoría de impacto que corresponde a los efectos nocivos sobre la salud humana debido a las emisiones de partículas y de sus precursores (NO_x , SO , NH_3). Se calcula en kilogramo equivalente de material particulado 2,5 [$\text{kg}_{\text{eq. PM}_{2,5}}$].
- Ecotoxicidad terrestre, de agua dulce y marina: resultado de una serie de diferentes mecanismos toxicológicos provocados por la liberación de sustancias con un efecto

directo sobre la salud del ecosistema. Se calcula en Unidad Tóxica Comparativa para los ecosistemas [CTUe].

- Radiación ionizante: efectos nocivos sobre la salud humana debido a descargas radiactivas. Se calcula en kilogramo equivalente de uranio 235 [$\text{kg}_{\text{eq. U}^{235}}$].
- Ocupación de suelo agrícola y urbano: considera efectos del uso de la tierra, la extensión de la superficie implicada y la duración de su ocupación (cambios en calidad multiplicados por superficie y duración). Se calcula en kilogramos de déficit [kg. déficit].
- Agotamiento de agua: consumo de recursos hídricos. Se calcula en metros cúbicos de consumo de agua [m^3].
- Agotamiento de recursos minerales y fósiles: consumo de materiales extraídos de la naturaleza. Se calcula en kilogramo equivalente de antimonio [$\text{kg}_{\text{eq. Sb}}$].

Etapas 4: Interpretación de resultados.

Incluye los resultados de las etapas anteriores, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones (ISO 14 040, 2016). Los resultados se presentan en un informe de divulgación con tablas y gráficos de barras (Ihobe, 2009).

El ACV en el ámbito de la construcción ha sido implementado en la construcción de edificaciones para comparar opciones entre distintos materiales y diseños, y para identificar en qué etapas y procesos se generan mayores impactos ambientales. La mayoría de los estudios se enfocan en la cuantificación y evaluación de las emisiones al aire y energía implementada y consumida (Venegas, 2018). En España se desarrolló “Solconcer”, herramienta que utiliza el ACV para la evaluación de los impactos ambientales de materiales de construcción para viviendas con una base de datos extendida y personalización de escenarios (Solconcer, 2020).

El estudio de Lavagna *et al.* (2018), aplicó un ACV a 24 tipos de viviendas convencionales unifamiliares y multifamiliares de Europa con el objetivo de cuantificar los impactos ambientales relacionados con las viviendas. La evaluación se realizó en las fases de producción, construcción, uso (consumo de energía y agua), mantenimiento y fin de vida de cada vivienda. Los resultados mostraron que las emisiones anuales promedio de Gases de Efecto Invernadero relacionadas a la vivienda son de 2,62 t. $\text{CO}_{2\text{eq.}}$ /persona. Las viviendas unifamiliares son responsables de la mayor parte de los impactos y la fase de uso es la más relevante, seguida por las fases de producción y mantenimiento (Lavagna *et al.*, 2018).

En Ecuador, en 2020 se realizaron más de 3 500 estudios que emplearon el ACV, estos analizan el ciclo de vida de materiales como ladrillos, bloques, cemento, varillas de acero y madera (Salas *et al.*, 2018). Dentro de la normativa la metodología del ACV se incluye parcialmente en el art. 33 del Libro VI del TULSMA en donde se menciona que los estudios ambientales deberán cubrir todas las fases del ciclo de vida de un proyecto, obra o actividad (MAATE, 2015a). El Código Orgánico del Ambiente, en su artículo 179 señala que los estudios de impacto ambiental deberán contener, entre otras cosas, la descripción del ciclo de vida del proyecto y metodologías y herramientas de análisis ambiental (CODA, 2017).

El estudio realizado por Venegas (2018), Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo en Cuenca a través del ACV, analizó los impactos ambientales generados al aire por la producción de ladrillos dentro de la fábrica. Los resultados mostraron que una unidad de ladrillo emite 1 042 kg. CO₂ y consume 9,33 MJ. El proceso que mayor impacto produjo es la quema del ladrillo, en donde se generó el 95 % de emisiones de CO₂, y consumió más del 96 % de energía durante todo el proceso de producción. En cuanto al material particulado, las concentraciones medias mostraron valores de 16 mg./m³ de PM_{2.5} y 17 mg./m³ de PM₁₀, indicando que se encuentran dentro los valores de referencia establecidos en la normativa (Venegas, 2018).

2.2.2. Huella de Agua

La metodología de la Huella de Agua fue desarrollada en 2002 y actualmente se detalla en la norma ISO 14 046. Esta metodología permite cuantificar las potenciales afecciones relacionadas con el recurso hídrico, incluyendo aspectos en cuanto al uso directo e indirecto del agua y sus potenciales impactos durante el ciclo de vida de un proyecto (COSUDE, 2016). La metodología sigue los mismos cuatro pasos planteados para el ACV detallados en la sección 2.2.1., y utiliza fuentes de datos primarias o bases de datos como: Quantis, WaterStat, Water Footprint Database, etc. Los resultados se presentan en una unidad normalizada de m³ de agua equivalente (Martínez *et al.*, 2011).

Evalúa 8 categorías de impacto (Colón y Arena, 2016):

- Agotamiento de agua
- Toxicidad humana
- Ecotoxicidad

- Eutrofización
- Acidificación
- Ecosistemas terrestres
- Ecosistemas acuáticos
- Enfermedades relacionadas al agua

Particularmente en el sector de la construcción, la metodología es utilizada para cuantificar y evaluar el uso del agua en diferentes procesos a lo largo del ciclo de vida de una edificación. A partir del análisis de la Huella de Agua se pueden identificar y cuantificar puntos clave o hotspots que permite tomar decisiones y priorizar medidas de reducción de consumo y contaminación de agua (Chuquimarca, 2016).

El estudio de Gerbens-Leenes *et al.* (2018), evaluó la Huella de Agua Azul y Gris de materiales de construcción como acero, cemento y vidrio durante las etapas de extracción de materia prima y la cadena de producción. Los resultados mostraron que la Huella de Agua Gris es entre 20 a 220 veces más grande que la Huella de Agua Azul en los tres materiales. Por otro lado, las Huellas de Agua Azules de los materiales estuvieron relacionadas principalmente con el uso de electricidad, siendo mayor para el acero y relativamente pequeña para el cemento, mientras que la del vidrio se encontró entre los dos extremos.

Dentro de la normativa ecuatoriana la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua (2014) y la Norma para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental de las Aguas (2014), mencionan que la Autoridad Única Ambiental exigirá las justificaciones técnicas, económicas y ambientales del proyecto y lo someterá al respectivo proceso de evaluación y licenciamiento ambiental.

El estudio de Chuquimarca (2016), La Huella de Agua del bambú gigante como indicador de sustentabilidad en la construcción, determinó la cantidad de agua necesaria para producir bambú como materia prima para la construcción en Ecuador. El análisis demostró que, si bien se requiere de 110 m³ de agua por m³ bambú al año, el cultivo puede ser considerado sustentable y amigable con el ambiente al generar menor impacto en comparación a otras especies madereras del país como el pino, eucalipto, picea, etc. Asimismo, pudo determinar que el bambú es un cultivo muy rentable en la región ya que la mayor parte del agua necesitada para su producción es de precipitación.

2.2.3. Huella de Carbono

La Huella de Carbono es una metodología creada en 1990, que evalúa la totalidad de Gases de Efecto Invernadero emitidos por efecto directo o indirecto. La metodología es una versión simplificada del ACV, que en lugar de considerar varias categorías de impacto evalúa únicamente la de calentamiento global (Ihobe, 2012). El método expresa los resultados en t. CO_{2eq.}/año (Espíndola y Valderrama, 2012). Las normas ISO comprendidas entre la 14 064 y la 14 069 establecen la metodología para la medición y reducción de los Gases de Efecto Invernadero, en ellas se detallan los cinco pasos:

1. Definición de los límites. El cálculo de la Huella de Carbono se puede aplicar tanto para un territorio, país, empresa, producto, o servicio.
2. Identificación y medición de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Se genera un inventario de dichas emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida del producto o servicio, para ello se han desarrollado bases de datos y herramientas específicas para su cálculo.
3. Limitación y reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Se analiza la implementación de tecnologías menos contaminantes u otras estrategias de reducción.
4. Compensación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Se proponen proyectos para neutralizar el impacto generado y compensar las emisiones que genere el sistema.
5. Resultados. Se describen los resultados y conclusiones de la evaluación.

Las herramientas desarrolladas para la medición de la Huella de Carbono para el sector de la construcción son CEMENT CO₂ Protocol, Build Carbon Neutral, entre otras (Ihobe, 2012). El tipo y cantidad de materiales influye en gran medida en la Huella de Carbono de una edificación, ya que estos deben pasar por un proceso de extracción, procesamiento y transporte, y generan elevadas cantidades de desechos, contaminantes y consumo de energía, lo que es muy importante para el cálculo (Núñez, 2019).

El estudio de Huang *et al.* (2017), desarrolló una metodología de cálculo para la contabilidad de la Huella de Carbono de edificios urbanos en Xiamen, China. El análisis evaluó las emisiones de carbono durante la producción y transporte de materiales, construcción y demolición de los edificios, uso de energía directa y disposición de residuos. Los resultados mostraron que la Huella de Carbono de los edificios urbanos aumentó de 8,95 millones de toneladas en 2005 a

13,57 millones de toneladas en 2009. Las emisiones de la producción de materiales representaron el 45 % de la Huella de Carbono total (Huang *et al.*, 2017).

Dentro de la normativa ecuatoriana, la metodología de la Huella de Carbono se incluye parcialmente en el art. 237 del Libro VI del TULSMA, en donde indica que, para alcanzar una producción limpia y un consumo sustentable, se debe reducir los gases efecto invernadero, utilizando como uno de los instrumentos principales la transferencia de tecnología para una producción y operación carbono neutro, entre otras prácticas relacionadas (MAATE; 2015a). Por otro lado, el Código Orgánico del Ambiente en sus artículos 257 al 261 señala las disposiciones generales para las medidas de adaptación y mitigación del cambio climático (CODA, 2017).

La empresa Holcim S.A., es una industria ecuatoriana de materiales de construcción que produce cemento, concreto y agregados. Desde 2016 la empresa ha incorporado un Plan de Desarrollo Sostenible, en el cual uno de sus objetivos es reducir un 40 % de las emisiones de CO₂ del proceso de producción para 2030. En 2017 la empresa alcanzó una disminución del 25 % de emisiones por la utilización de combustibles alternativos y la implementación de sacos de distribución reciclables a base de un papel con certificación de manejo forestal sustentable (Holcim, 2017). En 2020 Holcim implementó la iniciativa “ECOPact” al lanzar tres productos con certificación de Carbono Neutro. Estos productos tienen una Huella de Carbono baja gracias a la tecnificación de los procesos de producción y transporte, reducción del consumo de materia prima y uso de agua, y compensación de emisiones a través de reforestación (Holcim, 2020).

2.2.4. Matriz de evaluación de impactos ambientales de Leopold

Creada inicialmente para analizar los impactos asociados con proyectos mineros en 1971. Está constituida por 100 columnas en las que se representan las acciones del proyecto, y 88 filas relacionadas con factores ambientales, produciendo un total de 8 800 posibles interacciones (Ponce, 2009). El sistema de calificación requiere que el evaluador cuantifique según su juicio sobre las probables consecuencias, y otorgue valores en las cuadrículas. Cada cuadrícula marcada con una diagonal admite dos valores:

- Magnitud: Valoración del impacto potencial a ser provocado, considerando dimensión, grado, extensión, escala del mismo. Este valor se coloca en la mitad superior izquierda y califica del 1 al 10 de menor a mayor, anteponiendo el signo positivo (+) para efectos positivos o negativo (-) para efectos negativos.

- **Importancia:** Valor ponderal, da el peso relativo de acuerdo a la relevancia del impacto en la calidad del medio y la extensión dentro del mismo. Se escribe en la mitad inferior derecha del cuadro, en una escala del 1 al 10 según el orden creciente de importancia.

Hay dos formas de presentar los resultados, la primera es presentar la suma aritmética de las magnitudes e importancias por separado resaltando los valores más altos que representan los mayores impactos. La segunda es por la multiplicación de los dos valores de cada recuadro conservando el signo y resaltar los valores más altos (Arboleda, 2008). El resultado cuantitativo tiene el objetivo de identificar las áreas de interés para que después sean propiamente analizadas, por lo que no es un sistema de evaluación ambiental sino un método de identificación y predicción para comunicación de resultados (Bitstream, 2009).

El estudio de impacto ambiental realizado por el equipo consultor Eliconsul (2013), analizó los impactos ambientales generados por la construcción, operación y mantenimiento de un edificio multipropósito en la provincia del Guayas. Los resultados mostraron que más del 70 % de impactos se generan durante la etapa de construcción afectando principalmente al aire y suelo debido a actividades como desbroce y tala, corte y excavación, movimiento de tierra, extracción de materiales, manejo de desechos, etc. Las etapas de operación y mantenimiento representaron 30 % de los impactos, los cuales se debieron al manejo inadecuado de desechos sólidos que afectó la calidad del suelo, y a la circulación de vehículos que produjeron emisiones al aire.

2.2.5. Matriz de evaluación de impactos ambientales de Battelle Columbus

Desarrollada en 1973, inicialmente aplicada para gestión de recursos hídricos en Estados Unidos (Cotán-Pinto, 2007). Se basa en una lista de indicadores de impacto con 78 parámetros ambientales que están ordenados en 18 componentes ambientales y estos a su vez agrupados dentro de cuatro categorías ambientales principales:

- **Ecología:** especies y poblaciones, hábitats y comunidades, ecosistemas.
- **Contaminación:** contaminación del agua, contaminación atmosférica, contaminación del suelo, contaminación por ruido.
- **Aspectos estéticos:** suelo, aire, agua, biota, objetos artesanales, composición.
- **Aspectos de interés humano:** valores educacionales y científicos, valores históricos, culturas, sensaciones, estilos de vida.

Los parámetros se miden en Unidades de Impacto Ambiental (UIA) “con proyecto” y “sin proyecto”, para identificar los efectos debido a las actividades del proyecto por diferencia de ambos (Cotán-Pinto, 2007). Para obtener las UIA se realiza la multiplicación entre el índice de calidad ambiental y el índice ponderal:

- Índice de calidad ambiental (CA):; asigna un valor de 1 al valor óptimo del parámetro y un valor de 0 a un estado pésimo del mismo, quedando entre ambos extremos los valores intermedios según el estado de calidad del parámetro.
- Índice ponderal (UIP):; atribuye un peso a los parámetros de acuerdo a su mayor o menor contribución a la situación de impacto en forma de unidades de importancia, distribuyendo 1 000 puntos entre los parámetros.

El estudio de impacto ambiental de la construcción y operación del campus de la Universidad Estatal Amazónica ubicada en Pastaza utilizó la matriz de Battelle Columbus y los resultados mostraron que el componente suelo fue el más afectado en la etapa de construcción del campus generando erosión y pérdida de estabilidad del mismo. El componente agua también se vio afectado en sus propiedades físicas como la temperatura, turbidez, sólidos disueltos y suspendidos, etc. Por otro lado, el aire fue el tercer componente más afectado debido al incremento de concentración de emisiones de combustión por la maquinaria utilizada durante la construcción (Abril y Rodríguez, 2013)

2.2.6. Matriz de evaluación de impactos ambientales de Conesa Fernández

Creada en 1997 como matriz causa - efecto. Ésta inicia identificando las acciones que por la ejecución del proyecto van a actuar sobre el medio y los factores que se verán afectados. Estos factores y acciones son dispuestos en filas y columnas respectivamente y forman una primera matriz de identificación de impactos (Maysson *et al.*, 2019). Posteriormente comienza el proceso de valoración cualitativa en la que se realiza un cuadro de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones impactantes y en las filas los factores medioambientales susceptibles de recibir un impacto (Arboleda, 2008).

Una vez identificadas las acciones y los factores de medio que provocan impacto, se elabora la matriz de importancia. Cada casilla de la matriz arroja el valor del efecto de cada acción impactante. Se evalúan 11 criterios y se califica de acuerdo a los rangos que establece la metodología, luego se obtiene la “importancia” mediante una suma aritmética de los valores de cada criterio (Conesa, 2011). El valor de la “importancia ambiental” puede variar entre 13 y 100

unidades, en donde valores inferiores a 25 son impactos irrelevantes, entre 25 y 50 son moderados, entre 50 y 75 son severos, y superiores a 75 son críticos (Dellavedova, 2016).

El estudio de impacto ambiental del proyecto de construcción de un edificio de oficinas en Guayaquil desarrollado por Camacho (2015), utilizó la matriz de Conesa Fernández e identificó que uno de los factores más afectados es la calidad del aire con un 15 % de impacto debido a la utilización de maquinaria durante la construcción. Las actividades impactantes que más contribuyen son el transporte de material, replanteo de obra y preparación del terreno, cimentación y cubierta, y limpieza y retirada de escombros, ya que muestran elevados niveles de generación de ruido, polvo y gases. El estudio concluyó que los componentes con mayor impacto son el aire y el suelo.

En la normativa ecuatoriana no se especifica el empleo de alguna de las metodologías mencionadas para la evaluación de impactos ambientales; sin embargo, las más utilizadas son las matrices como Leopold, Battelle Columbus, Conesa Fernández, y modificaciones de éstas, debido a que permiten analizar criterios relacionados a los que requiere la normativa (MAATE, 2015a). Adicionalmente, los datos del INEC señalan que el sector de la construcción está dentro de las actividades menos reguladas con permisos ambientales, de esto se asume que los proyectos no cuentan con EIA (INEC, 2019a). Por ello, es necesaria la implementación de instrumentos adecuados para la correcta evaluación ambiental de actividades o proyectos dentro de este sector, con el fin de que mejore su gestión y prácticas ambientales.

2.3. Análisis Comparativo Multicriterio

El análisis comparativo es un procedimiento sistemático y ordenado que examina las relaciones entre dos o más elementos, con el objetivo de determinar conclusiones (Colino, 2009). Dentro de la ciencia se emplea en la formulación y contrastación de hipótesis y en la producción de conocimiento, por lo que además de generar teorías, el análisis comparativo puede verificar las ya existentes (Piovani y Krawczyk, 2017).

El análisis comparativo multicriterio es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones que compara posibles alternativas en base al análisis de varios criterios. Mediante este análisis es posible identificar una alternativa final o “mejor alternativa”, y clasificar las alternativas viables según un orden de la mejor a la peor (Gómez y De León, 2014).

La aplicación del análisis comparativo requiere de un proceso que consiste en:

1. Elaboración de estructura teórica que sirva de apoyo para la elaboración de una hipótesis, basada en estudios y trabajos previos sobre el elemento de estudio.
2. Definir las variables y características de los elementos a comparar. En este paso se establece un conjunto finito de alternativas, éstas deben tener alguna relación de modo que se puedan considerar correlaciones entre ellas y se pueda establecer un modelo para la toma de decisiones.
3. Análisis de los elementos a partir de la comparación de las variables para llegar a las conclusiones.

El análisis multicriterio ha sido aplicado en las ciencias ambientales como en la evaluación de impactos ambientales, evaluación estratégica ambiental, planificación territorial, etc. (Burbano, 2016).

2.4. Lineamientos para la toma de decisiones

La toma de decisiones es el proceso de elegir una opción mediante la identificación de un problema, la recopilación de información y la evaluación de alternativas (Costa y Sastre, 2019). Dentro de la toma de decisiones, seguir lineamientos que direccionen el proceso contribuye a que éstas lleguen a ser informadas y más adecuadas (Díaz *et al.*, 2019).

Un lineamiento es la dirección, directriz, orientación, o pauta que guía para desarrollar actividades o tareas específicas (RAE, 2022c). Los lineamientos describen las etapas, fases y formatos necesarios para desarrollar actividades y cumplir con uno o varios objetivos, éstos se deberán desarrollar en base al campo de acción sobre el cual tendrán injerencia. Para que un lineamiento cumpla su función debe formularse adecuadamente, algunas recomendaciones a seguir para su redacción son (Garduño, 2009):

- Considerar un tema principal (lineamiento general), que podrá desglosarse en subtemas y a su vez en apartados (lineamiento específico), cuantas veces se requiera.
- Desglosar todos los aspectos relacionados al tema. No debe quedar ninguna duda acerca de qué, cómo, quién, cuándo, dónde y en qué casos se pueden hacer las cosas.
- Se deben redactar de forma clara y precisa.
- Cada párrafo debe ser lo más explícito posible, evitando crear ambigüedades.

Las normas de estandarización de la Organización Internacional de Normalización (ISO) son un modelo de lineamientos o pautas que guían a una empresa u organización para el cumplimiento

de calidad, eficiencia y seguridad en relación con las áreas y actividades concretas que desarrolla (ISO, 2022). Algunas palabras clave que la norma emplea son: “se debe especificar”, “se deberían tratar”, “se deben considerar”. Un ejemplo es la norma ISO 14 044 de Gestión Ambiental - Evaluación del Ciclo de Vida - Requisitos y directrices (ISO 14 044, 2020).

Un ejemplo de aplicación de lineamientos para la toma de decisiones informadas es la herramienta “Atlas de Servicios Ecosistémicos de la Gran Área Metropolitana” desarrollada por la organización Atlas Verde de Costa Rica, uno de sus objetivos es establecer lineamientos estratégicos para la toma de decisiones informadas encaminadas a la planificación y ordenamiento territorial para alcanzar el desarrollo de una Ciudad Verde (Atlas Verde, 2021). Otro ejemplo son los lineamientos propuestos por la Secretaría del Tratado Antártico para la evaluación de impactos ambientales en la Antártica, los cuales tienen como objetivo apoyar en la toma de decisiones para la planificación y realización de actividades en el área sobre una base de información suficiente, mediante evaluaciones previas del posible impacto en el medio ambiente antártico y en sus ecosistemas (STA, 2016).

2.5. Validación de resultados

Cualquier proceso de investigación debe estar relacionado con la realidad práctica de su área, para que los resultados y conclusiones obtenidas puedan ser aplicados. Por ello, es importante conocer y considerar las opiniones y experiencias de expertos del área sobre el cual se desarrolla el trabajo. La validación de resultados por juicio de expertos se puede ejecutar por diferentes métodos como el análisis factorial de Tucker, el índice de validez de contenido de Lawshe, el índice de congruencia ítem - objetivo de Rovinelli y Hambleton, el método de consenso de expertos Delphi, etc. (Galicia *et al.*, 2017). Uno de los métodos más empleados y recomendados para validar resultados cualitativos es el método Delphi, que es un proceso sistemático, formal y profundo para obtener y probar las hipótesis sobre el tema en cuestión (Hurtado, 2012).

El método Delphi es una técnica de obtención de información mediante la discusión sobre un tema en específico con expertos de un área, con el fin de obtener en consenso la opinión más fiable del grupo (Reguant y Torrado, 2016). El método es un proceso iterativo, en el que los participantes emiten su opinión en varias oportunidades de manera anónima para que no exista la posibilidad de sesgo debido a la presencia de algún miembro. El investigador es quien analiza las respuestas recibidas y produce una nueva consulta, de modo que pone énfasis en lo que se

requiere de acuerdo con los objetivos de su trabajo. Las respuestas finales se procesan de manera estadística y se determina el nivel de consenso (Okoli y Pawlowski, 2004).

La ejecución del método se divide en cuatro fases (Astigarraga, 2003):

1. Definición, se formula el objetivo y las dimensiones de la consulta;
2. Conformación del grupo de expertos, debe primar la calidad antes que la cantidad, el tamaño suele oscilar en función del problema y los expertos deben disponer de información representativa, tiempo e interés;
3. Ejecución de rondas de consulta, se elabora el cuestionario inicial, se analiza la información, y se elabora la siguiente consulta tantas veces como sea necesario para producir el consenso;
4. Resultados, se analiza la información de la última ronda y se elabora el informe final, el investigador podrá calcular el nivel de consenso por medidas de tendencia central y dispersión como la media, mediana, moda, máximo, mínimo y desviación típica.

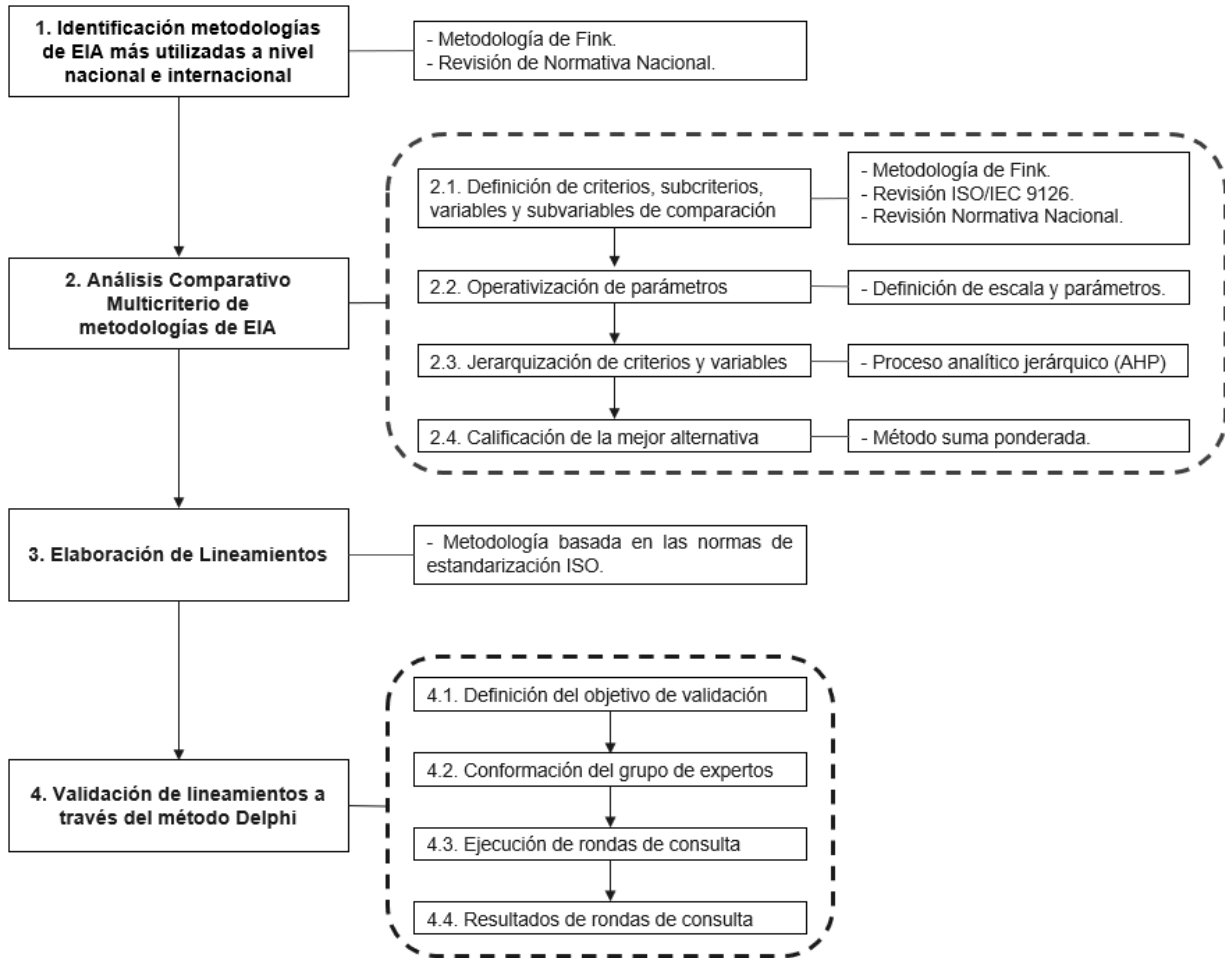
Un estudio que aplicó el método Delphi es el de Addy *et al.* (2017), en el cual buscaba desarrollar una herramienta de evaluación de la eficiencia energética de edificios de oficinas en Ghana. Se empleó la metodología Delphi para identificar un método apropiado para formar las dimensiones de evaluación energética del edificio. El proceso se llevó a cabo en dos rondas de consulta que involucraron a profesionales y expertos locales de la academia, el gobierno y la industria en el dominio de los métodos de evaluación energética de edificios. Otro estudio que aplicó el método es el de Kamaruzzaman *et al.* (2019), que buscaba desarrollar un esquema de renovación de edificios no domésticos para Malasia. Dentro de su metodología se desarrolló el proceso Delphi para identificar esquemas de evaluación adecuados para el uso de edificios no domésticos, se realizaron tres rondas de encuestas con expertos con experiencia en sostenibilidad y evaluación ecológica.

3. METODOLOGÍA

El proceso metodológico que siguió el presente estudio se presenta en la Figura 2.

Figura 2

Esquema metodológico del estudio



3.1. Identificación de metodologías de Evaluación de Impactos Ambientales más utilizadas a nivel nacional e internacional

Para la identificación de metodologías de EIA se realizó una revisión sistemática de literatura aplicando la metodología de Fink que consiste en siete pasos (Fink, 2014):

1. Formulación de preguntas de evaluación.
2. Selección de bases de datos.
3. Selección de términos de búsqueda.
4. Aplicación de criterios de selección.
5. Matriz de hallazgos.

6. Revisión de documentos.
7. Resumen de los resultados.

Para el primer paso se formularon las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué tipo de metodología de EIA se emplea en el Ecuador?, ¿Cómo se evalúa el desempeño ambiental?, ¿Qué categorías y criterios ambientales se miden con mayor frecuencia para la evaluación ambiental? En el segundo paso se seleccionaron las bases de datos de Science Direct, Taylor y Francis Online, Springer, SciELO, y el buscador Google Scholar. Para el tercer paso, las palabras y frases clave empleadas fueron: environmental impacts, métodos de EIA, environmental evaluation, LCA, carbon and water footprint, modeling and simulation of environmental impacts.

En el paso cuatro, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión de búsqueda. Se excluyeron artículos de diferentes idiomas al inglés o español y que hayan sido publicados antes de 2009, para que los estudios sean lo más actuales. Se incluyeron artículos orientados a evaluación ambiental con definiciones, aplicaciones de métodos e indicadores ambientales y estudios de caso, obteniéndose un total de 136 artículos. Posterior a esto, se empleó una matriz de hallazgos en la que se clasificó la información y datos más importantes en cuanto al año, idioma, base de datos, país o región, autor, título, resumen, ideas principales, metodología de EIA empleada, categorías e indicadores ambientales que se evalúan.

En el paso cinco se desarrolló la matriz de hallazgos y se determinó una muestra final de 20 artículos para el análisis literario de acuerdo al Anexo 1. Se definieron las metodologías e indicadores para evaluación ambiental propuestas por la academia, y se identificaron las más utilizadas y recomendadas. Luego se reconocieron las principales características de cada metodología identificada y cómo éstas se emplean para evaluar aspectos ambientales.

Conjuntamente, se revisó el art. 179 del Código Orgánico del Ambiente, art. 23 de la Ley de Gestión Ambiental y art. 28 del libro VI del TULSMA, en los cuales señalan las variables a analizar en la evaluación de impactos ambientales; sin embargo, no mencionan qué metodología se debe emplear para la evaluación. Por lo que se realizó una revisión bibliográfica en donde se definieron las más utilizadas a nivel nacional.

3.2. Análisis Comparativo Multicriterio de metodologías de EIA

En varios esquemas de evaluación ambiental como el método de diagrama de redes o árbol de relación proyecto - ambiente sugerido por Conesa, el método de evaluación del desempeño ambiental multicriterio basado en redes analíticas (ANP), y el Análisis del Ciclo de Vida Social (SLCA), se usan cuatro niveles para realizar el estudio de impactos, de esta forma el análisis es de menor complejidad, los resultados se logran explicar a mayor detalle y los aspectos a evaluar se pueden valorar con mayor comprensión.

En este estudio el análisis comparativo multicriterio se organizó en una estructura jerárquica de 4 niveles que van de lo general a lo específico (ver Figura 3), para de esta manera definir en que parte una metodología destaca en comparación de otra. Los niveles de la estructura fueron:

1. Criterios: características generales que se evalúan por medio de subcriterios para obtener el nivel de desempeño de las metodologías de EIA.
2. Subcriterios: características específicas de los criterios, que están relacionadas entre sí y forman parte de un criterio, tienen un concepto propio y pueden ser analizados independientemente por medio de variables.
3. Variables: cualidades que miden el grado de desempeño del subcriterio, según el cumplimiento o la implementación de la variable en cuestión dentro del proceso metodológico de la metodología de EIA.
4. Subvariables: en ciertos casos las variables necesitan mayor detalle para el análisis y se subdividen en aspectos más específicos para mejor comprensión.

3.2.1. Definición de criterios, subcriterios, variables y subvariables de comparación

Para la definición de criterios se deben establecer atributos que puedan ser medibles y se puedan asociar a distintos niveles de una escala. En esta sección se aplicó nuevamente la metodología de Fink para identificar los criterios y subcriterios más empleados en los estudios comparativos de metodologías de EIA.

Para el primer paso se formularon las preguntas: ¿Cómo se comparan las metodologías de EIA?, ¿Qué métodos de comparación se emplean para las metodologías de EIA?, ¿Cuáles son los criterios de comparación más empleados para el análisis comparativo de metodologías de EIA? En el segundo paso se seleccionaron las bases de datos de ScienceDirect, Springer, Scielo, Research Gate, y el buscador Google Scholar. Para el tercer paso, los términos de búsqueda empleados: Comparación metodologías de EIA, comparative analysis of

environmental assessment methods, comparing environmental methods, criterios de comparación de metodologías de EIA.

Para el paso cuatro, se excluyeron artículos de diferentes idiomas al inglés o español y que hayan sido publicados antes de 2009 para que los estudios sean lo más actuales, y se incluyeron artículos orientados a evaluación ambiental, obteniéndose un total de 46 artículos. En el paso cinco, se empleó una matriz de hallazgos de acuerdo al Anexo 2, en la que se detallaron los datos más importantes en cuanto al año, idioma, base de datos, autor, título, ideas principales, actividad o sector que evalúa, metodologías que compara y criterios de comparación empleados. Para el paso seis y siete se determinó una muestra final de 8 artículos y se definieron los criterios según la cantidad de veces que se utilizan y la relevancia para este estudio.

Adicionalmente se consultó la norma ISO/IEC 9 126: Evaluación de calidad de un producto software, cuyo fin es evaluar las características de un software y la calidad en su uso. El modelo evalúa un conjunto de 21 subcriterios agrupados en 6 criterios generales: funcionalidad, fiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenimiento y portabilidad. Se seleccionaron los criterios y subcriterios relevantes para este estudio y del objetivo del análisis comparativo.

Una vez empleada la metodología de Fink y revisada la norma ISO, se definieron un total de 7 criterios y 21 subcriterios de comparación, estos se dividieron en dos secciones: “Contextualización” que proporcionó información relevante de la metodología, y “Comparación” en donde se realizó el análisis comparativo de las metodologías según sus características y parámetros de evaluación. Adicionalmente, se definió un apartado específico para el sector de la “Construcción”. En la Tabla 1 se presentan los criterios y subcriterios de comparación definidos.

Tabla 1

Criterios y subcriterios del Análisis Comparativo Multicriterio.

CRITERIO	SUBCRITERIO	DETALLE	FUENTE
SECCIÓN 1: CONTEXTUALIZACIÓN			
Contexto Internacional	Antecedentes	Inicio de uso de la metodología y cantidad de estudios a nivel mundial que han empleado la metodología en el 2020.	Rodríguez <i>et al.</i> , 2019
	Normativa	Se refiere a las normas de estandarización en las que se basan el marco metodológico de las metodologías y si se relaciona con otros estándares.	

Contexto Nacional	Antecedentes	Cantidad de estudios nacionales que han empleado la metodología en el 2020.	
	Normativa	Se refiere si el marco metodológico de las metodologías está incluido en la normativa nacional o si se relaciona con esta.	
	Sector Productivo	En Ecuador existen múltiples sectores productivos que generan diferentes impactos ambientales. La metodología de evaluación que se emplee para analizar los impactos ambientales dependerá de para qué han sido desarrolladas y si éstas se pueden emplear en los diversos sectores.	INEC, 2019, 2020
SECCIÓN 2: COMPARACIÓN			
Utilidad: Fin que se busca alcanzar.	Objetivo para el que se emplea	Una metodología debe cumplir los principales objetivos de una EIA que es identificar y valorar los potenciales impactos ambientales de un proyecto, pero esta también puede cumplir otros objetivos relacionados que pueden complementar la evaluación.	Nouri <i>et al.</i> , 2009 ; Manfredi <i>et al.</i> , 2015
	Flujos de evaluación	Entradas y salidas a lo largo de las etapas del ciclo de vida que analiza una metodología de EIA.	Loiseau <i>et al.</i> , 2012
Funcionalidad: Funciones y propiedades que hacen que algo sea utilitario.	Etapas de evaluación	Periodos o fases diferenciadas en los que se divide el ciclo de vida del proyecto a evaluarse. Las etapas que se evalúan varían entre las metodologías y dependen del proceso de análisis y el objetivo.	Allacker <i>et al.</i> , 2014 ; Quesada <i>et al.</i> , 2018
	Límites del sistema	Punto que señala el inicio y fin de lo que se evaluará. Establecer límites permite desarrollar y modelar de una manera más simétrica el sistema.	Manfredi <i>et al.</i> , 2015
	Escala de evaluación	Extensión o dimensión a la que se aplicará la evaluación. La escala a la que se aplique una metodología dependerá del enfoque de esta, los objetivos que se desean alcanzar y los límites que se establezcan.	Giama y Papadopoulos, 2015
	Enfoque de la metodología	Orientación o perspectiva de la metodología. El enfoque que tenga una metodología dependerá de los objetivos que se desean cumplir y del tipo de evaluación que se vaya a realizar.	Allacker <i>et al.</i> , 2014
	Tipo de metodología	Naturaleza de la metodología, una metodología puede ser de carácter cuantitativo, cualitativo o ambos. Los enfoques cualitativos se basan en las decisiones del experto mientras que los cuantitativos en métodos matemáticos.	Nouri <i>et al.</i> , 2009
Usabilidad: Esfuerzo necesario para el uso.	Comprensión para el uso	Esfuerzo que el usuario debe emplear para entender la metodología, como el conocimiento requerido para el uso de la metodología, la complejidad de la metodología, etc.	ISO/IEC 9 126
	Uso de software	Una metodología de EIA se puede emplear mediante un software desarrollado, existen diversos tipos que se pueden emplear según las necesidades y requerimientos; sin embargo, no todas las metodologías requieren un software para ser empleadas.	ISO/IEC 9 126

	Uso de bases de datos	Una metodología de EIA puede utilizar una base de datos ya desarrollada. Se debe tomar en cuenta la necesidad de una base de datos según los requerimientos de la metodología.	Giama y Papadopoulos, 2015; Manfredi <i>et al.</i> , 2015
Confiabilidad: Atributos relacionados a la confianza.	Confiabilidad de los datos	Capacidad de la metodología para que los datos utilizados sean lo más precisos para la evaluación. La metodología debe plantear una serie de requisitos para alcanzar una calificación general de buena calidad de los datos y la evaluación sea más confiable.	Manfredi <i>et al.</i> , 2015 ; Loiseau <i>et al.</i> , 2012
	Confiabilidad de los resultados	Capacidad de la metodología para proporcionar resultados exactos, prácticos, inteligibles, con un mensaje claro y comprensible.	Rodríguez <i>et al.</i> , 2019; Manfredi <i>et al.</i> , 2015
	Confiabilidad del proceso	Capacidad del proceso metodológico para mantener un nivel adecuado de funcionamiento y generar resultados deseados.	ISO/IEC 9126
	Madurez de la metodología	Cualidad de la metodología que representa el nivel de desarrollo de ésta. Una metodología ha sido más desarrollada cuando cuenta con mejoras y respaldo institucional.	ISO/IEC 9126
Flexibilidad: Capacidad de adaptarse a diferentes entornos.	Aplicación multifuncional	Capacidad de la metodología que permite evaluar diferentes aplicaciones sin modificar el proceso metodológico.	Espíndola y Valderrama, 2012
	Capacidad de cambios	Capacidad de la metodología para realizar simplificaciones, cambios según el objetivo del estudio, adaptarse a otros entornos, o complementarse con otras metodologías.	ISO/IEC 9126
APARTADO “CONSTRUCCIÓN”			
Construcción: Actividad de hacer un edificio u otra arquitectónica e ingenieril, o una de sus partes.		En este apartado se analiza la capacidad de la metodología para evaluar impactos ambientales de la construcción, como: emisiones, vertidos al agua, contaminación al suelo, residuos sólidos, ruidos y vibraciones, polvo, degradación del paisaje, etc.	Daza, 2010

La definición de variables y subvariables permite simplificar los criterios establecidos para que puedan ser medidos con mayor facilidad. En este estudio se empleó un proceso deductivo que se basó en revisión bibliográfica de estudios y normativa en donde mencionan las variables que se debe considerar para realizar evaluaciones ambientales, de esta manera se pudo definir las variables y subvariables de comparación. Para leer a mayor detalle un resumen de la revisión de literatura de cada subcriterio para definición de variables y subvariables de comparación puede revisar el Anexo 3.

Según se indica en la Tabla 3, para los 5 criterios de la sección de “Comparación” se definieron 62 variables, en 22 de ellas se establecieron 71 subvariables debido a la necesidad de mayor especificidad en el análisis.

Según se indica en la Tabla 4, para el apartado específico de “Construcción” se definieron como variables las 5 etapas del ciclo de vida de una edificación y se dividió en dos grupos de comparación según la similitud del análisis de impactos de las metodologías. El grupo 1 estuvo conformado por metodologías que analizan mediante categorías de impacto como: ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua, en donde se encuentran las 18 categorías de impacto que evalúa el software ReCiPe. El grupo 2 estuvo conformado por metodologías que analizan mediante identificación de actividades que generan impacto como: las matrices de Leopold, Battelle Columbus, y Conesa Fernández en donde se encuentran 19 actividades de impacto que se analizan en EIA.

3.2.2. Operativización de parámetros

Los criterios, subcriterios, variables y subvariables fueron operativizadas en escala y parámetros de desempeño, para este estudio se utilizó la escala y parámetros basados en los propuestos por Rodríguez *et al.* (2019). La escala propuesta posee intervalos iguales entre categorías, permite la aplicación de operaciones aritméticas básicas, incluye el cero como ausencia de una característica, los números pueden compararse como proporciones y nos permite señalar la cantidad en que difieren.

La escala definida fue de 0 a 100 puntos, la cual se dividió en cinco parámetros de desempeño: “Ninguno” (0) cuando no cumple el criterio, “Malo” (1 a 25) cuando cumple escasamente el criterio, “Regular” (26 a 50) cuando cumple parcialmente el criterio, “Bueno” (51 a 75) cuando cumple más de la mitad del criterio, y “Excelente” (76 a 100) cuando cumple en su mayor parte o completamente con el criterio. Para mayor exactitud en el análisis, se realizó una subdivisión de los parámetros en: “Bajo” cuando el puntaje se encuentra en el límite inferior del parámetro, “Medio” cuando el puntaje se encuentra en el intermedio del parámetro y “Alto” cuando el puntaje se encuentra en el límite superior del parámetro. Adicionalmente, para visualizar de mejor manera los resultados, se agregó una escala de color en donde: “Ninguno” es blanco, “Malo” es rojo, “Regular” es tomate, “Bueno” es amarillo, y “Excelente” es verde.

Tabla 2

Escala de medición y parámetros utilizados en el Análisis Comparativo Multicriterio.

Desempeño	Pts.	Desempeño	Pts.	Desempeño	Pts.	Desempeño	Pts.	Desempeño	Pts.																																																																																																				
NINGUNO	0	MALO	Bajo	REGULAR	Bajo	BUENO	Bajo	EXCELENTE	Bajo	1	26	51	76	2	27	52	77	3	28	53	78	4	29	54	79	5	30	55	80	6	31	56	81	7	32	57	82	8	33	58	83	9	34	59	84	10	35	60	85	11	36	61	86	12	37	62	87	13	38	63	88	14	39	64	89	15	40	65	90	16	41	66	91	17	42	67	92	18	43	68	93	19	44	69	94	20	45	70	95	21	46	71	96	22	47	72	97	23	48	73	98	24	49	74	99	25	50	75	100
										1	26	51	76																																																																																																
										2	27	52	77																																																																																																
										3	28	53	78																																																																																																
										4	29	54	79																																																																																																
										5	30	55	80																																																																																																
										6	31	56	81																																																																																																
										7	32	57	82																																																																																																
			8		33		58		83																																																																																																				
			9		34		59		84																																																																																																				
			10		35		60		85																																																																																																				
			11		36		61		86																																																																																																				
			12		37		62		87																																																																																																				
			13		38		63		88																																																																																																				
			14		39		64		89																																																																																																				
			15		40		65		90																																																																																																				
			16		41		66		91																																																																																																				
			17		42		67		92																																																																																																				
			18		43		68		93																																																																																																				
			19		44		69		94																																																																																																				
			20		45		70		95																																																																																																				
			21		46		71		96																																																																																																				
			22		47		72		97																																																																																																				
			23		48		73		98																																																																																																				
			24		49		74		99																																																																																																				
25	50	75	100																																																																																																										

Fuente: Rodríguez et al., 2019.

3.2.3. Jerarquización de criterios, subcriterios, variables y subvariables

Es necesario establecer cuáles son los criterios y subcriterios de mayor relevancia, y dentro de cada uno determinar la jerarquía de cada variable. Existen muchos métodos para establecer esta jerarquía, uno de ellos es el proceso analítico jerárquico (AHP). En el método AHP se realizan comparaciones entre los elementos de un nivel y se otorgan pesos, los cuales son establecidos por el evaluador y un grupo de expertos.

Inicialmente se ordenaron los criterios, subcriterios, variables y subvariables en base al número de apariciones en los estudios analizados en la sección 3.2.1., acorde a los Anexos 2 y 3. Luego se establecieron pesos a los criterios, subcriterios, variables y subvariables en sesiones de validación con expertos de acuerdo a la Figura 3, en donde se siguió el siguiente proceso:

1. Para los 5 criterios establecidos, se distribuyó el 100 % entre los criterios y se ordenaron en forma ascendente a descendente, la suma de los pesos de los criterios representa el 100 % del desempeño general de una metodología.
2. Cada criterio está constituido por subcriterios, para asignar los pesos a estos subcriterios se consideró al criterio como el nuevo 100 % y se distribuyeron los pesos de manera jerárquica de acuerdo a su importancia al igual que el paso 1.
3. Cada subcriterio está compuesto por variables, para ello se jerarquizaron las variables definidas y se les asignaron puntos. La suma de los puntos de las variables corresponde a 100 puntos, que representa el desempeño de la metodología en cada subcriterio.
4. Para las variables que cuentan con subvariables se siguió el mismo proceso de jerarquización según el nivel de importancia. La suma de los puntajes de las subvariables corresponde al puntaje de la variable que conforman.

A continuación, se presenta un esquema ejemplo de la asignación de pesos a criterios, subcriterio, variables y subvariables.

Figura 3

Esquema ejemplo de jerarquización de criterios y variables

CRITERIO 1	60 %	Subcriterio 1	80 %	Variable 1	70 pts.	Subvariable 1	40 pts.
						Subvariable 2	30 pts.
		Subcriterio 2	20 %	Variable 2	30 pts.	Subvariable 1	20 pts.
						Subvariable 2	10 pts.
CRITERIO 2	40 %	Subcriterio 1	100 %	Variable 1	100 pts.	Subvariable 1	100 pts.

Se realizaron tres sesiones de asignación de puntajes con expertos que forman parte del equipo de investigación “Economía Circular Inclusiva y Desarrollo Sostenible” del Departamento Interdisciplinario de Espacio y Población de la Universidad de Cuenca.

En la primera sesión se contó con la participación de tres expertos en el ámbito de la Ingeniería Ambiental: Ing. Gustavo Pacheco, Ing. Ismael Izquierdo, e Ing. Gabriela Sucozhañay, quienes realizaron una primera definición de puntajes. En la segunda sesión participó un grupo multidisciplinario de expertos en los ámbitos ambiental, minero y químico-industrial: Ing. Fabiola

Cobos, Ing. Damián Burneo, e Ing. Ricardo Montero quienes realizaron la segunda definición de puntajes.

Para la tercera sesión se reunió a todos los expertos de las dos sesiones anteriores y por medio de un consenso se logró establecer los pesos finales. En la Tabla 3 se puede apreciar los pesos establecidos para los criterios, subcriterios, variables y subvariables, y en la Tabla 4 los pesos para las variables del apartado de “Construcción”.

Tabla 3

Pesos de criterios, subcriterios, variables y subvariables del Análisis Comparativo Multicriterio.

CRITERIO	Peso	SUBCRITERIO	Peso	Variable	Pts.	Subvariable	Pts.
UTILIDAD	35 %	Objetivo para el que se emplea	100 %	Identificar impactos	17		
				Valorar impactos	17		
				Cumplir la normativa ambiental	17		
				Identificar ineficiencias	9		
				Mejorar procesos	9		
				Evaluar y seleccionar alternativas gestión ambiental	9		
				Proporcionar información desempeño ambiental	9		
				Planificar y desarrollar programas ambientales	9		
				Obtener certificaciones nacionales o internacionales	2		
				Desarrollar legislación y políticas ambientales	2		
FUNCIONA- LIDAD	25 %	Flujos de evaluación	25 %	Flujo de energía	26		
				Flujo de materiales	23		
				Flujo de emisiones	17		
				Flujo de agua	17		
				Flujo de residuos	17		
		Etapas de evaluación	20 %	Extracción	20		
				Producción	20		
				Uso	20		
				Mantenimiento	20		
				Fin de Vida	20		
		Límites del sistema	20 %	De la cuna a la cuna	35		
				De la cuna a la tumba	28		
				De la cuna a la puerta	21		
				De la puerta a la puerta	16		
		Escala de evaluación	20 %	Macro	33		
Meso	33						

USABILIDAD	20 %	Enfoque de la metodología	10 %	Micro	33				
				Ciclo de Vida	36				
				Sostenibilidad	36				
				Evaluación Ambiental	28				
				Tipo de metodología	5 %	Metodología cuantitativa	65		
						Metodología cualitativa	35		
	40 %	Comprensión para el uso	Nivel de conocimiento requerido para el uso	36	Bajo	16			
					Medio	13			
					Alto	7			
			Nivel de complejidad de uso	36	Baja	16			
					Media	13			
					Alta	7			
		Disponibilidad de material que facilite uso	28	Manual o guía	11				
				Norma	8				
				Artículos	6				
				Libro	3				
		30 %	Uso de software	Accesibilidad	26	Licencia gratuita	13		
						Licencia pagada	9		
	Demos o pruebas					4			
Funcionamiento	23			Comparación entre escenarios, productos o procesos	8				
				Compatibilidad con bases de datos existentes	7				
				Exportación de datos y resultados en diferentes formatos	4				
			Presentación y reporte de resultados en tablas, gráficos, diagramas	2					
			Instalación en múltiples dispositivos	2					
Capacidad de procesamiento	21		Cálculos de complejidad alta	10					
			Cálculos de complejidad media	7					
			Cálculos de complejidad baja	4					
Interoperatividad	18		Interacción con otros software o programas	9					
		Interacción con plataformas de gestión ambiental	9						
Seguridad	12	Restablece el funcionamiento en caso de fallas	3						
		Recuperación de información y datos en caso de fallas	3						
		Almacenamiento de información en la web	3						
		Almacenamiento de información en físico	3						
Uso de bases de datos	30 %	Disponibilidad	37	Bases de datos locales	17				
				Bases de datos regionales	12				

						Bases de datos internacionales	8		
				Accesibilidad	33	Acceso libre	20		
						Acceso pagado	13		
				Actualizaciones de datos	30	Anual	15		
						Cada 5 años	10		
						Cada 10 años	5		
CONFIABILIDAD	15 %	Confiabilidad de los datos	35 %	Escala de datos de entrada	67	Datos puntuales	27		
						Datos locales	20		
						Datos regionales	13		
						Datos globales	7		
				Requisitos de calidad de datos	33	Fiabilidad	12		
						Integridad	12		
						Correlación temporal	3		
		Correlación geográfica	3						
								Correlación tecnológica.	3
		Confiabilidad de los resultados	35 %	Exactitud de los resultados	48	Incertidumbre baja	23		
						Incertidumbre media	17		
						Incertidumbre alta	8		
				Disponibilidad de métodos de evaluación de incertidumbre	37	Análisis de sensibilidad	18		
						Cálculo de distribución estadística normal	12		
	Comparación con datos de literatura					7			
	Unidades de resultados	15	Puntos (millipoints, ecopoints)	5					
			Emisiones, descargas	5					
			Valores de impacto (magnitud, impacto, unidades de impacto)	5					
	Confiabilidad del proceso	20 %	Clasificación de datos	25	Clasificación auto.	15			
					Clasificación manual	10			
					Sin clasificación	0			
			Categorización de impactos	25	Categorías endpoint	15			
					Categorías midpoint	10			
					Sin categorización	0			
			Factores de impacto	25	Factores de impacto para cada categoría	25			
					Sin factores de impacto	0			
			Normalización de impactos	25	Parámetros de normalización	25			
Sin parámetros de normalización	0								
Madurez de la metodología	10 %	Mejoras de la metodología	65	Proceso de evaluación	32				
				Manejo información	23				
				Formato, visualización	10				
		Respaldo de instituciones	35	ONU	7				
				Unión Europea	7				
				IPCC	7				
				ISWA	7				
						IAIA	7		
FLEXIBILIDAD	5 %		60 %	Procesos	25				

	Aplicación multifuncional		Productos	25	
			Servicios	25	
			Organizaciones	25	
	Capacidad de cambios	40 %	Se pueden realizar simplificaciones	25	
			Se pueden agregar consideraciones propias o particulares	25	
			Se puede adaptar a otros entornos	25	
			Puede complementarse con otra o varias metodologías	25	

Tabla 4

Pesos de variables del Análisis Comparativo Multicriterio para el apartado “Construcción”

VARIABLE	Peso	GRUPO 1		GRUPO 2		
		SUBVARIABLE	Pts.	SUBVARIABLE		Pts.
Etapas del Ciclo de Vida		Categorías de Impacto		Componente	Actividad de impacto	
Uso	60 %	Calentamiento global	20	Energía	Consumo de energía eléctrica durante el uso de la edificación	40
		Agotamiento de agua	18			
		Radiación ionizante	15			
		Agotamiento de ozono	12	Agua	Uso y consumo del agua durante el uso de la edificación	30
		Eutrofización de agua dulce	10			
		Acidificación terrestre	8			
		Ocupación de suelo	7			
		Toxicidad humana	5	Residuos	Generación de residuos domiciliarios durante el uso de la edificación	20
		Ecotoxicidad de agua dulce	2			
		Ecotoxicidad terrestre	2	Suelo	Uso y ocupación de suelo durante el uso	10
Agotamiento recursos minerales y fósiles	1					
Extracción Producción Transporte	20 %	Ecotoxicidad de agua dulce	22	Materiales	Producción de materiales de fuentes renovables o no renovables	50
		Agotamiento recursos minerales y fósiles	20			
		Ecotoxicidad terrestre	15			
		Formación fotoquímica oxidante	15	Energía	Consumo energía eléctrica y de combustibles para extracción de materia prima, producción de materiales y transporte	35
		Ocupación de suelo	12			
		Calentamiento global	8			
		Acidificación terrestre	5			
		Radiación ionizante	2	Residuos	Generación de residuos de materiales durante la producción	15
Agotamiento de agua	1					
Construcción	10 %	Ecotoxicidad de agua dulce	25	Aire		35
		Ecotoxicidad terrestre	18			

		Toxicidad humana	14		Emisión de polvo, PM, aerosoles y gases durante la construcción	
		Formación fotoquímica oxidante	12	Suelo	Uso y ocupación de suelo durante la construcción	30
		Agotamiento recursos minerales y fósiles	10			
		Ocupación de suelo	7	Residuos	Generación de escombros durante la construcción	20
		Acidificación terrestre	5			
		Calentamiento global	3	Energía	Consumo energético y de combustibles durante la construcción	10
		Radiación ionizante	2			
		Formación de material particulado	2	Agua	Uso de agua, descargas y vertidos contaminantes durante la construcción	5
		Eutrofización de agua dulce	1			
		Agotamiento de agua	1			
Mantenimiento	8 %	Agotamiento recursos minerales y fósiles	29	Residuos	Generación de residuos de materiales durante el mantenimiento	50
		Acidificación terrestre	20			
		Ocupación de suelo	15			
		Ecotoxicidad de agua dulce	12	Agua	Descargas y vertidos de agua contaminada durante el mantenimiento	30
		Toxicidad humana	10			
		Eutrofización terrestre	5			
		Formación fotoquímica oxidante	3	Energía	Consumo energético durante el mantenimiento	15
		Calentamiento global	2			
		Radiación ionizante	2	Materiales	Producción de materiales de fuentes renovables o no renovables	5
		Eutrofización de agua dulce	1			
Agotamiento de agua	1					
Fin de Vida (demolición, reutilización)	2 %	Agotamiento recursos minerales y fósiles	50	Aire	Emisión de polvo, PM, aerosoles y gases durante la demolición	60
		Ecotoxicidad de agua dulce	20			
		Ecotoxicidad terrestre	20	Energía	Consumo energético para demolición o reutilización	25
		Radiación ionizante	6			
		Formación de material particulado	3	Residuos	Generación de escombros durante la demolición	15
		Acidificación terrestre	1			

3.2.4. Calificación de las metodologías

En este estudio se siguió el modelo de suma ponderada que proporciona los resultados mediante una sumatoria de los productos entre los pesos y las calificaciones para cada alternativa. Los resultados representan que la mejor alternativa será aquella con el mayor valor. En este punto se desarrolló una matriz de comparación, en la cual se encuentran los criterios, subcriterios, variables y subvariables establecidos, en donde se seleccionó las variables que cumplen cada metodología y se otorgó los puntajes establecidos en la sección 3.2.3. La metodología que obtuvo la calificación más alta fue la que presentó mejor desempeño para realizar una EIA.

Para este estudio se desarrolló una matriz automatizada en el programa Microsoft Excel que permite calcular los desempeños colocando una X en la casilla si la metodología cumple la variable. Revisar la matriz de comparación de metodologías de EIA en el Anexo 4.

3.3. Elaboración de lineamientos

Con los hallazgos obtenidos a lo largo del estudio, se elaboraron 50 lineamientos siguiendo la metodología planteada por las normas ISO, con el objetivo de facilitar a los evaluadores la selección de una metodología de evaluación de impactos ambientales apropiada para cualquier proyecto y en específico para el sector de la construcción. La estructura de los lineamientos propuestos en este estudio se presenta de la siguiente manera:

Introducción

1. Conceptos generales

2. Requisitos generales

3. Lineamientos

3.1. Lineamientos para seleccionar una metodología de EIA

3.1.1. Título: Criterio

3.1.1.1 Subtítulo: Subcriterio

Definición

Lineamiento

Consideraciones

3.2. Lineamientos para seleccionar una metodología de EIA: Construcción

3.2.1. Título: Etapa de ciclo de vida

Definición

Lineamiento

Consideraciones

3.4. Validación de lineamientos a través del método Delphi

La validación se ejecutó con el fin de revisar y verificar que los lineamientos propuestos sean valederos en su aplicación y puedan ser implementados. En este estudio, se empleó el método Delphi de la siguiente manera:

3.4.1. Definición del objetivo de validación

El objetivo de este proceso fue validar los lineamientos propuestos, por medio de entrevistas con expertos en evaluación de impactos ambientales y construcción sustentable, que poseen trayectoria académica y experiencia profesional en el tema.

3.4.2. Conformación del grupo de expertos

A efectos de este estudio, el grupo entrevistado estuvo conformado por cinco especialistas que poseen trayectoria académica y experiencia profesional en el tema. Los criterios analizados para la selección de expertos fueron: profesión, años de experiencia, cargo actual, vínculo con EIA o Construcción Sustentable y publicaciones o experiencia con respecto al tema. De esta manera se escogieron los expertos, los cuales se enlistan en la Tabla 5.

Tabla 5

Expertos entrevistados para la validación de lineamientos.

NOMBRE Y APELLIDO	PROF.	Años exp.	CARGO	VÍNCULO CON EIA O CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE	PUBLICACIONES Y EXPERIENCIA		
					EIA	Con. Sus.	ARTÍCULOS CIENTÍFICOS, INVESTIGACIONES ANEXADAS, RECONOCIMIENTOS
Ricardo Montero	Ingeniero Químico Mst. Industrial	2	Miembro del grupo de investigación Economía Circular Inclusiva y Desarrollo Sostenible UCuenca	Investigador del proyecto ResCuE Gestión responsable y sostenible de RAEE en Cuenca Ecuador.	x		Ganador del Reto de Innovación Social Municipalidades realizado por CEDIA, Cooperación Alemana GIZ y el MPCEIP del Ecuador, proyecto "ResCuE"
Damián Burneo	Ingeniero en Minas Mst. Ing. Ambiental Economía y Desarrollo	4	Miembro del grupo de investigación Economía Circular Inclusiva y Desarrollo Sostenible UCuenca	Ingeniero investigador, aplicación ACVS para el sistema de reciclaje en Cuenca.	x		Ganador del Reto de Innovación Social Municipalidades realizado por CEDIA, Cooperación Alemana GIZ y el MPCEIP del Ecuador, proyecto "CompostApp" Artículo Científico sobre "La evaluación ambiental y social del sistema de reciclaje de Cuenca desde un enfoque de Economía Circular."
Kristi Padrón	Ingeniera Ambiental	2	Miembro del grupo de investigación Economía Circular Inclusiva y Desarrollo Sostenible UCuenca	Ingeniera Ambiental investigadora en el proyecto CEELA, aplicación del ACV en materiales de construcción.	x	x	Aceptación en la maestría "Environmental Engineering, Major Resource Management" del ETH Zürich - Suiza
Gabriela Sucozhañay	Ingeniera Ambiental	4	Miembro del grupo de investigación Economía Circular Inclusiva y Desarrollo Sostenible UCuenca	Ingeniera Ambiental investigadora, aplicación del ACV y otras	x	x	Seleccionada y becada para participar en el Ewaste Academy 2022 Academia de Residuos Electrónicos - Limerick, Irlanda Artículos Científicos: "Toward a

			metodologías en diversos sectores.		sustainability balanced scorecard for managing corporate social responsibility: a conceptual model" y "Towards a Model for Analyzing the Circular Economy in Ecuadorian Companies: A Conceptual Framework"	
Jonnathan Aguirre	Arquitecto Mst. Innovación tecnológica en la arquitectura	8	Miembro del grupo de investigación Economía Circular Inclusiva y Desarrollo Sostenible UCuenca	Arquitecto investigador en el proyecto CEELA, aplicación del ACV de edificaciones y materiales de construcción.	x	Ganador del primer lugar nacional "Medalla de Oro" de la XIX Bienal Panamericana de Arquitectura de Quito 2014 en la Categoría "Fin de Carrera - Diseño Arquitectónico" Becario en el Laboratorio de Fabricación Digital de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona – Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona Artículos Científicos "Análisis de proyecto arquitectónico" y "Modelo de Equipamiento Educativo y su relación con el espacio público para una ciudad compacta sustentable."

3.4.3. Ejecución de rondas de consulta

Los expertos fueron entrevistados individualmente y los cuestionarios se elaboraron de manera que facilitaron la respuesta por parte de los consultados. Las preguntas fueron cerradas escalares en las que se exhibió el nivel de acuerdo o desacuerdo de los expertos, y permitieron disminuir la dispersión de las opiniones. Para las rondas de consulta se elaboró una matriz en la cual se establecen en las filas los lineamientos a ser validados y en las columnas el nivel de acuerdo o desacuerdo (muy de acuerdo, algo de acuerdo, algo en desacuerdo, muy en desacuerdo). Revisar la matriz de validación de lineamientos en el Anexo 5.

3.4.4. Resultados de rondas de consulta

Las respuestas se categorizaron y ordenaron en función del grado de acuerdo, luego fueron cuantificadas y ponderadas en términos porcentuales con estimaciones estadísticas de la media y la desviación típica. Se culminó en la primera ronda de consulta consiguiendo más del 80 % de consenso entre las opiniones de los participantes. Finalmente se presentaron los resultados más destacados de las entrevistas, las estadísticas y las observaciones finales.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de la identificación de metodologías de Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) más utilizadas a nivel nacional e internacional

En el análisis bibliográfico se identificó que las metodologías más utilizadas y recomendadas por la academia a nivel internacional son Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Huella de Carbono, y Huella de Agua debido a que éstas incluyen aspectos que son importantes al momento de realizar una evaluación de impactos ambientales, por ejemplo: análisis de la calidad de datos de entrada, siguen un proceso metodológico estandarizado, sus resultados tienen mayor relevancia para investigaciones, y son metodologías con mayor reconocimiento a nivel internacional. En términos de la “Construcción”, éstas se emplean en gran medida ya que incluyen indicadores y categorías de impacto que son relevantes en la evaluación ambiental de la edificación como: calentamiento global, agotamiento de agua, agotamiento de recursos minerales y fósiles, uso y ocupación del suelo, etc. Es por ello que a nivel académico se aconseja emplear metodologías como éstas para que las evaluaciones ambientales generen resultados que reflejen el impacto con mayor exactitud y se puedan tomar decisiones acertadas.

Por otro lado, la revisión literaria mostró que a nivel nacional las metodologías más empleadas para la evaluación de impactos ambientales son las matrices de Leopold, Battelle Columbus, Conesa Fernández, y adecuaciones de éstas según el proyecto, obra o actividad. Su implementación se debe principalmente a que éstas permiten analizar requisitos que menciona la normativa, y su proceso metodológico es rápido y sencillo. En proyectos relacionados a la construcción, éstas son mayormente empleadas en la fase de diseño, implementación y cierre del proyecto, es decir analizan principalmente las etapas de construcción, uso y fin de vida de la edificación, en algunas ocasiones analizan procesos propios de la extracción y producción de materiales, y actividades para el mantenimiento de la edificación llegan a ser consideradas dentro de la etapa de uso. Las matrices de evaluación ambiental son bien aceptadas a nivel nacional ya que sus resultados reflejan los impactos más significativos de todo el proyecto, estos valores permiten determinar en donde se debe prestar especial atención para ejecutar medidas que reduzcan o mitiguen el impacto y cumplan con lo estipulado en la normativa.

4.2. Resultados del Análisis Comparativo Multicriterio de metodologías de EIA

A continuación, se presentan los resultados del Análisis Comparativo de Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental. En primera instancia se detallan los resultados por subcriterios, después por criterios de comparación y luego los resultados generales para cada metodología. Por último, se muestran los resultados del apartado de “Construcción”.

4.2.1. Resultados de comparación por subcriterios

Los resultados de la comparación de las metodologías para cada subcriterio mostraron que el ACV fue la metodología que cumplió en doce de los dieciséis subcriterios con un desempeño excelente, tres con desempeño bueno y uno con desempeño regular. El subcriterio en el que mostró un puntaje bajo fue el de “comprensión”, debido a que es una metodología que requiere un mayor nivel de conocimiento y el nivel de complejidad de uso es alto.

Los resultados de la metodología de la Huella de Carbono mostraron que en ocho de los subcriterios tuvo un desempeño bueno, y en siete subcriterios como “flujos”, “etapas”, “límites de evaluación del sistema”, “escala”, “confiabilidad del proceso”, “madurez de la metodología” y “aplicación” el desempeño fue excelente. El subcriterio que menor puntaje mostró fue “confiabilidad de los resultados”, debido a que la incertidumbre de los resultados de la metodología es media al no poseer datos locales para todas las regiones.

La metodología de la Huella de Agua presentó en nueve subcriterios un desempeño excelente y cuatro un desempeño bueno. En “comprensión para el uso” tuvo un desempeño regular debido a que requiere un nivel de conocimiento alto y tiene un elevado nivel de complejidad. El subcriterio “flujos de evaluación” es el que más bajo desempeño presentó ya que la metodología evalúa únicamente flujos de agua y emisiones, y no considera otros flujos como energía, materiales o residuos.

En cuanto a las matrices, las metodologías de la matriz de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández presentaron un desempeño excelente en el subcriterio “capacidad de cambios”, ya que son metodologías flexibles que logran adaptarse a las necesidades de la evaluación y son capaces de admitir cambios según los requerimientos del evaluador. En los subcriterios “objetivo”, “uso de bases de datos” y “confiabilidad de los datos” tuvieron un desempeño bueno debido a que alcanzan más de la mitad de los objetivos, utilizan datos locales, y las metodologías cumplen con requisitos de calidad de datos como fiabilidad y correlación geográfica.

En subcriterios como “escala”, “enfoque”, “comprensión” y “aplicación” las matrices mostraron un desempeño regular pues evalúan a una escala micro, no cuentan con material actualizado que facilite su aplicación y no se sugieren aplicar para evaluar sistemas complejos. En los subcriterios de “límites del sistema”, “confiabilidad de resultados” y “confiabilidad del proceso” se puntuaron con un desempeño malo debido a que no consideran límites del sistema en su análisis, presentan una incertidumbre alta y su proceso metodológico no cuenta con categorías, factores de impacto y normalización de resultados. El criterio de “uso de software” se presenta en blanco pues estas metodologías no suelen usarse con software para la ejecución del proceso de evaluación ambiental.

La matriz de Conesa Fernández presentó un desempeño excelente en los subcriterios “flujos”, “etapas de evaluación”, “tipo” pues logra identificar todos los flujos y etapas del ciclo de vida y es una metodología que realiza análisis cualitativos y cuantitativos. La matriz de Leopold obtuvo un desempeño excelente en “etapas de evaluación” y desempeño bueno en “flujos” debido a que puede analizar por etapas y se puede modificar para evaluar ciertos flujos del ciclo de vida. La matriz de Battelle Columbus obtuvo un desempeño excelente en “tipo de metodología” porque analiza de manera cualitativa y cuantitativa; sin embargo, en el subcriterio “madurez” su desempeño fue malo debido a que no cuenta con el respaldo de muchas instituciones renombradas y ya no se emplea a nivel internacional.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de cada metodología para los subcriterios de comparación con los valores y el desempeño obtenidos, y la escala de color representativa. Se puede observar que metodologías como ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua tuvieron colores tendientes a verde, lo que quiere decir que presentaron un desempeño excelente o bueno en gran parte de los subcriterios de comparación. Mientras que las metodologías de las tres matrices mostraron mayormente colores entre amarillo, tomate y rojo, simbolizando un desempeño regular o malo en muchos de los subcriterios de comparación.

Tabla 6

Resultados por subcriterios de la comparación de metodologías de EIA.

CRITERIO	SUBCRITERIO	ACV		HUELLA DE CARBONO		HUELLA DE AGUA		M. LEOPOLD		M. BATTELLE COLUMBUS		M. CONESA FERNÁNDEZ	
Utilidad	Objetivo	83	Excelente Bajo	65	Bueno Medio	83	Excelente Bajo	60	Bueno Medio	60	Bueno Medio	69	Bueno Alto
	Flujos	100	Excelente Alto	83	Excelente Bajo	34	Regular Medio	51	Bueno Bajo	60	Bueno Medio	77	Excelente Bajo
Funcionalidad	Etapas	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	80	Excelente Bajo	60	Bueno Medio	80	Excelente Bajo
	Límites	100	Excelente Alto	84	Excelente Medio	65	Bueno Medio	16	Malo Medio	16	Malo Medio	16	Malo Medio
	Escala	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	33	Regular Bajo	33	Regular Bajo	33	Regular Bajo
	Enfoque	100	Excelente Alto	64	Bueno Medio	100	Excelente Alto	28	Regular Bajo	28	Regular Bajo	28	Regular Bajo
	Tipo	100	Excelente Alto	65	Bueno Medio	100	Excelente Alto	35	Regular Medio	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto
Usabilidad	Comprensión	42	Regular Medio	51	Bueno Bajo	39	Regular Medio	41	Regular Medio	38	Regular Medio	41	Regular Medio
	Software	68	Bueno Alto	71	Bueno Alto	68	Bueno Alto	0	Ninguno	0	Ninguno	0	Ninguno
	Bases de datos	85	Excelente Medio	73	Bueno Alto	68	Bueno Alto	52	Bueno Bajo	52	Bueno Bajo	52	Bueno Bajo
Confiabilidad	Datos	100	Excelente Alto	67	Bueno Medio	100	Excelente Alto	53	Bueno Bajo	53	Bueno Bajo	53	Bueno Bajo
	Resultados	70	Bueno Alto	41	Regular Medio	47	Regular Alto	20	Malo Alto	20	Malo Alto	20	Malo Alto
	Proceso	100	Excelente Alto	80	Excelente Bajo	100	Excelente Alto	10	Malo Medio	10	Malo Medio	10	Malo Medio
	Madurez	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	40	Regular Medio	17	Malo Medio	40	Regular Medio
Flexibilidad	Aplicación	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	50	Regular Alto	50	Regular Alto	50	Regular Alto
	Cambios	75	Bueno Alto	75	Bueno Alto	75	Bueno Alto	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto	100	Excelente Alto

4.2.2. Resultados de comparación por criterios

En los resultados de la comparación por criterios, la metodología que mejores desempeños mostró fue el ACV nuevamente. En el criterio de “funcionalidad” el desempeño fue excelente alto, ya que cumple todas las características para realizar una evaluación de impactos integral y robusto. Para los criterios “utilidad”, “confiabilidad” y “flexibilidad” la metodología presentó un desempeño de excelente menor, debido a que esta no siempre es apta para los cambios requeridos por el usuario y suele ser muy compleja para conseguir algunos objetivos de evaluación que requieren menos esfuerzo. En el criterio “usabilidad” fue el que menor desempeño presentó porque la metodología presenta una complejidad alta para el usuario.

La siguiente metodología con mejores desempeños fue la Huella de Agua. En el criterio de “flexibilidad” tuvo un desempeño excelente medio, ya que la metodología no permite que se agreguen consideraciones propias o particulares. En los criterios de “utilidad”, “funcionalidad”, y “confiabilidad” el desempeño fue excelente bajo, pues la metodología evalúa solo el flujo de agua y emisiones, y actividades que se relacionen al recurso hídrico. En el criterio “usabilidad” el desempeño fue bueno bajo, debido a que es una metodología de complejidad elevada y requiere un alto conocimiento para su uso.

La metodología de la Huella de Carbono mostró en los criterios “funcionalidad” y “flexibilidad” un desempeño excelente medio, ya que tiene un enfoque de sostenibilidad, evalúa flujos de energía, materiales, emisiones, y residuos, y es una metodología que se puede aplicar en diferentes entornos. En los criterios “utilidad”, “usabilidad” y “confiabilidad” el desempeño fue bueno, pues logra cumplir un poco más de la mitad de los objetivos, se requiere un nivel medio de conocimiento para su uso y cuenta bases de datos actualizadas para su empleo; sin embargo, la incertidumbre de la metodología es media y evalúa solo la categoría de “calentamiento global”.

En cuanto a las metodologías de las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández, los resultados fueron bastante cercanos entre ellas. En los criterios “utilidad” y “flexibilidad” obtuvieron un resultado bueno ya que se pueden emplear para cumplir los principales objetivos de una EIA y tienen una alta capacidad de cambios. En los criterios de “funcionalidad”, “usabilidad” y “confiabilidad” su desempeño se presentó como regular ya que éstas no tienen un enfoque de ciclo de vida o sostenibilidad, tienen una elevada incertidumbre en los resultados al no realizar análisis de calidad de datos, no emplear categorías o factores de impactos, y por no ser actuales no cuentan con el respaldo institucional internacional.

La Tabla 7 muestra los resultados de cada metodología para los criterios de comparación con los valores y el desempeño obtenidos y la escala de color representativa. Se puede observar que las metodologías del ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua obtuvieron colores tendientes a verde, simbolizando que su desempeño es excelente o bueno en muchos de los criterios, mientras que las metodologías de las tres matrices mostraron mayormente colores entre tomate y amarillo, por lo que su desempeño es mayormente regular en la mayoría de los criterios de comparación.

Tabla 7

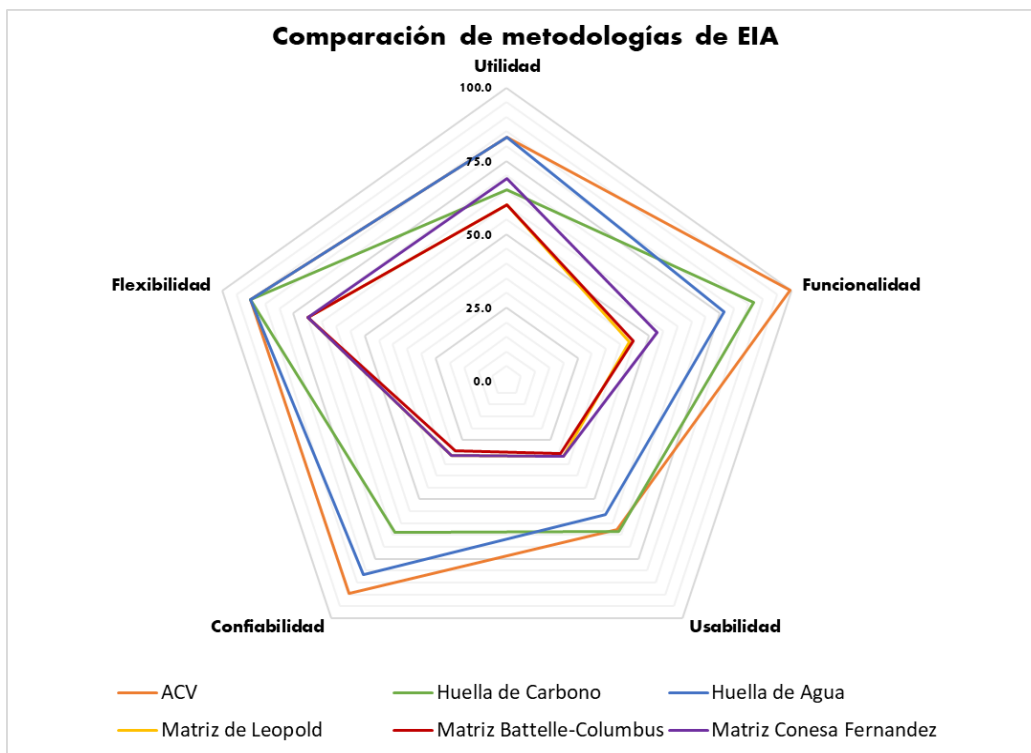
Resultados por criterios de la comparación de metodologías de EIA.

CRITERIO	ACV		HUELLA DE CARBONO		HUELLA DE AGUA		M. LEOPOLD		M. BATTLE COLUMBUS		M. CONESA FERNÁNDEZ	
Utilidad	83	Excelente Bajo	65	Bueno Medio	83	Excelente Bajo	60	Bueno Medio	60	Bueno Medio	69	Bueno Alto
Funcionalidad	100	Excelente Alto	87	Excelente Medio	76	Excelente Bajo	43	Regular Alto	45	Regular Alto	53	Bueno Bajo
Usabilidad	63	Bueno Medio	64	Bueno Medio	56	Bueno Bajo	32	Regular Bajo	31	Regular Bajo	32	Regular Bajo
Confiabilidad	90	Excelente Medio	64	Bueno Medio	82	Excelente Bajo	32	Regular Bajo	29	Regular Bajo	32	Regular Bajo
Flexibilidad	90	Excelente Medio	90	Excelente Medio	90	Excelente Medio	70	Bueno Alto	70	Bueno Alto	70	Bueno Alto

En la Figura 4 se observa un gráfico radar que representa los resultados antes detallados. La metodología del ACV es fue que más cerca estuvo de los vértices del pentágono, lo que quiere decir que alcanzó la mayor puntuación en comparación con las otras. En términos de “utilidad” la metodología del ACV y la Huella de Agua mostraron igual puntaje, seguidas por la matriz de Conesa Fernández, luego la Huella de Carbono y por último las matrices de Leopold y Battelle Columbus. En cuanto a “funcionalidad” el ACV fue el que más destacó, seguido por las Huellas de Carbono y Agua que presentaron puntajes muy cercanos. En “usabilidad” el ACV y la Huella de Carbono fueron iguales, seguidas con poca distancia por la Huella de Agua. En el criterio “confiabilidad” el ACV y la Huella de Agua fueron las que más destacaron con puntajes cercanos. En “flexibilidad” las metodologías del ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua obtuvieron resultados iguales y fueron las que mejor desempeño mostraron.

Figura 4

Resultados por criterios de la comparación de metodologías de EIA



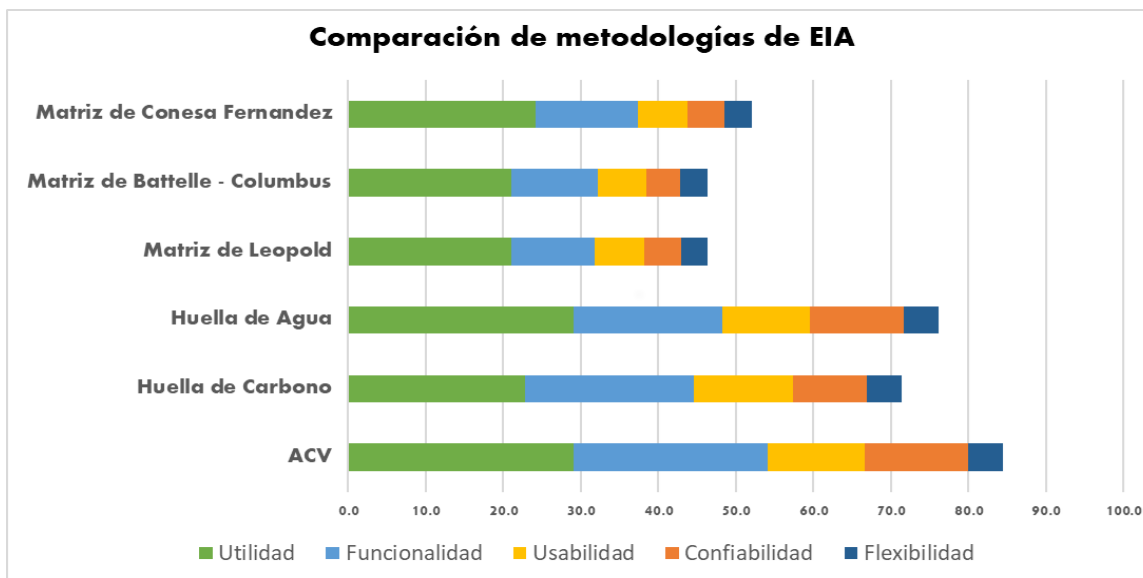
La Figura 5 muestra la proporción de cada criterio para los resultados finales de las metodologías. Se observó que la “utilidad” fue lo más relevante en una EIA y metodologías como el ACV y Huella de Agua tuvieron mayores puntajes. Le siguió la “funcionalidad” que destacó para metodologías como ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua. Para la “usabilidad” y “confiabilidad” llegaron a tener una proporción muy parecida en cada metodología, y por último la “flexibilidad” tuvo menor proporción en todas las metodologías.

4.2.3. Resultados finales de comparación

Los resultados finales reflejaron el desempeño general de cada metodología. Se observó que el ACV es la metodología que presentó mejor desempeño con puntuación de 85. La Huella de Agua fue la segunda metodología con mejor desempeño con un puntaje de 76, mientras que la Huella de Carbono le siguió de cerca con un puntaje de 71. La metodología de la matriz Conesa Fernández es la que más destacó entre las matrices con un puntaje de 52, y las matrices de Battelle Columbus y Leopold presentaron desempeños iguales con un puntaje de 46.

Figura 5

Resultados finales de la comparación de metodologías de EIA



En la Tabla 8 se presentan los resultados finales de cada metodología con los valores de desempeño obtenidos y la escala de color representativa. Las metodologías del ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua presentaron color verde, lo que quiere decir que el desempeño de estas metodologías fue entre bueno y excelente, y las matrices de Conesa Fernández, Leopold y Battelle Columbus presentaron color amarillo, lo que significa que su desempeño fue entre regular y bueno para realizar una evaluación de impactos ambientales.

Tabla 8

Resultados finales de la comparación de metodologías de EIA.

ACV		HUELLA DE CARBONO		HUELLA DE AGUA		M. LEOPOLD		M. BATTELLE COLUMBUS		M. CONESA FERNÁNDEZ	
85	Excelente Medio	71	Bueno Alto	76	Excelente Bajo	46	Regular Alto	46	Regular Alto	52	Bueno Bajo

4.2.4. Resultados de comparación para el apartado de “Construcción”

Para el apartado de “Construcción” los resultados mostraron que el ACV fue la metodología más idónea para la evaluación de impactos ambientales en la construcción con mejores puntajes, en todas las variables de las etapas del ciclo de vida el desempeño fue excelente debido a que es

una metodología que evalúa todas las categorías de impacto durante el ciclo de vida de una edificación.

La siguiente metodología que presentó mejor desempeño para la construcción fue la matriz de Conesa Fernández, la cual obtuvo un puntaje de excelente alto en las etapas de uso, construcción, mantenimiento, y fin de vida. Esta metodología permite analizar todas las actividades de impacto que se realizan en estas etapas en cuanto a energía, agua, residuos, suelo y aire. El desempeño más bajo se presentó en la etapa de extracción, producción y transporte como regular, debido a que la metodología no siempre analiza flujos de extracción de materias primas y producción de materiales.

La metodología de la matriz de Battelle Columbus presentó desempeño excelente en las etapas de uso, construcción, y fin de vida, ya que la metodología analiza los impactos de los flujos de energía, agua, suelo y aire a lo largo de estas etapas. En las etapas de mantenimiento, extracción, producción y transporte el desempeño fue regular debido a que la metodología tendría que adaptarse para analizar las actividades de impacto por la extracción de materias primas, producción de materiales, y generación de residuos

La matriz de Leopold mostró un desempeño excelente en las etapas de construcción y mantenimiento ya que la metodología analiza actividades como descargas y vertidos de agua contaminada, emisión de polvo, material particulado, aerosoles y gases, uso y ocupación del suelo, y generación de escombros. En las etapas de uso y fin de vida el desempeño fue bueno debido a que la metodología tendría que adaptarse para hacer un análisis del consumo energético durante el uso de la edificación y el empleado para demolición o reutilización. El desempeño más bajo que mostró fue en la etapa de extracción, producción y transporte, pues la metodología muchas de las veces analizan solo el consumo de energía eléctrica y combustibles de esta etapa.

La metodología de la Huella de Agua presentó un desempeño bueno en la etapa de construcción y regular en todas las otras, debido a que la metodología analiza solo las actividades relacionadas al recurso hídrico y no considera otros potenciales impactos que se generan en una edificación. Por otro lado, la metodología de la Huella de Carbono presentó los desempeños más bajos con respecto a las otras metodologías debido a que evalúa únicamente la categoría de impacto de calentamiento global al analizar solo las actividades relacionadas al consumo y emisiones de carbono.

En la Tabla 9 se presentan los resultados del apartado “Construcción” con los valores de desempeño obtenidos de cada metodología para las etapas del ciclo de vida. La metodología del ACV presentó color verde en todas las etapas, lo que quiere decir que su desempeño es excelente en todas ellas y la matriz de Conesa Fernández en cuatro de las cinco etapas presentó color verde y color tomate, lo que significa que predomina el desempeño excelente de la metodología. Las matrices de Leopold y Battelle Columbus mostraron mayormente color verde y algunos tomates, representando que en mayor parte presentaron desempeño excelente, pero en ciertas etapas su desempeño fue regular, y la Huella de Agua y Huella de Carbono mostraron colores amarillo y rojo porque su desempeño fue regular y malo respectivamente para la evaluación de las etapas del ciclo de vida de una edificación.

Tabla 9

Resultados por etapa de ciclo de vida de la comparación de metodologías de EIA para la construcción.

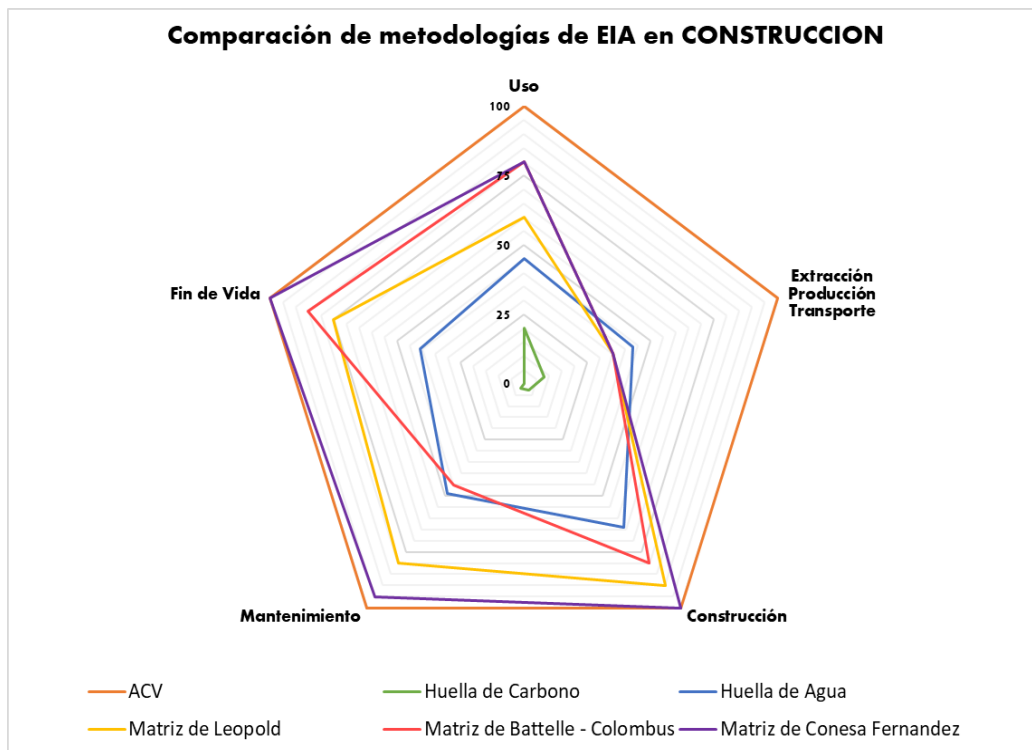
Etapas de Ciclo de Vida	ACV		HUELLA DE CARBONO		HUELLA DE AGUA		M. LEOPOLD		M. BATTLE COLUMBUS		M. CONESA FERNÁNDEZ	
Uso	100	Excelente Alto	20	Malo Alto	45	Regular Alto	60	Bueno Medio	80	Excelente Bajo	80	Excelente Bajo
Extracción Producción Transporte	100	Excelente Alto	8	Malo Bajo	43	Regular Alto	35	Regular Medio	35	Regular Medio	35	Regular Medio
Construcción	100	Excelente Alto	3	Malo Bajo	64	Bueno Medio	90	Excelente Medio	80	Excelente Bajo	100	Excelente Alto
Mantenimiento	100	Excelente Alto	2	Malo Bajo	49	Regular Alto	80	Excelente Bajo	45	Regular Alto	95	Excelente Alto
Fin de Vida	100	Excelente Alto	0	Ninguno	41	Regular Medio	75	Bueno Alto	85	Excelente Medio	100	Excelente Alto

En la Figura 6 se observa que la metodología del ACV se ajustó completamente a los vértices del pentágono, lo que mostró que la metodología alcanzó los puntajes más altos. En la etapa de uso las matrices de Conesa Fernández y Battelle Columbus presentaron puntajes iguales, seguidas por la matriz de Leopold, y luego la Huella de Agua. En la etapa de extracción, producción y transporte el ACV obtuvo el puntaje completo, seguido con gran distancia por la Huella de Agua, y luego las matrices con el mismo puntaje entre ellas. En términos de construcción el ACV y la matriz de Conesa Fernández presentaron los mismos resultados, seguidos por las matrices de Leopold, Battelle Columbus y la Huella de Agua con poca distancia de diferencia. En cuanto al mantenimiento, el ACV y la Matriz de Conesa Fernández presentaron resultados muy similares, seguidos por la matriz de Leopold y luego con mucha distancia la Huella de Agua y la matriz Battelle Columbus. En la etapa de fin de vida el ACV y la matriz de

Conesa Fernández nuevamente presentaron los mismos resultados, seguidos por las matrices de Battelle Columbus y Leopold con poca diferencia entre ellas.

Figura 6

Resultados por etapa de ciclo de vida de la comparación de metodologías de EIA para la construcción.



Los resultados finales reflejaron el desempeño de cada metodología en el sector de la construcción. Se observó que el ACV fue la metodología que presentó desempeño excelente en todas las etapas con un puntaje de 100. Luego la matriz de Conesa Fernández mostró el siguiente mejor desempeño en construcción con un puntaje de 75. Las matrices de Battelle Columbus y Leopold presentaron desempeños generales muy similares con puntajes de 68 y 60 respectivamente. El desempeño de la Huella de Agua en la construcción estuvo por debajo de la mitad del puntaje con 47 puntos, y la metodología de la Huella de Carbono presentó un puntaje muy bajo de 14 puntos.

En la Tabla 10 se presentan los resultados del desempeño de cada metodología para la construcción. Se pudo observar que la metodología del ACV presentó color verde fuerte representando un desempeño excelente, las matrices color verde suave que muestra un

desempeño bueno, la metodología de la Huella de Agua obtuvo color amarillo lo que significa un desempeño regular, y la Huella de Carbono color rojo que quiere decir que su desempeño fue malo para evaluar los impactos ambientales de una edificación.

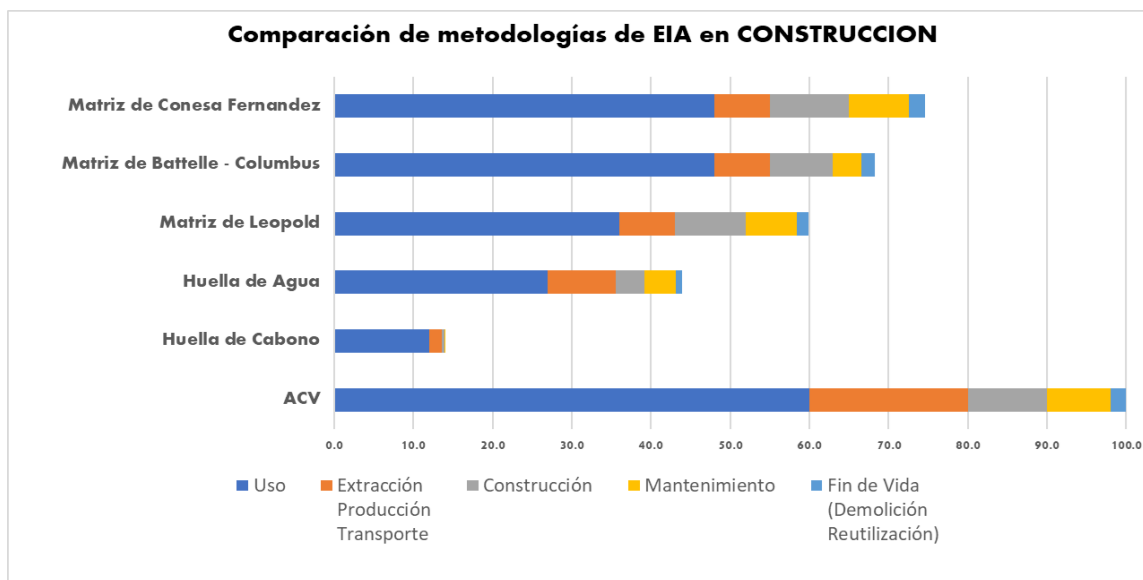
Tabla 10

Resultados finales de la comparación de metodologías de EIA para la construcción.

ACV		HUELLA DE CARBONO		HUELLA DE AGUA		M. LEOPOLD		M. BATTELLE COLUMBUS		M. CONESA FERNÁNDEZ	
100	Excelente Alto	14	Malo Medio	47	Regular Alto	60	Bueno Medio	68	Bueno Alto	75	Bueno Alto

Figura 7

Resultados finales de la comparación de metodologías de EIA para la construcción



La Figura 7 muestra la proporción de cada etapa del ciclo de vida de una edificación para los resultados de las metodologías. Se observó que la etapa de uso fue la más relevante y metodologías como el ACV, matriz Conesa Fernández y matriz Battelle Columbus tuvieron mayores puntajes de desempeño de evaluación. Le siguió la extracción, producción y transporte que destacó en metodologías como el ACV. En la etapa de construcción el ACV y las matrices mostraron proporciones similares. En el mantenimiento el ACV y la matriz Conesa Fernández tuvieron proporciones iguales seguidas por la matriz de Leopold, y por último el fin de vida tuvo menor proporción en todas las metodologías.

4.3. Lineamientos propuestos a partir de los resultados de comparación

LINEAMIENTOS PARA LA SELECCIÓN DE METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Introducción

Para aplicar una EIA se debe tener en cuenta la actividad o proyecto a evaluar, el tipo de análisis a realizar, el factor ambiental que se considere y la metodología más idónea para cumplir los requerimientos del estudio (Ligrone, 2017). Numerosas metodologías se han desarrollado y se usan en la EIA, según el tipo de actividades que intervienen y los objetivos que se buscan alcanzar. Para seleccionar la herramienta más adecuada, el evaluador debe analizar diversos aspectos de las metodologías, entre ellos: el tipo de evaluación, los flujos, actividades y procesos a evaluar, los datos disponibles, la complejidad del estudio, los resultados que se generan, etc. (Dellavedova, 2016).

Para ello se ve la necesidad de información guía que permita al evaluador conocer cómo es el desempeño de diferentes metodologías en aspectos mencionados. Un lineamiento es una guía o directriz que contribuye a que la toma de decisiones sea informada y apoyan para que éstas lleguen a ser más adecuadas (Díaz *et al.*, 2019). La formulación de lineamientos debe considerar un tema o área específica y tiene que basarse en una estructura teórica que sirva de apoyo en su planteamiento. Es importante que estos sean verificados por expertos en el tema para que puedan ser válidos en su implantación (Garduño, 2009).

En este apartado se proponen lineamientos desarrollados a partir de los resultados del estudio, con el fin de facilitar la selección de una metodología de EIA de acuerdo a las características del proyecto y las propias del método, y para apoyar en la toma de decisiones para los evaluadores y las autoridades.

1. Conceptos Generales

Identificación de impactos ambientales: acción de reconocer los potenciales efectos y su interacción sobre los factores ambientales debido a actividades que se realizar en el área de influencia sobre la que actuará el proyecto (ISO 14 001, 2015).

Valoración de impactos ambientales: acción de estimar valores cuantitativos de los efectos significativos sobre el ambiente, mediante indicadores de impacto en la situación sin proyecto respecto a la situación con proyecto, que luego se suman aritméticamente para obtener una calificación global del impacto del proyecto o actividad (Conesa, 2011).

Evaluación de impactos ambientales: proceso de identificar, predecir y estimar por medio de métricas la cantidad del efecto de los impactos ambientales, sociales y otros, ya sean positivos y negativos, relevantes de proyectos, programas o actividades, que debe realizarse antes de la toma de decisiones (IAIA, 2020).

Utilidad: Capacidad que tiene una cosa de servir o ser aprovechada para un fin determinado (Oxford Languages, 2022). Dentro de este estudio la utilidad se refiere a los objetivos que una metodología logra alcanzar en la EIA.

Funcionalidad: Conjunto de características que hacen que algo sea práctico y utilitario (WordReference.com, 2022). En este estudio la funcionalidad se refiere a las funciones y propiedades de la metodología para que pueda ser útil para una EIA.

Usabilidad: Facilidad con que las personas pueden utilizar una herramienta particular con el fin de alcanzar un objetivo concreto (Usability.gov, 2022). En este estudio la usabilidad es el esfuerzo necesario para el uso o la implementación de una metodología.

Confiabilidad: Seguridad que proporciona algo por poseer cualidades adecuadas para que funcione correctamente durante un período determinado bajo condiciones específicas (RAE, 2022a). En este estudio la confiabilidad son los atributos relacionados a la confianza en cuanto a los datos, resultados, proceso metodológico y si la metodología cuenta con mejoras y respaldo.

Flexibilidad: Susceptibilidad a cambios o variaciones según las circunstancias o necesidades (RAE, 2022b). En este estudio flexibilidad se refiere a la facilidad de adaptar la metodología a diferentes entornos y requerimientos.

Construcción: Actividad de hacer un edificio u otra construcción de arquitectura o ingeniería, o una de sus partes (Daza, 2010). En este estudio se encuentra un apartado específico de “Construcción” en el que se analizará la capacidad de la metodología para evaluar impactos ambientales de la construcción de edificaciones en las diferentes etapas del ciclo de vida.

2. Requisitos Generales

Es necesario conocer cierta información sobre la actividad o proyecto que se desea evaluar para seleccionar metodologías que se ajusten a los requerimientos de la evaluación, entre ellos:

- Sector productivo, conocer el sector productivo del proyecto o actividad, ya sea el eléctrico, forestal, industrial, infraestructura urbana, etc., para seleccionar metodologías que se hayan desarrollado o se utilicen para evaluar impactos ambientales de dicho sector.
- Objetivo de la evaluación, conocer el fin con el que se realizará la evaluación para seleccionar metodologías que cumplan los requerimientos.
- Alcance de la evaluación, determinar la escala de la evaluación, es decir la extensión del proyecto a evaluar como un proceso, producto, edificación, ciudad, etc., para seleccionar metodologías que sean capaces de analizar los alcances necesarios.
- Etapa a evaluar, definir las fases del ciclo de vida que se van a evaluar para seleccionar metodologías que logren analizar las etapas requeridas.
- Límites, determinar desde dónde y hasta donde, y los procesos que se incluirán en la evaluación, para seleccionar metodologías que puedan realizar el análisis dentro de los límites que se esperan.
- Flujos del sistema, conocer las entradas y salidas que se incluirán en la evaluación para seleccionar metodologías que analicen los flujos solicitados.
- Disponibilidad de datos, tener certeza que se cuenta con datos o bases de datos, actuales, comprensibles y conocer si son de fuente primaria o secundaria.

También es importante tener en consideración lo siguiente:

Normativa a aplicarse, conocer la normativa que se debe cumplir para seleccionar metodologías que logren acatar lo requerido.

Periodo a evaluar, establecer el tiempo en el que se aplicará la evaluación, sea este en proyectos o actividades pasadas, presentes o futuras, para seleccionar metodologías que puedan evaluar en el periodo establecido.

Solvencia económica, estimar la capacidad de la actividad o proyecto de cubrir los requerimientos económicos de la evaluación de impactos ambientales para seleccionar metodologías que se acoplen a la capacidad económica de la actividad o proyecto.

3. Lineamientos

3.1. Lineamientos para seleccionar una metodología de EIA

El proceso de selección de una metodología para la EIA debe considerar diferentes aspectos, por lo que se sugiere tomar en cuenta los criterios de manera complementaria y no individual para seleccionar una metodología que cumpla todos los requerimientos y genere una evaluación adecuada. A continuación, se detallan los lineamientos a seguir para seleccionar una metodología según cada criterio.

3.1.1. Utilidad

3.1.1.1. *Objetivo para el que se emplea*

Una metodología debe cumplir los principales objetivos de una EIA que es identificar y valorar los potenciales impactos ambientales de un proyecto, pero esta también puede cumplir otros objetivos relacionados que pueden complementar la evaluación (Nouri *et al.*, 2009; Manfredi *et al.*, 2015). Se han identificado los diez objetivos más recurrentes que se buscan al momento de realizar una EIA:

- 1. Identificar impactos**, se refiere a reconocer los potenciales impactos ambientales que se generarán durante la ejecución del proyecto o actividad.
- 2. Valorar impactos**, se refiere a analizar y calificar los impactos ambientales identificados, ya sean estos positivos o negativos.
- 3. Cumplir la normativa ambiental**, corresponde a la regulación de los impactos para el cumplimiento de los límites establecidos en la normativa.
- 4. Identificar ineficiencias**, se refiere a reconocer en dónde, cuándo y cómo se genera la mayor parte del impacto ambiental.
- 5. Mejorar procesos**, se refiere a plantear las posibles alternativas o cambios que se pueden realizar en los procesos para mejorar o disminuir el impacto ambiental.
- 6. Evaluar y seleccionar alternativas de gestión ambiental**, es analizar las alternativas planteadas y seleccionar la que mejor se adapte al proyecto y logre cumplir el objetivo.
- 7. Proporcionar información del desempeño ambiental**, se refiere a proveer datos o reportes con relación al aspecto ambiental del proyecto, ya sea impactos, gestión, mejoramiento, etc.

8. **Planificar y desarrollar programas ambientales**, es proponer y ejecutar programas que mejoren el desempeño ambiental general del proyecto.
9. **Obtener certificaciones nacionales o internacionales**, se refiere a alcanzar una certificación ya sea ambiental o la requerida según el enfoque del proyecto.
10. **Desarrollar legislación y políticas ambientales**, se refiere a que los resultados de la EIA son una base para generar normativa ambiental.

Para seleccionar una metodología se debe escoger el o los objetivos, entre los antes mencionados, que mayor relación tienen con el objetivo de estudio de la EIA.

Las metodologías que se sugieren emplear para cumplir los tres primeros objetivos son el ACV, Huella de Carbono, Huella de Agua, matriz de Leopold, matriz Battelle Columbus y matriz de Conesa Fernández, porque toda metodología logra cumplir estos objetivos. Se debe considerar que el ACV y la Huella de Agua son metodologías que superan lo requerido para el cumplimiento de la normativa ambiental, por lo que puede ser más sencillo emplear otras metodologías para cumplir este objetivo.

Si el objetivo se relaciona entre el 4 y 8 las metodologías que se sugiere emplear son el ACV, Huella de Carbono, y la Huella de Agua, ya que los resultados de estas metodologías reflejan valores que permiten identificar hotspots y potenciales impactos, con esta información el evaluador podrá detectar problemas y proponer acciones para cumplir los objetivos señalados.

Si el objetivo que se desea cumplir se relaciona a los dos últimos las metodologías que se sugiere emplear son el ACV, la Huella de Carbono y la Huella de Agua, ya que los resultados de éstas llegan a ser más apropiados y aceptados a nivel internacional para obtener certificaciones y desarrollar leyes y políticas.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que, los tres primeros objetivos son los más generales de una EIA. Los siguientes se pueden cumplir según como se plantee el proyecto; sin embargo, estos no suelen ser los más empleados. Los últimos dos objetivos llegan a ser un complemento a la EIA (Manfredi *et al.*, 2015; Nouri *et al.*, 2009).

3.1.2. Funcionalidad

3.1.2.1. *Flujos de evaluación*

Para evaluar los flujos del proyecto se debe considerar todas las entradas y salidas a lo largo de las etapas del ciclo de vida que se vayan a analizar en la EIA (Loiseau *et al.*, 2012), en este estudio se distinguieron los cinco flujos más significativos:

- **Flujo de energía**, es la energía que se incorpora y sale a lo largo del proyecto.
- **Flujo de materiales**, son todos los inputs de materia prima y outputs de productos o material.
- **Flujo de emisiones**, son las emisiones de gases y vapores que se expelen durante los procesos.
- **Flujo de agua**, es el agua que ingresa y se descarga en las diferentes etapas del proyecto.
- **Flujo de residuos**, son los residuos de todo tipo que se generan durante el proyecto.

La metodología que se recomienda emplear es el ACV ya que logra analizar los cinco flujos mencionados, al ser una metodología integral tiene la capacidad de realizar un análisis con entradas y salidas de diferentes datos según el objetivo del proyecto. La Huella de Carbono es una metodología sugerida para evaluar las emisiones de carbono y permite evaluar los flujos de energía, materiales, emisiones y residuos; sin embargo, esta no considera el flujo de agua. La Huella de Agua es una metodología recomendada para evaluar impactos al recurso hídrico y las actividades que lo degradan ya que analiza los flujos de agua y las emisiones atmosféricas que llegan al agua, esta no considera flujos de energía, materiales o residuos.

En cuanto a las matrices, éstas logran identificar entradas y salidas de acuerdo a lo que fueron desarrolladas y se pueden adaptar o modificar según los requerimientos de la evaluación; sin embargo, el nivel de detalle de la evaluación con respecto a los flujos de análisis no llega a ser tan específico como las anteriores, por lo que no es apropiada su implementación en caso de requerir una evaluación con mayor detalle y extensa. Se recomienda emplear la matriz de Leopold para analizar flujos de emisiones, agua y residuos ya que fue diseñada inicialmente para los impactos asociados con proyectos mineros. Se recomienda emplear la matriz de Battelle Columbus cuando se busque analizar los flujos de energía, emisiones y agua debido a que inicialmente se aplicó para gestión de recursos hídricos y supone mejores consideraciones en lo referente a estos flujos. Se recomienda utilizar la matriz de Conesa Fernández para evaluar flujos de energía, emisiones, agua y residuos.

Se debe considerar que se pueden emplear diferentes metodologías que evalúen diferentes flujos y luego complementar los resultados con otras metodologías. Es importante considerar que se prefieren las metodologías que logren cuantificar diferentes flujos que interactúan en una misma etapa y proceso como el ACV (Lavagna *et al.*, 2018; Rossi *et al.*, 2012; Blengini, 2009).

3.1.2.2. *Etapas de evaluación*

Para analizar las etapas del ciclo de vida se debe tener claro la o las etapas que son de interés para la evaluación. Se han definido las cinco principales etapas del ciclo de vida de un proyecto (Allacker *et al.*, 2014):

- **Extracción**, corresponde a todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas incluyendo su transporte.
- **Producción**, corresponde a las actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en el producto deseado y el traslado del producto final al cliente.
- **Uso**, se refiere a la utilización del producto a lo largo de su vida útil y su reutilización.
- **Mantenimiento**, se refiere a las actividades complementarias durante la vida útil para que el producto pueda mantenerse en buenas condiciones de uso.
- **Fin de vida**, son las actividades que se realizan después que el producto cumplió su función, aquí se incluye la gestión de residuos y el reciclaje.

Si se busca realizar un análisis integral de todo el ciclo de vida, las metodologías recomendadas son el ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua, ya que pueden evaluar todo el ciclo de vida del producto o por etapas diferenciadas. La Huella de Carbono se sugiere emplear para evaluar las emisiones de carbono a lo largo del ciclo de vida de un producto, proceso o actividad. La Huella de Agua es más sugerida de emplear para estimar los impactos por el uso y aprovechamiento del recurso hídrico a lo largo de las fases del ciclo de vida.

Las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández se sugieren emplear para evaluar las etapas de extracción, uso y fin de vida; sin embargo, son metodologías con la facilidad de modificarse y se pueden añadir criterios para analizar otras etapas. Es importante tomar en cuenta que su análisis no llega a ser tan detallado como el de las metodologías mencionadas anteriormente, por lo que puede no integrar todos los procesos, actividades, productos, flujos, etc. que se requieren en determinadas etapas.

Se recomienda contemplar todas o la mayor cantidad de etapas del ciclo de vida del proyecto para que la evaluación sea integral y los resultados sean más representativos acorde a la realidad (Garraín, 2015; Allacker *et al.*, 2014).

3.1.2.3. Límites del sistema

En la definición de límites del sistema se determinan qué procesos, flujos y etapas se incluirán o se excluirán en el análisis (Ihobe, 2009).

Se debe considerar que el ACV logra evaluar límites: de la cuna a la cuna, en los que el fin de vida del producto es el reciclaje o reutilización y se incluye nuevamente a la cadena de producción; de la cuna a la tumba, que empieza por la fase de extracción y termina en el fin de vida; de la cuna a la puerta, que considera desde la fase de obtención de materia prima y energía, hasta que el producto se encuentra en la planta para ingresar al mercado; de la puerta a la puerta, que incluye sólo procesos específicos que intervienen dentro del ciclo de vida. Por lo que es la metodología más recomendada cuando se desea evaluar cualquiera de los límites mencionados.

Las metodologías de las Huellas de Agua y de Carbono están sujetas a los límites del sistema que el evaluador haya definido; sin embargo, éstas no siempre logran evaluar límites muy extensos o que involucren otros aspectos para los que no fueron desarrolladas. Se sugiere emplear la Huella de Agua para proyectos o actividades con respecto al recurso hídrico, y la Huella de Carbono cuando se desea evaluar procesos o actividades con aprovechamiento de carbono o que generen emisiones de CO o CO₂.

Las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández no han sido desarrolladas bajo la lógica de establecer estos límites del sistema para la evaluación. Aunque puedan adecuarse para evaluar alguno de los límites mencionados, la matriz se puede volver muy extensa y de difícil comprensión, por lo que no son recomendables de emplear en caso de que se desee analizar alguno de los límites señalados.

Es importante considerar que realizar un análisis con límites más extensos, como el de la cuna a la cuna, permiten que la evaluación sea más representativa en términos del ciclo de vida y circularidad de un sistema. Los límites de puerta a puerta son aquellos que menos abarcan, pero si la evaluación es específica se recomienda emplear este tipo de límites y no extender la evaluación innecesariamente. Definir bien los límites del sistema evitará que la EIA se vuelva muy compleja o se excluyan aspectos interesantes (Manfredi *et al.*, 2015).

3.1.2.4. *Escala de evaluación*

Se refiere a la extensión o dimensión de la evaluación (Giama y Papadopoulos, 2015). En este estudio se definieron tres niveles:

- **Micro:** es la escala más pequeña de evaluación como un producto o procesos específicos. Por ejemplo: una botella, una edificación, consumo de energía de una maquinaria, etc.
- **Meso:** es la que analiza procesos extensos o conjunto de productos. Por ejemplo: paquete de botellas de diferente material, producción de un material, un conjunto habitacional, una zona urbana, etc.
- **Macro:** es la que evalúa servicios y organizaciones. Por ejemplo: servicio de alimentación, una ciudad, un país, etc.

Para realizar un análisis a escala micro se recomienda emplear las metodologías del ACV, Huella de Carbono, Huella de Agua, matriz de Leopold, matriz Battelle Columbus y matriz de Conesa Fernández, ya que todas logran realizar evaluaciones de productos o procesos.

Para un análisis a escalas meso y macro se recomienda emplear las metodologías del ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua, ya que estas metodologías son capaces de evaluar procesos extensos, conjuntos de productos, servicios y organizaciones.

Se debe considerar emplear una metodología que logre analizar el nivel de escala requerido, para ello es importante definir la escala según el proyecto que se vaya a evaluar (Giama y Papadopoulos, 2015).

3.1.2.5. *Enfoque de la metodología*

El enfoque de la metodología que se vaya a emplear dependerá de los objetivos que se desean cumplir y del tipo de evaluación que se vaya a realizar (Manfredi *et al.*, 2015). Los tres principales enfoques de la evaluación ambiental son:

- **Ciclo de vida**, que se refiere a realizar un análisis de todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto (Allacker *et al.*, 2014).
- **Sostenibilidad**, se refiere a que el proyecto aporte al equilibrio ambiental, económico y social que el principio busca (Allacker *et al.*, 2014).

- **Evaluación ambiental**, como el término lo dice busca realizar una evaluación del aspecto ambiental del proyecto (Loiseau *et al.*, 2012).

Para realizar una EIA con enfoque de ciclo de vida se recomienda el ACV y la Huella de Agua que son aquellas que siguen y se basan en la ISO 14 040.

Para realizar una EIA con enfoque de sostenibilidad se sugiere emplear el ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua, metodologías que se desarrollaron con el fin de apoyar a la sostenibilidad ambiental y cumplir los ODS.

En cuanto al enfoque de evaluación ambiental todas las metodologías se pueden emplear, pues este es el fin principal para el que se han desarrollado; sin embargo, se debe considerar que el análisis ambiental por medio de matrices como las de Leopold, Battelle Columbus o Conesa Fernández será principalmente una identificación, calificación y valoración de los potenciales efectos que generan las actividades de un proyecto, no llegan a realizar una evaluación de impactos con estimaciones y métricas de cálculo que estiman valores de impacto como las metodologías del ACV, Huella de Carbono o Huella de Agua (Allacker *et al.*, 2014; Loiseau *et al.*, 2012; Manfredi *et al.*, 2015).

3.1.2.6. Tipo de metodología

Para seleccionar un tipo de metodología se debe definir si el análisis es cualitativo, cuantitativo o mixto. Si el análisis busca obtener resultados descriptivos o textuales la metodología a emplear deberá ser cualitativa, si el análisis busca resultados numéricos con porcentajes y valores cuantificables la metodología deberá ser cuantitativa, o si se espera un análisis mixto la metodología debe ser tanto cualitativa como cuantitativa (Nouri *et al.*, 2009).

Para realizar un análisis cualitativo se sugiere emplear las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández ya que están pueden analizar datos que describen las cualidades o propiedades.

Para realizar análisis mixtos se sugiere el ACV, Huella de Agua, matriz Battelle Columbus y matriz Conesa Fernández, ya que éstas permiten realizar análisis tanto descriptivos como numéricos.

Para realizar análisis cuantitativos se recomienda emplear las metodologías del ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua porque son las más adecuadas en caso de que se desee realizar una evaluación con estimaciones numéricas.

Se debe considerar que las metodologías mixtas permiten abarcar tanto datos numéricos como descriptivos, de esta manera los resultados de la evaluación podrán ser más representativos y la EIA será más completa (Giama y Papadopoulos, 2015; Nouri *et al.*, 2009).

3.1.3. Usabilidad

3.1.3.1. *Compresión para el uso*

La compresión para el uso se refiere al esfuerzo que el usuario debe emplear para entender la metodología (Loiseau *et al.*, 2012). Para ello se definieron tres variables que analizan este aspecto:

- **Nivel de conocimiento requerido para el uso de la metodología**, este puede ser bajo (conocimiento sobre el proceso metodológico), medio (entendimiento de la metodología y los pasos a seguir), o alto (estudio a profundidad de la metodología, de donde parte y cuál es su lógica).
- **Nivel de complejidad de uso de la metodología**, este puede ser bajo (conlleva poco tiempo y se realizan procesos simples para generar resultados), media (conlleva tiempo moderado y se realizan procesos de complejidad media para generar resultados), alta (conlleva mucho tiempo y se realizan procesos complejos para generar resultados).
- **Disponibilidad de material que facilite el uso**, se refiere a si la metodología dispone de material de apoyo que facilite su entendimiento como un manual, guía, norma, artículos, libros, etc.

Para seleccionar una metodología según el nivel de comprensión, el evaluador deberá definir la complejidad del análisis y que tanto conoce sobre la metodología de interés, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

El ACV y Huella de Agua son metodologías que requieren un nivel de conocimiento elevado acerca de su proceso metodológico para poder ser implementadas, requieren mayor esfuerzo para su aprendizaje, son más complejas debido a la robustez de la evaluación, pero son metodologías con más desarrollo actualmente y cuentan con abundante material actualizado para entender su uso.

Por otra parte, la Huella de Carbono es una metodología que requiere un nivel medio para implementarla y es menos compleja al ser una versión simplificada con respecto a las otras dos mencionadas anteriormente, de igual manera cuenta con gran cantidad de material que facilita su uso.

En el caso de las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández, éstas son metodologías cuyo proceso metodológico es sencillo y de fácil comprensión, por lo que no requieren de gran esfuerzo para su comprensión; sin embargo, estas metodologías no se han actualizado y ya no se emplean mayormente a nivel internacional, además que no se recomiendan emplear para analizar sistemas complejos.

3.1.4. Confiabilidad

3.1.4.1. Confiabilidad de los datos

Para que los datos que se vayan a emplear en la EIA sean confiables y precisos la metodología debe plantear una serie de requisitos para analizar la calidad de los datos (Loiseau *et al.*, 2012), entre ellos:

- **Escala de datos de entrada**, se refiere a los datos que la metodología permite ingresar ya sean datos puntuales, locales, regionales o globales.
- **Requisitos de calidad de datos**, la metodología debe plantear una serie de requisitos para alcanzar una calificación general de buena calidad de datos de entrada, entre los requisitos que se proponen deben estar la fiabilidad, integridad, correlación temporal, correlación geográfica, y correlación tecnológica.

Las metodologías como el ACV y la Huella de Agua permiten ingresar datos de diferentes escalas y analizan la calidad de datos por medio de los requisitos mencionados, lo que representa mayor grado de confiabilidad en cuanto a los datos que emplean por lo que son las más recomendadas a utilizar.

Otra metodología recomendada es la Huella de Carbono; sin embargo, esta no permite datos de entrada puntuales ya que éstas emplean bases de datos desarrolladas, y no establece requisitos como la correlación temporal y tecnológica, por lo que la confiabilidad de sus datos disminuye.

Las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández no requieren un análisis de calidad de datos que se emplean, disminuyendo su nivel de confianza por lo que no son recomendadas para emplear.

Se sugiere usar una metodología que logre emplear datos puntuales o locales y que analice la fiabilidad e integridad de datos, de esta manera los datos serán más confiables y por lo tanto la EIA más acertada (Rodríguez *et al.*, 2019; Lozano, 2014; Manfredi *et al.*, 2015).

3.1.4.2. Confiabilidad de los resultados

Se refiere a la capacidad de la metodología para proporcionar resultados exactos, prácticos, inteligibles, con un mensaje claro y comprensible (Manfredi *et al.*, 2015). Para seleccionar una metodología que genere resultados confiables, se debe considerar:

- **Exactitud de los resultados**, se refiere a la incertidumbre de los resultados que arroja la metodología, puede ser baja, media o alta.
- **Disponibilidad de métodos de evaluación de incertidumbre**, son los métodos para evaluar la incertidumbre de los resultados que permite la metodología, como: un análisis de sensibilidad, cálculo de distribución estadística, comparación de resultados con literatura, etc.
- **Unidades de los resultados**, son las unidades con las que la metodología presenta los resultados, como: puntos (milipoints, ecopoints), emisiones o descargas, valores de impacto (magnitud, importancia, unidades de impacto).

Para obtener resultados con incertidumbre baja se recomienda emplear el ACV, pues es una metodología sistemática que utiliza datos de buena calidad y sigue un proceso riguroso, además los resultados se pueden analizar con diferentes métodos de evaluación de incertidumbre y las unidades se presentan en puntos, emisiones y descargas.

Las metodologías de Huella de Carbono y Huella de Agua también obtienen resultados con incertidumbres bajas, pero son menos recomendadas debido a que los resultados se presentan sólo con unidades de emisiones o descargas.

Las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández tienen un nivel muy alto de incertidumbre de los resultados ya que no analizan la calidad de datos que se emplean y su

proceso metodológico es mayormente subjetivo al criterio del evaluador, por lo que son metodologías con altas incertidumbres en sus resultados.

Se debe saber que una metodología tiene una incertidumbre baja si cumple con un proceso de selección de datos, un proceso metodológico sistemático, genera resultados acertados y adecuados al contexto (Rodríguez *et al.*, 2019; Manfredi *et al.*, 2015; Espíndola y Valderrama, 2012).

3.1.4.3. **Confiabilidad del proceso**

Es la capacidad del proceso metodológico para mantener un nivel adecuado de funcionamiento y generar los resultados deseados (ISO/IEC 9126). Para que un proceso metodológico sea confiable, se analizará:

- **Clasificación de datos**, se refiere a si la metodología permite una clasificación de datos automática, manual, o no permite una clasificación.
- **Categorización de impactos**, se refiere a si la metodología evalúa mediante categorías de impacto endpoint, midpoint.
- **Factores de impacto**, se refiere a si la metodología implementa factores de impacto como Potencial de Calentamiento Global (GWP), Potencial de Acidificación (AP), Potencial de Eutrofización (NP), etc.
- **Normalización de impactos**, se refiere a si la metodología cuenta con parámetros de normalización como kg. CO_{2eq}, kg. SO_{2eq}, kg. CFC_{11eq}, etc.

Si se busca realizar una EIA que siga un proceso metodológico más riguroso con todos los criterios mencionados se sugiere emplear el ACV y la Huella de Agua, pues éstas permiten realizar clasificación de datos manual o automática, incluyen diferentes categorías midpoint y endpoint, consideran diferentes factores de impacto y parámetros de normalización establecidos en normativas internacionales.

La metodología de la Huella de Carbono también sigue un proceso riguroso, pero únicamente analiza la categoría endpoint de calentamiento global y evalúa en kg. CO_{2eq}, por lo que se sugiere emplear para proyectos que generen emisiones de carbono y que busquen analizar solo este factor.

El proceso metodológico de las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández no sigue ninguno de estos criterios durante su proceso de análisis ya que son metodologías que principalmente logran identificar y valorar efectos en el ambiente, por lo que no es recomendable su implementación en caso de requerir un proceso de evaluación ambiental más riguroso.

Es importante considerar que un proceso metodológico sistemático y adecuado conlleva a que los resultados de la EIA sean más precisos y se relacionen con el verdadero impacto que se genera en el medio, por lo que se recomienda implementar metodologías cuyo proceso metodológico haya sido desarrollado por expertos y si es posible, cuente con normas de estandarización técnicas (Allacker *et al.*, 2014; Garraín, 2015).

3.1.4.4. Madurez de la metodología

Es la cualidad de la metodología que representa el nivel de desarrollo de esta (ISO/IEC 9126). Una metodología ha sido más desarrollada o “madura” cuando cuenta con:

- **Mejoras**, se refiere a si se han realizado mejoras a la metodología en los últimos 5 años ya sea en el proceso de evaluación para que este sea más exacto, en el manejo de información volviéndola más sistemática, o al formato y visualización de resultados para que estos sean más comprensibles.
- **Respaldo de instituciones**, se refiere a si la metodología cuenta con respaldo de instituciones renombradas entorno a la evaluación ambiental como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), Unión Europea (UE), Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), International Solid Waste Association (ISWA), International Association for Impact Assessment (IAIA).

Se recomienda emplear las metodologías del ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua, ya que son las que mayor desarrollo y robustez han tenido a pesar de que a comparación de otras sean las más nuevas, además que a nivel institucional son las más aceptadas.

Las metodologías más antiguas como la matriz de Leopold, matriz Battelle Columbus y matriz Conesa Fernández, no son muy recomendables ya que no han sido actualizadas, no presentan mejoras y ya no son empleadas a nivel internacional.

Se debe considerar que la metodología que se seleccione para la EIA influirá en el reconocimiento de las instituciones o pares, o si se deseen emplear los resultados para otros

proyectos o estudios de interés académico o gubernamental (Rodríguez *et al.*, 2019; Loiseau *et al.*, 2012).

3.1.5. Flexibilidad

3.1.5.1. *Aplicación multifuncional*

Es la capacidad de la metodología que permite evaluar diferentes aplicaciones sin cambiar el proceso metodológico (Espíndola y Valderrama, 2012).

En caso de requerir evaluar aplicaciones como procesos, productos, servicios y organizaciones se sugiere emplear las metodologías del ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua, ya que éstas tienen la capacidad de realizar análisis multifuncionales.

Las metodologías de las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández fueron desarrolladas para ser aplicadas en procesos y organizaciones, por lo que su capacidad es más limitada y no son muy sugeridas de implementar en análisis multifuncionales.

3.1.5.2. *Capacidad de cambios*

Es la capacidad de la metodología para que el evaluador pueda realizar cambios en el proceso de evaluación según el objetivo de estudio (ISO/IEC 9 126). Los principales cambios que un evaluador suele requerir son:

- **Realizar simplificaciones**, se refiere a si la metodología permite omitir ciertos pasos o procesos sin que esto afecte al proceso metodológico e igual genere los resultados deseados.
- **Agregar consideraciones propias o particulares**, se refiere a si la metodología permite que el evaluador adicione algún paso o proceso que considere necesario para realizar la evaluación.
- **Adaptarse a otros entornos**, se refiere a si la metodología puede adaptarse a otros contextos y regiones sin que afecte la incertidumbre de los resultados.
- **Complementarse con otra o varias metodologías**, se refiere a si la metodología puede utilizar un producto de otra metodología o generar algo útil para otra metodología, que favorezca a una evaluación más completa.

Si se desea emplear una metodología que permita realizar todos los cambios antes mencionados se sugiere las metodologías de la matriz de Leopold, matriz de Battelle Columbus y matriz de Conesa Fernández, pues son muy flexibles para el usuario.

Las metodologías del ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua sí permiten realizar algunos de los cambios mencionados, pero es preferible seguir el proceso metodológico establecido para evitar inconvenientes en los cálculos y durante la evaluación, por lo que es menos sugerido implementarlas en caso de requerir cambios significativos.

Se debe saber que, si una metodología tiene alta capacidad de cambios, es decir que puede realizar simplificaciones al proceso, agregar consideraciones propias, adaptarse a otros entornos o complementarse con otras metodologías, contribuye a que el evaluador pueda realizar adaptaciones en la metodología según los requerimientos u objetivos del estudio (Espíndola y Valderrama, 2012).

Consideración final

Metodologías más complejas como ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua tienen un proceso metodológico que permite elevar el nivel en la evaluación, al traducir las mediciones de la incidencia de una actividad en el ambiente a impactos, por medio de categorías de impacto. Este proceso implica cálculos matemáticos largos y para ello cuentan con software y acceso a bases de datos que facilitan el cálculo al realizar el proceso de manera automatizada (Manfredi *et al.*, 2015).

Se han desarrollado numerosos softwares especializados que permiten simplificar el análisis de impacto ambiental de ciertos sectores. Los softwares de las tres metodologías mencionadas cuentan con licencias de diversos tipos y cumplen las funciones que las metodologías requieren, logran realizar cálculos de complejidad alta y tienen medios de almacenamiento en la web y físicos. Algunos softwares tienen acceso libre y son de sencilla comprensión para el usuario (Bernstad, 2010).

Las bases de datos se utilizan cuando no se pueden medir todos los datos requeridos para la evaluación, entonces se emplean aproximaciones por medio de bases de datos. Las bases de datos de estas metodologías están disponibles, son accesibles y actuales para diferentes regiones. Es importante considerar que tener bases de datos locales es mejor para que los

resultados de la evaluación reflejen el efecto de los impactos en el medio (Giama y Papadopoulos, 2015; Espíndola y Valderrama, 2012).

APARTADO I

3.2. Lineamientos para seleccionar una metodología de EIA en la Construcción

En términos de EIA para la construcción, se definieron los potenciales impactos que se producen en las etapas del ciclo de vida de una edificación. Para seleccionar una metodología que evalúe los impactos ambientales producidos en cada etapa a lo largo del ciclo de vida, se debe analizar:

3.2.1. *Extracción, producción y transporte*

En esta etapa se abarcan todas las actividades necesarias para la extracción de las materias primas, el transporte previo a la producción, las actividades para convertir las materias primas y energía en los materiales deseados, y el traslado de los materiales para la siguiente etapa (Garraín, 2015; ISO 14 044, 2020).

Para evaluar esta etapa se recomienda utilizar la metodología del ACV, ya que puede evaluar todos los impactos producidos al analizar las 18 categorías de impacto.

La Huella de Agua evalúa 8 categorías de impacto con respecto al recurso hídrico como ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad terrestre, agotamiento de agua, etc., por lo que se sugiere emplear en caso de requerir evaluar actividades que afecten a este recurso. La Huella de Carbono se sugiere emplear para evaluar procesos como el consumo de combustibles fósiles, la producción de materiales de fuentes renovables y no renovables, etc., ya que está permite evaluar la categoría de impacto de calentamiento global.

Las metodologías de las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández se sugiere utilizar para analizar el consumo de energía eléctrica para la extracción de materia prima y producción de materiales y de combustibles para el transporte. Es importante saber que gracias a su flexibilidad el evaluador puede incluir más actividades que generan impacto según los requerimientos del análisis, pero éstas no evalúan con categorías de impacto, sino que identifican los potenciales efectos al ambiente generados por las actividades en esta etapa.

Para seleccionar una metodología se debe considerar que esta analice categorías de impacto como ecotoxicidad de agua dulce, agotamiento de recursos minerales y fósiles, ecotoxicidad terrestre y formación fotoquímica oxidante, ya que son categorías que mayor impacto contribuyen durante esta etapa. Estos impactos se producen principalmente debido a la extracción de materias primas y producción de materiales, por lo que se recomienda que la metodología logre analizar estas actividades (Lavagna *et al.*, 2018; Arboleda, 2008; Cotán-Pinto, 2007; Dellavedova, 2016; Hoxha *et al.*, 2020; Venegas, 2018).

3.2.2. Construcción

Esta etapa, así como indica su nombre, se centra en la construcción de la edificación. Incluye las actividades desde la adquisición de los materiales hasta cuando la edificación está lista para ser usada (ISO 14 044, 2020).

Para esta etapa las metodologías más recomendadas de implementar son el ACV y la matriz de Conesa Fernández, ya que ambas logran analizar todas las actividades que generan impactos. Otras metodologías con desempeño muy parecido son las matrices de Leopold y Battelle Columbus, pues permiten analizar la mayoría de las actividades que generan emisiones de polvo, material particulado, aerosoles y gases durante la construcción, uso y ocupación del suelo, y uso de agua, descargas y vertidos contaminantes, por lo que también son muy recomendadas de emplear para evaluar esta etapa. Pero se debe tomar en cuenta que el ACV evalúa los impactos por categorías, mientras que las matrices únicamente identifican y valoran las acciones que generan impacto.

La Huella de Agua es una metodología menos recomendada ya que se centra en la evaluación de los impactos al recurso hídrico y excluye categorías de impacto como agotamiento de recursos minerales y fósiles, ocupación de suelo, formación de material particulado, entre otras importantes en esta etapa. La Huella de Carbono analiza sólo la categoría de calentamiento global por lo que se sugiere emplear para evaluar sólo el consumo energético y de combustibles durante la construcción y la emisión de gases durante esta etapa.

Se debe tomar en cuenta que durante esta etapa se presentan la mayor cantidad de impactos a lo largo del ciclo de vida. Las actividades que más contribuyen al impacto ambiental de esta etapa son la emisión de polvo, material particulado, aerosoles y gases, y el uso y ocupación de suelo durante la construcción de la edificación, que aportan a categorías de impacto como ecotoxicidad

de agua dulce, ecotoxicidad terrestre, toxicidad humana, y formación fotoquímica oxidante. Por lo tanto, la metodología que se seleccione debe ser capaz de analizar las actividades o evaluar las categorías de impacto mencionadas (Lavagna *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2011; Núñez, 2019; Conesa, 2010; Wallhagen *et al.*, 2011; Zabalza *et al.*, 2009).

3.2.3. Uso

La etapa de uso se define desde que la edificación empieza a ser usada por el usuario hasta que llega al final de su vida útil (ISO 14 044, 2020). En esta etapa se excluyen procesos de mantenimiento o cambios a gran escala de la edificación, como cambios de fachada, movimiento o desarme de estructuras, reemplazo de techos y pisos, etc.

La metodología que se sugiere emplear es el ACV, ya que incluye todas las categorías de impacto y permite evaluar todas las actividades que generan impactos durante la etapa.

Las metodologías que se recomiendan usar para identificar y valorar las acciones que generan impacto en esta etapa son las matrices de Conesa Fernández, Battelle Columbus y Leopold que logran analizar la mayoría de las actividades como consumo energético, consumo de agua, uso y ocupación del suelo, que son las acciones que efecto generan durante esta etapa.

La Huella de Agua no incluye análisis energético, por lo que no es muy recomendable su implementación pues el flujo de energía eléctrica es el que mayor impacto produce durante esta etapa. La Huella de Carbono logra analizar el consumo energético y generación de residuos; sin embargo, es menos recomendable de emplear ya que no evalúa categorías de impacto importes como agotamiento de agua, ocupación del suelo, eutrofización, etc.

Es importante saber que durante esta etapa las categorías de impacto que más contribuyen son la de calentamiento global, agotamiento de agua, radiación ionizante, agotamiento de ozono y eutrofización de agua dulce, debido a actividades como el consumo de energía eléctrica y agua durante el uso de la edificación. Por lo que se recomienda que la metodología que se seleccione analice estas actividades o evalúe las categorías de impacto mencionadas (Lavagna *et al.*, 2018; Ponce, 2009; Abril y Rodríguez, 2013; Camacho, 2015; Rossi *et al.*, 2012; Gustavsson y Joelsson, 2010).

3.2.4. Mantenimiento

Esta etapa incluye las actividades complementarias durante la vida útil para que la edificación pueda mantenerse en buenas condiciones de uso, como cambios de fachada, techo, pisos, movimientos o desarme de estructuras, etc. (ISO 14 044, 2020; Lavagna *et al.*, 2018).

El ACV es una metodología recomendada de emplear en esta etapa ya que logra evaluar todos los impactos producidos en esta.

Las metodologías de la matriz de Conesa Fernández, matriz de Leopold y matriz Battelle Columbus también se pueden emplear para analizar actividades como el consumo energético, descargas y vertidos de agua contaminada, y generación de residuos de materiales, pero se debe tomar en cuenta que éstas solo identifican y valoran las actividades que generan potenciales efectos en el medio, no evalúan con métricas de impacto ambiental.

La Huella de Agua es una metodología recomendable para analizar únicamente los impactos producidos al recurso hídrico, ya que analiza categorías como acidificación, ecotoxicidad, toxicidad humana, etc. Mientras que la Huella de Carbono se recomienda emplear para analizar el consumo energético y generación de residuos de materiales durante esta etapa, ya que permite evaluar la categoría de calentamiento global.

En esta etapa la generación de residuos de materiales y las descargas y vertidos de agua contaminada durante el mantenimiento son actividades que mayor impacto producen, el cual se refleja en categorías de impacto como agotamiento de recursos minerales y fósiles, acidificación terrestre, ocupación de suelo y ecotoxicidad de agua dulce. Esto se debe tomar en cuenta para seleccionar una metodología que permita analizar las actividades o evaluar las categorías mencionadas, además se debe considerar que algunas metodologías incluyen la etapa de mantenimiento en la etapa de uso (Rossi *et al.*, 2012; Maysson *et al.*, 2019; Dellavedova, 2016; Chuquimarca, 2016; Echeverry, 2020; Ortiz *et al.*, 2018).

3.2.5. Fin de vida

Esta es la última etapa del ciclo de vida y comienza una vez que la edificación ha culminado su vida útil, se incluyen actividades como la demolición, reutilización de materiales, gestión de residuos, reciclaje, etc. (ISO 14 044, 2020).

En esta etapa se sugiere emplear el ACV ya que logra evaluar todos los impactos producidos por medio de varias categorías de impacto, por lo que su implementación es muy recomendada. Las metodologías de las matrices de Conesa Fernández, de Battelle Columbus y de Leopold permiten

valorar las actividades que generan gran impacto en esta etapa como las emisiones producidas al aire durante la demolición y la generación de escombros.

La metodología de la Huella de Agua es poco recomendable de emplear ya que analiza las categorías de impacto relacionadas al agua, recurso que puede no degradarse en gran medida durante esta etapa. La metodología de la Huella de Carbono se recomienda emplear según el fin de vida que se le dé a la edificación y si esto genera emisiones de carbono.

Las actividades que generan mayor impacto durante esta etapa son la emisión de polvo, material particulado, aerosoles y gases, y la generación de escombros durante la demolición, que aportan a categorías de impacto como ecotoxicidad y formación de material particulado. El impacto generado durante esta etapa puede aumentar o disminuir según la gestión de los escombros de demolición. De igual manera la reutilización de estructuras reduce impactos por evitar la extracción de materias primas y por la actividad de construcción, por lo que se recomienda que se empleen metodologías que impulsen prácticas sostenibles en especial durante esta etapa para reducir los impactos generados (Rossi *et al.*, 2012; Gerbens-Leenes *et al.*, 2018; Arboleda, 2008; Trigaux *et al.*, 2017; Bernstad, 2010).

4.4. Validación de lineamientos

A continuación, se presentan los resultados de la validación de los lineamientos propuestos en este estudio. Revisar la matriz de validación de lineamiento en el Anexo 5 para ver los resultados con mayor detalle. En la Tabla 11 se muestra la cantidad de expertos que estuvieron de acuerdo con el lineamiento establecido, el nivel de acuerdo alcanzado, y un resumen de las principales observaciones generadas durante las rondas de consulta.

Tabla 11

Nivel de acuerdo de expertos con los lineamientos establecidos.

LINEAMIENTO	ACUERDO	OBSERVACIONES MÁS DESTACADAS DADAS POR LOS EXPERTOS
UTILIDAD		
<i>Objetivo</i>		
Lineamiento 1	75 %	El ACV puede llegar a tener un proceso muy complicado para cumplir algunos de los objetivos, como el de cumplimiento de normativa ambiental.
Lineamiento 2	75 %	Es importante saber que la metodología no cumple directamente algunos de estos objetivos, sino que aporta insumos para que el evaluador tome decisiones para que

		se puedan cumplir los objetivos del estudio.
Lineamiento 3	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
FUNCIONALIDAD		
<i>Flujos de evaluación</i>		
Lineamiento 4	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 5	75 %	La capacidad de las matrices para modificarse según las necesidades le da la posibilidad de analizar los flujos que el evaluador requiera.
<i>Etapas de evaluación</i>		
Lineamiento 6	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 7	75 %	Las matrices son muy flexibles por lo que se puede incorporar criterios para evaluar otros procesos o etapas.
<i>Límites de evaluación</i>		
Lineamiento 8	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 9	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 10	75 %	Las matrices tienen la capacidad de ajustarse a los límites del sistema que establezca el evaluador.
<i>Escala de evaluación</i>		
Lineamiento 11	75 %	Para establecer una escala de evaluación lo importante es definir una unidad funcional que sea medible a escala micro, y esta se pueda proyectar a mayores escalas como meso y macro. Ingresar datos a nivel meso o macro puede volverse complicado.
Lineamiento 12	75 %	
<i>Enfoque de la metodología</i>		
Lineamiento 13	75 %	Las metodologías con enfoque de sostenibilidad deberían también evaluar aspectos sociales y económicos.
Lineamiento 14	75 %	
Lineamiento 15	75 %	
<i>Tipo de metodología</i>		
Lineamiento 16	75 %	Las metodologías de las matrices permiten realizar análisis de aspectos cualitativos, pero no son las idóneas para hacerlo.
Lineamiento 17	75 %	Se debe conocer que el ACV no entrega resultados cualitativos, el evaluador es quien otorga las cualidades según los valores arrojados.
Lineamiento 18	75 %	Las metodologías de las matrices también son cualitativas; sin embargo, son menos recomendadas que otras metodologías.
USABILIDAD		
<i>Comprensión para el uso</i>		
Lineamiento 19	75 %	El evaluador emplea una metodología según su nivel de conocimiento, más no según el nivel de esfuerzo que la metodología requiera.
Lineamiento 20	75 %	Las matrices también podrían evaluar sistemas complejos o ser metodologías complejas según como éstas se utilicen; sin embargo, no es recomendable.
Lineamiento 21	75 %	Las metodologías del ACV y las Huellas pueden tener mucho material para facilitar su uso, pero esto no representa que su comprensión sea más sencilla.
CONFIABILIDAD		
<i>Confiabilidad de los datos</i>		
Lineamiento 22	75 %	Las metodologías de las matrices no requieren un proceso de análisis de los datos de ingreso, el evaluador es quién deberá verificar que los datos para estas metodologías sean confiables y correctos.
Lineamiento 23	75 %	
Lineamiento 24	75 %	
<i>Confiabilidad de los resultados</i>		
Lineamiento 25	75 %	El grado de incertidumbre de los resultados que arrojan las metodologías se calculará según el análisis que requiera el evaluador; sin embargo, esta disminuye si desde un inicio los datos que se ingresan son correctos y el proceso de cálculo es preciso.
Lineamiento 26	100 %	
Lineamiento 27	75 %	

<i>Confiabilidad del proceso</i>		
Lineamiento 28	75 %	El proceso metodológico de las matrices no ha sido planteado bajo la misma lógica de utilizar categorías o factores de impacto, pero ello no indica que su proceso de valoración sea menos confiable.
Lineamiento 29	75 %	
Lineamiento 30	75 %	
<i>Madurez de la metodología</i>		
Lineamiento 31	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 32	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
FLEXIBILIDAD		
<i>Aplicación multifuncional</i>		
Lineamiento 33	75 %	Todas las metodologías pueden emplearse para diferentes funciones; sin embargo, las matrices se volverían muy complejas por lo que no se sugiere.
Lineamiento 34	75 %	
<i>Capacidad de cambios</i>		
Lineamiento 35	75 %	Para que una metodología pueda complementarse con otra éstas deberían arrojar los resultados en las mismas unidades para que esto sea factible.
Lineamiento 36	75 %	
APARTADO – CONSTRUCCIÓN		
<i>Extracción, producción y transporte</i>		
Lineamiento 37	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 38	67 %	Las huellas son específicas para un recurso por lo que no podrían evaluar todos los impactos en esta etapa.
Lineamiento 39	100 %	El evaluador puede modificar la matriz para analizar según los requerimientos, por lo que sí se podrían emplear para medir los impactos producidos durante esta etapa.
<i>Construcción</i>		
Lineamiento 40	67 %	Todas las metodologías son capaces de evaluar los impactos producidos en esta etapa, pero se debe considerar que las Huellas analiza sólo un recurso.
Lineamiento 41	67 %	
<i>Uso</i>		
Lineamiento 42	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 43	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 44	100 %	Es importante que se realice un análisis del flujo energético, pues es el recurso que más se utiliza a lo largo de esta etapa.
<i>Mantenimiento</i>		
Lineamiento 45	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 46	67 %	Las matrices y las huellas consideran esta etapa dentro de la etapa de uso. Es importante que esta se tome en cuenta en los análisis.
Lineamiento 47	100 %	
<i>Fin de vida</i>		
Lineamiento 48	100 %	Todos los expertos estuvieron muy de acuerdo con lo establecido.
Lineamiento 49	100 %	Es fundamental que en esta etapa se analicen los impactos producidos por la cantidad de escombros producidos y la gestión de estos.
Lineamiento 50	67 %	

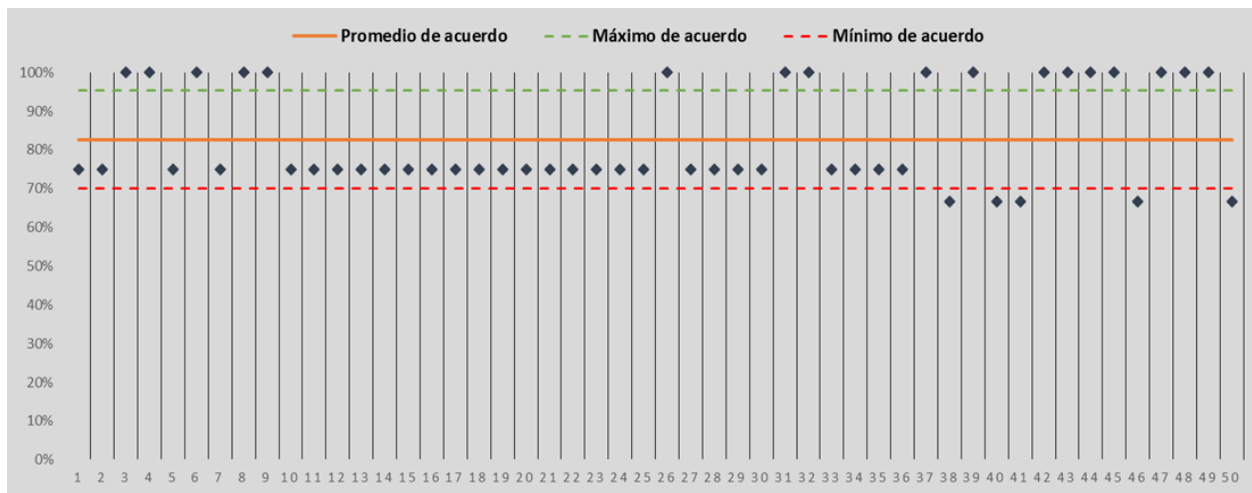
Con el porcentaje de expertos que estuvieron de acuerdo con los lineamientos propuestos, se calculó la media estadística cuyo resultado fue del 83 %. Además, se calculó la desviación típica para evaluar qué tan alejadas están las opiniones del promedio. El valor obtenido fue de 0,13 de desviación, este valor bajo representa que las opiniones de los expertos rondaron cerca del promedio, fueron muy parecidas entre sí, y estuvieron de acuerdo con los lineamientos propuestos.

En la Figura 8 se representa la desviación estándar calculada. Se pudo apreciar que la mayoría de las opiniones obtenidas estuvieron dentro del límite máximo y mínimo de acuerdo, y las opiniones que estuvieron por fuera de los límites no tuvieron mucha distancia de estos.

Con estos resultados se puede deducir que los lineamientos propuestos sección 4.3. fueron valederos ya que tuvieron una aceptación mayor al 80 %. Por medio de este proceso de validación se verificó, según el criterio de expertos, que los lineamientos pueden ser aplicables y muchos de ellos son relevantes para la selección de una metodología de evaluación ambiental. Ninguno de los lineamientos fue objetado en su totalidad, y los comentarios y sugerencias dadas fueron mayormente en la redacción buscando dar mayor claridad al lineamiento, los cuales fueron acotados y se presentan en los lineamientos establecidos. Finalmente, se realizó una última revisión en la cual se concluyó que los lineamientos propuestos son aceptados por los expertos.

Figura 8

Media y desviación estándar de opiniones de expertos en la validación



5. DISCUSIÓN

En la actualidad la relevancia de realizar una evaluación de impactos ambientales adecuada se vuelve fundamental debido a la gran crisis ambiental en la que nos vemos involucrados a nivel mundial (Pinto y Martín, 2012). En el presente estudio se realizó un análisis comparativo de metodologías de Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) con énfasis especial en el sector de la construcción, cuyo fin fue establecer lineamientos que faciliten al evaluador la selección de una metodología de evaluación de impactos ambientales apropiada. Los resultados mostraron que metodologías como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), la Huella de Carbono y la Huella de Agua proveen mejores resultados de evaluación. Como menciona Colón y Arena (2016), éstas son metodologías modernas que permiten asociar las actividades al impacto real producido en el ambiente, dando información para tomar una decisión que incida en reducir los impactos. Por otro parte, metodologías como las matrices de Leopold, Battelle Columbus, y Conesa Fernández no obtuvieron los desempeños óptimos coincidiendo con lo expresado por Ligrone (2017), quien menciona que realizar una evaluación con este tipo de metodologías de identificación de actividades impactantes, no permite plantear alternativas para mejorar las prácticas ambientales, por lo que se han vuelto obsoletas en países que dirigen su toma de decisiones a reducir los impactos.

En el presente estudio se evidenció que existen cinco criterios que permiten analizar metodologías de EIA como la utilidad, funcionalidad, usabilidad, confiabilidad, y flexibilidad. Estos criterios permiten realizar un análisis que abarca todo el desempeño de las metodologías de acuerdo con diferentes aspectos. En la norma ISO/IEC 9 126 de Evaluación de calidad de un producto software, se menciona que criterios como la funcionalidad, confiabilidad y usabilidad, son importantes de considerar ya que por medio de ellos se analizan las funciones y cómo éstas se aplican para cumplir los requerimientos, permiten evaluar el esfuerzo que se debe emplear para entender y manejar una metodología, y si su proceso metodológico es adecuado para generar resultados confiables. Al realizar el análisis en este estudio se evidenció que la utilidad y la flexibilidad son otros criterios a considerar, debido a que en primera instancia una metodología debe cumplir con el objetivo del estudio y en ocasiones será necesario que esta se pueda adaptar al contexto de estudio.

En estudio de Manfredi *et al.* (2015), sugiere que una adecuada metodología de EIA debe cumplir el objetivo principal de identificación y valoración de impactos. Loiseau *et al.* (2012), y Garraín

(2015), sugieren que la EIA debe procurar evaluar todas las entradas y salidas a lo largo de las etapas del ciclo de vida y mientras más etapas pueda analizar la evaluación será más integral. Espíndola y Valderrama (2012), recomienda que una metodología de EIA debe procurar utilizar datos de la zona de estudio para que los resultados lleguen a ser cercanos a la realidad. Además, en el Art. 5 del libro VI del TULSMA del Ecuador, se establece que la información para valoración ambiental debe ser nacional.

En este contexto, los resultados del presente estudio mostraron que metodologías como el ACV, Huella de Agua y Huella de Carbono resaltan como las metodologías más apropiadas para la EIA. Éstas siguen un proceso metodológico más riguroso, han sido desarrolladas para analizar sistemas complejos en donde se involucran todas las etapas y actividades a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, evalúan por medio de categorías y métricas de impacto, siguen un proceso de evaluación preciso y por pasos, y son metodologías actualizadas que cuentan con el respaldo de instituciones renombradas a nivel internacional, coincidiendo con lo señalado en los estudios de Rossi *et al.* (2012) y Colón y Arena (2016). Actualmente, estas metodologías son las más populares en cuanto a evaluación de impactos en varios países alrededor del mundo como Reino Unido, Alemania, Estados Unidos, Japón, etc., que las emplean por las características mencionadas (Rodríguez *et al.*, 2019). Además, muchas políticas internacionales se basan en ellas, como las normas de estandarización ISO, los reglamentos de la unión europea UNE-EN, directrices de las naciones unidas como los ODS-2030, las normas del instituto británico de estandarización PAS, entre otros.

En este estudio se logró identificar que el ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua logran realizar evaluación de impactos por medio de métricas que calculan el impacto producido y representan los resultados con factores de impacto que muestran valores de la cantidad real de impacto que produce el proyecto. Las normas ISO 14 044, ISO 14 046 e ISO 14 064 disponen que los resultados de las evaluaciones de estas metodologías se presenten en factores como el calentamiento global, agotamiento de recursos, toxicidad humana, eutrofización, y más. Además, señalan que los impactos calculados deben estar asociados a métricas internacionales para su cuantificación como $\text{kg}_{\text{eq. CO}_2}$, $\text{kg}_{\text{eq. CFC-11}}$, Unidad Tóxica Comparativa para las personas, kg , déficit de uso de suelo, entre otras, empleadas como parámetros mundiales que cuantifican el aumento o la reducción de impactos. Adicionalmente, según el estudio de Martínez *et al.* (2011), metodologías como éstas cuentan con softwares especializados y bases de datos desarrolladas de diferentes localidades que contribuyen a la eficacia de implementación de la evaluación. Estos

son un atributo adicional que apoyan a que la ejecución de la evaluación sea automatizada, con mayor exactitud y permiten realizar cálculos de sistemas complejos o a gran escala.

Adicionalmente, los resultados mostraron que para la implementación de una metodología no es necesario escoger una única, sino que las diferentes metodologías pueden presentar ventajas de acuerdo al objetivo y se pueden complementar entre sí. Como menciona el estudio de Espíndola y Valderrama (2012), todas las metodologías llegan a ser adaptables y una puede contribuir a la otra, con datos y resultados que pueden ser insumos, por ejemplo, las emisiones de CO₂ que una actividad genera calculadas con la Huella de Carbono puede ser el punto de partida para un Análisis de Ciclo de Vida de dicha actividad.

Por otra parte, los resultados mostraron que al comparar las metodologías de las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández con metodologías más modernas y con procesos metodológicos más robustos, éstas presentan algunas desventajas con respecto a la evaluación ambiental como que no son idóneas para evaluar todos los flujos y etapas de un proyecto, no tienen un enfoque de ciclo de vida o sostenibilidad, no emplean categorías o factores de impactos, y no llegan a realizar una evaluación de impactos sino únicamente identifican y valoran las actividades que producen impactos. Como menciona el estudio de Maysson *et al.* (2019), las metodologías de las matrices fueron desarrolladas hace más de 50 años para diferentes usos, la matriz de Leopold está asociada a proyectos mineros, la matriz Battelle Columbus a la gestión de recursos hídricos, la matriz de Conesa Fernández analiza a través de interacciones causa - efecto de las actividades identificadas, éstas se han ido modificando y adaptando según los requerimientos del proyecto y el evaluador.

El estudio permitió reconocer que las metodologías de las matrices logran identificar y valorar las actividades impactantes, al otorgar valores de importancia y magnitud a acciones que producen potenciales efectos en un componente ambiental. Por medio de ecuaciones aritméticas suman los valores para obtener la incidencia del proyecto; sin embargo, no llegan a realizar una evaluación o cálculo del impacto producido en el medio. Como señalan los estudios de Pérez (2017) y Proaño (2012), cuando surgió el concepto de la evaluación ambiental en la década de los 70, las matrices tuvieron gran aceptación y fueron populares en diversos países como Canadá, Alemania y Francia, pero en la actualidad han quedado atrás por no generar resultados que representen el verdadero impacto que se produce ya que éstas solo llegan a identificar y valorar las actividades que generan impactos.

De acuerdo con Loiseau *et al.* (2012), en términos generales un evaluador va a preferir una metodología de EIA que sea sencilla de comprender, fácil de implementar, que los resultados se representen en unidades comprensibles para los usuarios y que el proceso de análisis conlleve poco tiempo para obtener los objetivos. Además, Giama y Papadopoulos (2015), mencionan que serán de mayor uso metodologías que se pueda aplicar a diferentes entornos y se pueda adaptar según las consideraciones del proyecto y requerimientos del evaluador. Arboleda (2008), señala que muchas veces la complejidad de las metodologías empleadas orienta al evaluador a usar métodos más simplificados como las matrices; sin embargo, se debe tomar en cuenta que, a pesar de su sencillez y flexibilidad, éstas no llegan a medir el verdadero impacto sino han sido desarrolladas para identificar y valorar las actividades que generan potenciales efectos en factores ambientales. Ligrone (2017), explica que el proceso metodológico de las matrices es limitado y puede ser subjetivo al criterio del evaluador.

En el marco ambiental legislativo del Ecuador el art. 33 del Libro VI del TULSMA y el art. 179 del Código Orgánico del Ambiente establecen que los estudios ambientales deberán cubrir todas las fases del ciclo de vida de un proyecto, obra o actividad, el título II de Código Orgánico del Ambiente habla sobre la adaptación y mitigación del cambio climático en donde se menciona que se deben realizar cuantificaciones de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, se cuenta con normativa sobre la calidad del recurso hídrico que trata sobre el uso y aprovechamiento del agua. Llama la atención que en el Ecuador se sigan aceptando EIA ejecutadas a través de matrices, pese a que en las últimas décadas el país ha tratado de realizar una gestión y control ambiental más riguroso, presentando normativas y promoviendo incentivos ambientales para desarrollar proyectos con mejor desempeño ambiental. Es deber de las instituciones de regulación ambiental y de las autoridades del Ecuador dar paso a una correcta evaluación ambiental de actividades o proyectos por medio de herramientas que representen el verdadero impacto que se genera y que son aceptadas a nivel internacional, para así mejorar las prácticas ambientales dentro del país.

Con respecto a la construcción, según el Módulo Ambiental de Encuesta Estructural Empresarial (ENESEM), del total de impacto ambiental generado por las actividades económicas en 2016, 2017 y 2018, la construcción fue la tercera que mayor impacto generó los tres años con alrededor de 6 % de impacto generado cada año. (INEC, 2019, 2020). A nivel nacional no se ha establecido una metodología específica que permita calcular y evaluar los impactos que las actividades del sector de la construcción generan y que cumpla con los requisitos establecidos en la normativa. En términos de evaluación ambiental, un evaluador se acata a cumplir un Plan de Manejo

Ambiental para el proyecto, el mismo que está contenido por las evaluaciones de impacto ambiental, y es un requerimiento técnico previo al otorgamiento de permisos ambientales. En ninguna sección o reglamento se menciona que metodología para evaluación ambiental se debe emplear ni un proceso estandarizado para su aplicación.

Debido a ello se tomó como caso de estudio la construcción y se realizó la comparación de metodologías de EIA para este sector. Los resultados mostraron que el ACV es la metodología más idónea de emplear debido a que evalúa todos los impactos a lo largo de las etapas del ciclo de vida de una edificación. Metodologías como las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández también se pueden emplear; sin embargo, muchas de las veces éstas tendrán que ser adaptadas y modificadas para poder incluir todas las etapas, lo que puede volverlas muy extensas y de difícil comprensión, además que no llegan a evaluar impactos sino a identificar y valorar actividades o procesos que generan potenciales impactos. La Huella de Agua tiene un desempeño menor debido a que evalúa únicamente los impactos relacionados al recurso hídrico, sin tomar en cuenta muchos otros recursos que intervienen en el ciclo de vida de una edificación. La Huella de Carbono presenta el desempeño más bajo ya que analiza únicamente la categoría de impacto de calentamiento global al evaluar solo las actividades relacionadas al consumo y emisiones de carbono.

Lavagna *et al.* (2018) y Rossi *et al.* (2012), mencionan que en una EIA de edificaciones es importante analizar actividades como el consumo energético y de agua durante la etapa de uso, el consumo de energía para la producción de materiales como acero, concreto, cerámica y ladrillo, la emisión de polvo, material particulado, aerosoles y gases durante la construcción, y la gestión de residuos y escombros. Estas actividades aportan a categorías de impacto como calentamiento global, agotamiento de agua, ecotoxicidad, agotamiento de recursos minerales y fósiles, acidificación y eutrofización., y se desarrollan a lo largo del ciclo de vida de la edificación por lo que es importante que se analicen todas las etapas. Además, que la evaluación no debe quedar solo en un análisis de las actividades sino también de los impactos que se producen por medio de métricas de las categorías de impacto señaladas.

Metodologías como el ACV, Huella de Agua y Huella de Carbono permiten una evaluación más adecuada en el sector de la construcción porque, además que éstas pueden analizar todas las etapas del ciclo de vida, emplean categorías de impacto en su evaluación que permiten valorar los impactos producidos por las actividades que la literatura menciona que son importantes a

analizar. Las metodologías como las matrices no permiten un análisis de los impactos ambientales que se genera por las edificaciones, sino que realizan una identificación de las actividades que generan efectos al ambiente y valoración de la importancia o magnitud de estos, por ello no es recomendable su implementación para la evaluación de impactos ambientales de edificaciones.

En el estudio de Quesada *et al.* (2017), menciona que a nivel mundial se han desarrollado diversos métodos de Evaluación Sustentable de la Edificación (BSA) con el objetivo de reducir el impacto negativo y promover las prácticas sustentables en todas las etapas del ciclo de vida de la edificación. Estos apuntan hacia un urbanismo sustentable y poseen el concepto de ciclo de vida, utilizando indicadores que miden directa o indirectamente parámetros como consumo de recursos, presión ambiental, eficiencia energética y del agua, calidad del aire interior, confort, impactos del ciclo de vida, etc. (Bragança *et al.*, 2010). Según Markelj *et al.* (2013), estos métodos emplean el ACV, la Huella de Carbono y la Huella de Agua para realizar las evaluaciones ambientales de los edificios debido a que estas metodologías emplean métricas que permiten evaluar los impactos que se producen, por lo que a nivel mundial éstas tienen gran peso al momento de evaluar los impactos ambientales de edificaciones.

En Ecuador, los capítulos de Eficiencia Energética y Energías Renovables de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), están orientados a reducir los impactos ambientales generados en edificaciones. Estos capítulos se centran en cumplir requerimientos normativos propuestos de manera que las edificaciones garanticen un desempeño energéticamente eficiente, volviéndose este el punto de inicio de la regulación y gestión ambiental de las edificaciones en el país (MIDUVI, 2018, 2020). Sin embargo, actualmente se ejecutan gran cantidad de proyectos y actividades relacionadas a la construcción de edificaciones para los cuales no se considera esta normativa y muy pocas apuntan hacia mejorar sus prácticas ambientales y llegar a la sostenibilidad que se busca alcanzar a nivel mundial.

Finalmente, se tomaron los resultados del análisis comparativo de este estudio y se desarrollaron lineamientos que apoyen al evaluador para seleccionar una metodología adecuada, para realizar una evaluación ambiental que analice los impactos ambientales de un proyecto. Como se muestra en las normas de estandarización de la Organización Internacional de Normalización (ISO), éstas son un modelo de lineamientos o pautas que guían para el cumplimiento de calidad, eficiencia y seguridad con relación a las áreas y actividades concretas en que se desarrollan. El

fin de éstas es apoyar para la toma de decisiones informadas encaminadas a un área en específico.

Díaz *et al.* (2019) y Galicia *et al.* (2017), mencionan que seguir lineamientos que direccionen el proceso en la toma de decisiones informadas, contribuye a que éstas lleguen a ser más adecuadas, y que conocer y considerar las opiniones y experiencias de expertos del área sobre el cual se desarrollan asegura que puedan ser aplicadas. Es importante que los evaluadores tengan orientación para tomar decisiones informadas, en este aspecto los lineamientos planteados en este estudio contribuyen a fortalecer una mejor toma de decisiones y a mejorar la evaluación ambiental. Los lineamientos propuestos recomiendan las metodologías más adecuadas de implementar considerando diferentes criterios y tomando en cuenta las opiniones de expertos. De esta manera, estos permiten que los evaluadores puedan seleccionar una metodología para realizar una evaluación ambiental más acertada y con mayor seguridad de que el proceso de análisis generará los resultados correctos.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas en el presente estudio fueron:

- Un análisis comparativo puede ser un reto metodológico pues sigue una serie de pasos para lograr clasificar elementos según un orden y utilizar los resultados para construir una decisión. Después de haber definido un conjunto de elementos a comparar, el proceso requiere un detallado análisis teórico para seleccionar los criterios y subcriterios de comparación, las variables que estos contendrán para que puedan ser medidos con mayor facilidad, la jerarquía de estos aspectos en el análisis y los indicadores que calificarán los elementos. A través de ello, es posible armar un primer esquema de comparación en el que se pueda verificar, con la ayuda de expertos, que los criterios y variables seleccionados, y los pesos otorgados son los adecuados para producir un análisis acertado. Adicionalmente, se deben conocer las características de los elementos a comparar y de esta manera proceder al análisis comparativo y calificar a los elementos según cada criterio. De esta manera, se podrá tomar decisiones según el elemento considerado como el mejor.
- La metodología más recomendada internacionalmente para realizar evaluación de impactos ambientales es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), debido a su capacidad de

analizar sistemas complejos, evaluar todas las etapas y los impactos ambientales que se involucran en el ciclo de vida de un proyecto, generar resultados con métricas estandarizadas, y contar con varias herramientas de software y bases de datos de diferentes regiones para su implementación.

- La Huella de Agua y Huella de Carbono también son metodologías muy empleadas al ser una versión simplificada del ACV, éstas evalúan una menor cantidad de categorías de impacto, las cuales se relacionan con el recurso hídrico y las emisiones de carbono respectivamente. Sus resultados se presentan en métricas relacionadas a su objetivo de evaluación y también cuentan con softwares y bases de datos para su aplicación.
- La normativa ecuatoriana no menciona el empleo de alguna metodología específica para la evaluación de impactos ambientales; sin embargo, las más utilizadas son las matrices, entre ellas la matriz de Leopold, matriz Battelle Columbus, y matriz Conesa Fernández, debido a que analizan criterios relacionados a los que requiere la normativa y éstas logran modificarse y adaptarse a las necesidades de evaluación.
- El desempeño de una metodología puede ser evaluado por medio de cinco criterios que consideran diferentes características. La utilidad es uno de los criterios más importantes de analizar ya que en primera instancia el evaluador va a requerir que una metodología pueda cumplir con el objetivo del estudio. Otros criterios a tomar en cuenta son la funcionalidad y la usabilidad, pues por medio de ellos se analiza las características funcionales de la metodología y el esfuerzo se debe emplear para entender y manejarla. Criterios como la confiabilidad y la flexibilidad permiten identificar si una metodología es fiable en cuanto a datos que emplea, su proceso metodológico y los resultados que genera, y si es capaz de adaptarse a diferentes escenarios o modificarse según las necesidades.
- Las herramientas de evaluación de impactos tienen diferente nivel de análisis. Unas identifican y valoran las actividades que producen efectos en el medio, como las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández, por lo que se pueden emplear si se desea realizar un análisis sencillo de las actividades que generan potenciales impactos. Mientras que otras logran realizar una evaluación a través de métricas que calculan el impacto, como el ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua, por lo que se deben emplear

si se busca realizar una evaluación que siga un proceso matemático con factores y permita calcular el impacto producido por dichas actividades.

- Al comparar las metodologías del ACV, Huella de Agua, Huella de Carbono, matriz de Leopold, matriz Battelle Columbus, y matriz Conesa Fernández, se deduce que el ACV es la metodología que mejores desempeños presenta, seguida por la Huella de Agua y la Huella de Carbono. Las metodologías de las matrices presentan desempeños más bajos, siendo la matriz de Conesa Fernández la que tuvo un mayor puntaje entre las tres matrices comparadas.
- Con respecto al sector de la construcción, los resultados de la comparación de metodologías mostraron que el ACV es la que cumple un desempeño excelente a comparación de las otras, seguida por la matriz Conesa Fernández y las matrices de Battelle Columbus y Leopold con un buen desempeño, y por último la Huella de Agua y Huella de Carbono, debido a que éstas se enfocan en un componente ambiental específico y no consideran otros que son relevantes en la evaluación.
- Los lineamientos planteados recomiendan aplicar la metodología del ACV en caso de requerir una evaluación robusta de todo el ciclo de vida de un proyecto que evalúe los impactos producidos, la Huella de Agua se recomienda aplicar para analizar proyectos o actividades que generen impactos al recurso hídrico y las actividades que lo degradan, la Huella de Carbono se recomienda aplicar para analizar procesos o actividades con aprovechamiento de carbono o que generen emisiones de CO o CO₂. Las metodologías de las matrices como la de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández, se recomiendan emplear para identificar actividades de impacto; sin embargo, éstas no asocian los resultados a métricas de cuantificación de impactos, además que llegan a ser muy susceptibles a la subjetividad del criterio del evaluador.
- En cuanto a la construcción, la metodología del ACV es la que más se recomienda emplear ya que puede evaluar todas las etapas de ciclo de vida de una edificación y analiza todas las categorías que generan impacto ambiental. La Huella de Agua se recomienda emplear para evaluar los impactos al recurso hídrico. La Huella de Carbono es recomendable de implementar en evaluaciones de edificaciones que busquen analizar únicamente la categoría de impacto de calentamiento global. Las metodologías de las matrices de Conesa Fernández, de Leopold y de Battelle Columbus son menos

recomendadas, pues sus resultados no están relacionados a una evaluación de impactos sino a una identificación y valoración de actividades que generan efectos al medio.

- Durante las entrevistas con expertos para la validación de los lineamientos, se concluyó que los lineamientos propuestos tienen más del 80 % de aceptación y son aplicables.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis comparativo de metodologías enfocado para un sector, que contemple criterios y variables de comparación relacionados con el tema.
- Se debe trabajar con un grupo multidisciplinario para la definición de criterios y variables y su ponderación, de esta manera el análisis comparativo contemplará la mayor cantidad de elementos posibles y los resultados serán más adecuados.
- Para la jerarquización de criterios y variables del análisis comparativo, se deben otorgar pesos de acuerdo con el contexto local, en base a lo que la literatura menciona y lo que expertos conozcan.
- Durante la elaboración de lineamientos se debe tomar en cuenta factores como exigencias normativas, la aplicabilidad y claridad del lineamiento propuesto, y la importancia y validez para su implementación.
- Se sugiere realizar una segunda ronda de validación de los lineamientos propuestos, con expertos que hayan aplicado las metodologías del ACV, Huella de Carbono, Huella de Agua, matriz de Leopold, matriz Battelle Columbus y matriz Conesa Fernández en proyectos del sector de la construcción.
- Se sugiere que se desarrollen lineamientos específicos, pues cada sector presenta diferentes necesidades, los requerimientos de evaluación ambiental son diferentes según el tipo de actividad o proyecto y se deben considerar diferentes variables.

8. REFERENCIAS

- Abril, R., y Rodríguez, L. (2013). *Estudio de impacto ambiental de la construcción y operación del campus de la Universidad Estatal Amazónica*. Escuela Politécnica del Ejército. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/7068?show=full>
- Addy, M., Adinyira, E., y Ayarkwa, J. (2017). Developing a Building Energy Efficiency Assessment Tool for Office Buildings in Ghana: Delphic Consultation Approach. *Energy Procedia*, 111, 629-638. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.225>
- Allacker, K., de Souza, D. M., y Sala, S. (2014). Land use impact assessment in the construction sector: an analysis of LCIA models and case study application. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(11), 1799–1809. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0781-7>
- Arboleda, J. A. (2008). Manual de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín, Colombia. https://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual_EIA_Jorge_Arboleda.pdf
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2004, 10 de septiembre). *Ley de Gestión Ambiental*. Suplemento N.º 418. <https://www.registroficial.gob.ec/index.php/registro-oficial-web/publicaciones/suplementos/item/6518-suplemento-al-registro-oficial-no-418>
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador (2017, 12 de abril). *Código Orgánico de Ambiente*. Suplemento N.º 983. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(78\)92542-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(78)92542-4)
- Astigarraga, E. (2003) *El Método Delphi*. Universidad de Deusto, San Sebastián. http://www.prospectiva.eu/zaharra/Metodo_delphi.pdf
- ATHENA. (2021). *Athena Impact Estimator for Buildings*. <http://www.athenasmi.org/>
- Atlas Verde. (2021). Atlas Verde de Servicios Ecosistémicos Urbanos. [https://panorama.solutions/en/solution/atlas-verde-de-servicios-ecosistemicos-urbanos#:~:text=El %20Atlas %20Verde %20de %20Servicios,servicios %20ecosist %C3 %A9micos %20urbanos %20\(SEU\).](https://panorama.solutions/en/solution/atlas-verde-de-servicios-ecosistemicos-urbanos#:~:text=El%20Atlas%20Verde%20de%20Servicios,servicios%20ecosist%C3%A9micos%20urbanos%20(SEU).)
- Baquero, M., y Quesada, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 7(2), 147–165. <https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.11>
- BEES. (2018). *Building for Environmental and Economic Sustainability*. <https://ws680.nist.gov/Bees>
- Bernstad, A. (2010). *Environmental Evaluation of Solid Household Waste Management: The Augustenborg Ecocity Example*. Universidad de Lund. <http://www.ekoistan.se/wp-content/uploads/2013/07/Kappa-Lic.pdf>

- Bitstream. (2009). *Metodologías de Impacto Ambiental*.
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6830/04Lagl04de09.pdf>
- Blengini, G. A. (2009). Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. *Building and Environment*, 44(2), 319–330.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.007>
- Bragança, L., Mateus, R., & Koukkari, H. (2010). Building Sustainability Assessment. *Sustainability*, 2(7), 2010–2023. <https://doi.org/10.3390/su2072010>
- Burbano, R. (2016). El Análisis Multicriterio y el Teorema de Arrow. *Revista Politécnica*, 37(1), 1–12. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/339/pdf
- Camacho, K. (2015). *Estudio de impacto ambiental ex ante y plan de manejo ambiental del proyecto: Construcción del primer edificio de oficinas Sky Building Aerocity*. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11528/1/%e2%80%9cESTUDIO%20DE%20IMPACTO%20AMBIENTAL%20EX%20ANTE%20Y%20PLAN%20DE%20MANEJO%20AMBIENTAL%20DEL%20PROYECTO%20CONSTRUCCION%20DEL%20P.pdf>
- Chuquimarca, J. A. (2016). *La Huella de Agua del bambú gigante (Dendrocalamus asper) como indicador de sustentabilidad en la construcción*. Universidad San Francisco de Quito. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5420/1/124325.pdf>
- Conesa Fernández, V. (2011). *Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental*. (4ta edición). Ediciones Mundi-Prensa. <https://books.google.com.ec/books?id=wa4SAQAAQBAJlpg=PP1ydq=metodologias%20de%20evaluacion%20de%20impacto%20ambientalyhl=esypg=PA4#v=onepageyqyf=true>
- Colino, C. (2009). Método comparativo, en el *Diccionario Crítico de Ciencias Sociales*. Universidad Complutense de Madrid. https://webs.ucm.es/info/eurotheo/diccionario/M/metodocomparativo_a.htm
- Colón, J., y Arena, A. (2016). *Guías Metodológicas: Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Agua*. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28162.58563>
- Costa, M., y Sastre, S. (4-5 de abril de 2019). *El documentalista como facilitador en la toma de decisiones informadas: de la teoría a la práctica*. XVI Jornadas Nacionales de Información y Documentación en Ciencias de la Salud, Oviedo, España. <http://eprints.rclis.org/34360/>

- COSUDE. (2016). *Manual de aplicación para evaluación de la huella de agua norma ISO 14 046*.
<https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/12/manual-aplicacion-iso-14-046-suizagua-1.pdf>
- Cotán-Pinto, S., (2007). Valoración de Impactos Ambientales. *INERCO Ingeniería, Tecnología y Consultoría*. 1-22.
- Daza, P. (2010). *Construcción sostenible de edificios: una alternativa responsable para el desarrollo urbano de Quito*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/3603/T-PUCE-3613.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dellavedova, M. G. (2016). *Guía Metodológica para la Elaboración de una Evaluación de Impacto Ambiental*. Universidad Nacional de la Plata.
<http://blogs.unlp.edu.ar/planeamientofau/files/2013/05/Ficha-No-17-Guía-metodológica-para-la-elaboración-de-una-EIA.pdf>
- Díaz, O., Franco, L., y Peña, K. (2019). Lineamientos para el diseño de una estrategia de comunicación, información y educación en salud orientada a incentivar el consumo informado de bebidas energizantes en universitarios de Bogotá-Colombia. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*. 7(2). 10-20. <https://doi.org/10.26423/rcpi.v7i2.283>
- Echeverry, V. (2020). Caracterización de Impactos Ambientales en la Industria de la Construcción. *Blog 360 En Concreto*.
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion>
- Eliconsul. (2013). *Proyecto edificio multipropósito Marriott plaza en sus fases de construcción, operación y mantenimiento de la parroquia la Puntilla, cantón Samborondón, provincia del Guayas*. <http://equilibratum.com/wp-content/uploads/2017/02/eia-edificio-multiproposito-marriott-plaza.pdf>
- EMOV. (2019). *Informe de Calidad de Aire*.
[http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/Informes Claudia Calidad del Aire/Informe_Calidad_Aire_Cuenca_2019.pdf](http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/Informes%20Claudia%20Calidad%20del%20Aire/Informe_Calidad_Aire_Cuenca_2019.pdf)
- Espíndola, C., y Valderrama, J. O. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163–176.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- Fantilli, A. P., Mancinelli, O., y Chiaia, B. (2019). The carbon footprint of normal and high-strength concrete used in low-rise and high-rise buildings. *Case Studies in Construction Materials*, 11, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00296>
- Fink A. (2014). *Conducting research literature reviews: from the internet to paper*. (4ta ed.). Thousand Oaks, California: SAGE.

- Galicia, L., Balderrama, J., Navarro, R. (2017). Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. *Apertura (Guadalajara Jal.)*, 49(2). <https://doi.org/10.32870/ap.v9n2.993>
- Garduño, T. (2009). *Guía Técnica para elaborar o actualizar Lineamientos*. Procuraduría General del Consumidor de México. <https://www.profeco.gob.mx/juridico/Documentos/CGA/Manuales/GT-EAL-610.pdf>
- Garraín, D. (2015). *Análisis de Ciclo de Vida, Huella Ambiental y Huella de Carbono: ¿Quién es quién?* <https://docplayer.es/39813630-Analisis-de-ciclo-de-vida-huella-ambiental-y-huella-de-carbono-quien-es-quien.html>
- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., y Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement, and glass. *Water Resources and Industry*, 19, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.11.002>
- Giama, E., y Papadopoulos, A. M. (2015). Assessment tools for the environmental evaluation of concrete, plaster and brick elements production. *Journal of Cleaner Production*, 99, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.006>
- Gómez, C. y De León, E. (2014). *Método Comparativo*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. [http://eprints.uanl.mx/9802/1/Estudio %20Comparado.pdf](http://eprints.uanl.mx/9802/1/Estudio%20Comparado.pdf)
- Gustavsson, L., y Joelsson, A. (2010). Life cycle primary energy analysis of residential buildings. *Energy and Buildings*, 42(2), 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.017>
- Holcim S. A. (2017). *Memoria de sostenibilidad 2017*. https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/atoms/files/2017_memoria_de_sostenibilidad_final.pdf
- Holcim S. A. (2020, 17 de diciembre). *Lanzamiento ECOPact* [video]. YouTube. <https://youtu.be/cHBYE05eR7A>
- Hoxha, E., Passer, A., Saade, M. R. M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., ... Habert, G. (2020). Biogenic carbon in buildings: a critical overview of LCA methods. *Buildings and Cities*, 1(1), 504–524. <https://doi.org/10.5334/bc.46>
- Huang, W., Li, F., Cui, S. H., Huang, L., y Lin, J. Y. (2017). Carbon Footprint and Carbon Emission Reduction of Urban Buildings: A Case in Xiamen City, China. *Procedia Engineering*, 198, 1007–1017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.146>
- Hurtado, S. (2012). *Criterio de expertos. Su procesamiento a través del método Delphy*. Universidad de Barcelona. [http://www.ub.edu/histodidactica/index.php %3Fopcion %3Dcom_content %26view %3Darticle %26id %3D21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy %26catid %3D11:metodologia-y-epistemologia %26Itemid %3D103](http://www.ub.edu/histodidactica/index.php%3Fopcion%3Dcom_content%26view%3Darticle%26id%3D21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy%26catid%3D11:metodologia-y-epistemologia%26Itemid%3D103)

- Ihobe. (2009). *Análisis de ciclo de vida y huella de carbono*. http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2012/10/PUB-2009-033-f-C-001_analisis-ACV-y-huella-de-carbonoV2CAST.pdf
- Ihobe. (2012). *Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14 064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones*.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2019). *Módulo Ambiental de la Encuesta Estructural Empresarial 2017*. [Boletín Técnico N°01-2019-ENESEM]. Quito. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin_tecnico.pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2019). *Módulo de Información Ambiental en Hogares - ESPND, 2019*. [Boletín Técnico N°02-2020-ENESEM] https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares2019/BOL_TEC_AMB_ESPND_2019_11.pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2020). *Módulo Ambiental de la Encuesta Estructural Empresarial 2018*. [Boletín Técnico N°01-2020-ENESEM]. Quito. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin_tecnico.pdf
- International Association for Impact Assessment (IAIA). (2020). What should an EIA contain? *FASTIPS*, 20, (2). https://www.iaia.org/uploads/pdf/Fastips_20.pdf
- International Organization for Standardization (ISO). (2022). <https://www.iso.org/home.html>
- ISO 14 001. (2015). *Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>
- ISO 14 040. (2016). *Análisis del Ciclo de Vida*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- ISO 14 044. (2020). *Gestión Ambiental - Evaluación del Ciclo de Vida - Requisitos y directrices*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>
- ISO 14 046. (2014). *Huella de Agua*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056542>
- ISO 14 064. (2018). *Gases de Efecto Invernadero*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>
- ISO/IEC 9126. (2014). *Evaluación de calidad de un producto software*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0032555>

- Jiménez, H. (2018). *Análisis de crecimiento urbano a partir de imágenes landsat en el cantón Durán, provincia del Guayas, en el período 1990 – 2015*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3949/1/T-UTEQ-0104.pdf>
- Kamaruzzaman, S., Weng, E., Fung, P., Edwards, R., Hamzah, N., y Khairolden, M. (2019). Development of a non-domestic building refurbishment scheme for Malaysia: A Delphi approach. *Energy*, 167, 804-818. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.020>
- Lavagna, M., Baldassarri, C., Campioli, A., Giorgi, S., Dalla Valle, A., Castellani, V., y Sala, S. (2018). Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock. *Building and Environment*, 145, 260–275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.008>
- Ligrone, A. (2017). *Evaluación de Impacto Ambiental en Uruguay: revisión crítica y aportes desde la Ecología*. Universidad de la República. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/19405/1/uy24-18791.pdf>
- Loiseau, E., Junqua, G., Roux, P., y Bellon-Maurel, V. (2012). Environmental assessment of a territory: An overview of existing tools and methods. *Journal of Environmental Management*, 112, 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.024>
- Lozano, A. (2014). *Análisis del Ciclo de Vida como instrumento de desarrollo de la ecología industrial*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. <https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/12992>
- Manfredi, S., Allacker, K., Pelletier, N., Schau, E., Chomkhamstri, K., Pant, R., y Pennington, D. (2015). Comparing the European Commission product environmental footprint method with other environmental accounting methods. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 389–404. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0839-6>
- Markelj, J., Kuzman, M. K., y Zbašnik-Senegačnik, M. (2013). A Review of Building Sustainability Assessment Methods. *Architecture, Research*, (1), 22–31. https://www.researchgate.net/publication/259276430_A_review_of_building_sustainability_assessment_methods
- Martínez, A., Chargoy, J. P., Puerto, M., Suppen, N., y Rojas, D. (2011). *Huella de Agua (ISO 14 046) en América Latina Análisis y recomendaciones para una coherencia regional*. [https://www.shareweb.ch/site/Suiz-Agua-Colombia/Documents/Huella Agua ISO 14 046 America Latina.pdf](https://www.shareweb.ch/site/Suiz-Agua-Colombia/Documents/Huella%20Agua%20ISO%2014%20046%20America%20Latina.pdf)
- Maysson, R., et al. (2019). Metodología Conesa para la Evaluación de Impacto Ambiental. <https://slideplayer.es/slide/13887369/>
- Milà I Canals, L., Bauer, C., Depestele, J., Dubreuil, A., Knuchel, R. F., Gaillard, G., ... Rydgren, B. (2007). Key elements in a framework for land use impact assessment within LCA.

International Journal of Life Cycle Assessment, 12(1), 2–4.
<https://doi.org/10.1065/lca2006.12.296>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2018). *Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales. Norma Ecuatoriana de la Construcción* (p. 40). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2020). *Energías Renovables. Norma Ecuatoriana de la Construcción* (p. 164). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE). (2015, 4 de mayo) Acuerdo N.º 61. *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente*, Registro Oficial N.º 316. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_acuerdo-ministerial-061.pdf

Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE). (2015, 4 de noviembre) *Marco Institucional para Incentivos Ambientales*, Registro Oficial N.º 387. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155142.pdf>

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador (MAATE). (2021). *Categorización Ambiental Nacional*. <https://regularizacion-control.ambiente.gob.ec/suia-iii/CatalogoActividades CIIU.jsf>

Nouri, J., Jassbi, J., Jafarzadeh, N., Abbaspour, M., y Varshosaz, K. (2009). Comparative study of environmental impact assessment methods along with a new dynamic system-based method. *African Journal of Biotechnology*, 8(14), 3267–3275. <https://doi.org/10.4314/ajb.v8i14.61077>

Núñez, C. (2019). *Cálculo de la Huella de Carbono de las estructuras tipo de la zona céntrica de la ciudad de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30021>

Núñez, O. (2020). *Vivienda social sostenible para la reubicación de los habitantes de la ribera del Río San Pablo en La Maná*. Universidad Internacional SEK. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3820/1/Nu%C3%B1ez%20Herrera%20Oscar%20Andr%C3%A9s.pdf>

Obafemi, O. A. P., y Kurt, S. (2016). Environmental impacts of adobe as a building material: The north cyprus traditional building case. *Case Studies in Construction Materials*, 4, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.12.001>

- Okoli, C. y Pawlowski, S. (2004) The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & Management*, 42 (1), 15 - 29. <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>.
- Ortiz, J. M., Molina Castro, E. X., Quesada Molina, J. F., Calle Pesántez, A. E., y Orellana Valdéz, D. A. (2018). Consumo sustentable de agua en viviendas de la ciudad de Cuenca. *Ingenius*, (20), 28–38. <https://doi.org/10.17163/ings.n20.2018.03>
- Oxford Languages. (2022). Utilidad. En *Diccionario Oxford Languages*. <https://www.lexico.com/en/definition/utility>
- Panahian, M., Ghosh, S., y Ding, G. (2017). Assessing Potential for Reduction in Carbon Emissions in a Multi-unit of Residential Development in Sydney. *Procedia Engineering*, 180, 591–600. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.218>
- Pérez, M. C. (2017). *Sistemas de apoyo a la toma de decisiones: instrumentos, técnicas, métodos, experiencias de participación, manejo de información y educación*. La Evaluación de Impacto Ambiental en el Ordenamiento Territorial. <https://bdigital.uncu.edu.ar/fichas.php?idobjeto=10892>
- Piovani, J.I. y Krawczyk, N. (2017). Los Estudios Comparativos: algunas notas históricas, epistemológicas y metodológicas, *Educação & Realidade*, 42 (3). <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3172/317253008002/html/index.html>
- Pinto, M., y Martin, L. (2012). *La evaluación de impacto ambiental. Una aproximación desde la legislación ambiental y sectorial argentina*. (1ra edición). Editorial Lajouane. https://www.researchgate.net/publication/292158936_La_evaluacion_de_impacto_ambiental_Una_aproximacion_desde_la_legislacion_ambiental_y_sectorial_argentina
- Ponce, V. (2009) *La Matriz de Leopold para la Evaluación del Impacto Ambiental*. http://ponce.sdsu.edu/tarea5_eia_parte7_090724_apendice_i.html.
- Proaño, M. (2012). *Gobernanza Ambiental: Uso y Efectividad de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) como Instrumento de Gestión Ambiental, en el caso de la actividad petrolera ecuatoriana*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7569/6.H03.001287.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Quesada, F., Calle, A., Guillén, V. F., Ortiz, J. M., y Lema, K. J. (2017). Método de Evaluación Sustentable de la Vivienda en la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Revista Técnica “Energía”*, (14), 204–212. <https://doi.org/1390-5074>
- Quesada, F., Ortiz, J., Calle, A., Guillén, V., y Orellana, D. (2018). *Certificación Edificio Sustentable y Seguro*. Universidad de Cuenca. ISBN: 978-9978-14-411-4

- Ramirez, A. (2011). *Integration of Water in Global Energetic Balance of Sustainable Hoses*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <http://ninive.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3702>
- Real Academia Española (RAE). (2022). Confiabilidad. En *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/confiabilidad?m=form>
- Real Academia Española (RAE). (2022). Flexibilidad. En *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/flexibilidad?m=form>
- Real Academia Española (RAE). (2022). Lineamiento. En *Diccionario de la lengua española*. <https://dle.rae.es/lineamiento>
- Reguant, M. y Torrado, M. (2016). El método Delphi. REIRE, *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 9 (1), 87 - 102. DOI: 10.1344/reire2016.9.1916
- Rodríguez, C. M., Rengifo Rodas, C. F., Corrales Muñoz, J. C., y Casas, A. F. (2019). A multi-criteria approach for comparison of environmental assessment methods in the analysis of the energy efficiency in agricultural production systems. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1464–1471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.388>
- Rossi, B., Marique, A. F., Glaumann, M., y Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Building and Environment*, 51, 395–401. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.017>
- Salas, D. A., Ramirez, A. D., Ulloa, N., Baykara, H., y Boero, A. J. (2018). Life cycle assessment of geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 190, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.123>
- Secretaría del Tratado Antártico (STA). (2016). *Informe Final de la Trigésima Novena Reunión Consultiva del Tratado Antártico*. Resolución 1: Lineamientos revisados para la Evaluación de Impacto Ambiental en la Antártida. https://documents.ats.aq/ATCM39/fr/ATCM39_fr002_s.pdf
- Serrano, A., Quesada, F., López, M., Guillen, V., y Orellana, D. (2015). Sobre la Evaluación de la Sostenibilidad de Materiales de Construcción. *Arte y Sociedad. Revista de Investigación*, (9). https://www.researchgate.net/publication/316492577_Sobre_la_evaluacion_de_la_sostenibilidad_de_materiales_de_construccion
- Sigcha, B. (2018). *Producción más limpia en el proceso de confección de tela en la industria Textiles Jhonatex*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28941?locale=en>
- Solconcer. (2020). *Evaluación ambiental, económica y prestacional de soluciones constructivas*. <https://solconcer.es/#/>

- Structuralia. (2019). La importancia del estudio de impacto ambiental en los proyectos de construcción. Sostenibilidad y Eficiencia Energética. *Blog Structuralia*. <https://blog.structuralia.com/la-importancia-del-estudio-de-impacto-ambiental-en-los-proyectos-de-construccion>
- Teshnizi, Z., Pilon, A., Storey, S., Lopez, D., y Froese, T. M. (2018). Lessons Learned from Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Two Residential Towers at the University of British Columbia. *Procedia CIRP*, 69, 172–177. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.121>
- Tian, Z., Wang, S., y Chen, B. (2019). A three-scale input-output analysis of blue and grey water footprint for Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Energy Procedia*, 158(2018), 4049–4054. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.833>
- Trigaux, D., Allacker, K., y De Troyer, F. (2017). Life Cycle Assessment of Land Use in Neighborhoods. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 595–602. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.133>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2007). *Urban Population, Development and the Environment 2007*. http://www.un.org/esa/population/publications/2007_PopDev/2007_PopDev_Urban.htm
- UN-Habitat. (2012). *Global Network for Sustainable Housing*. <https://unhabitat.org/global-network-for-sustainable-housing>
- UN-Habitat. (2017). *Building Sustainability Assessment and Benchmarking*. (Vol. 9). <https://doi.org/10.1002/mrdd.20080>
- Usability.gov. (2022). Usabilidad. <https://www.usability.gov/>
- Venegas, A. O. (2018). *Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO₂ y material particulado en la fabricación del ladrillo semi-mecanizado tochano en Cuenca, a través del Análisis de Ciclo de Vida*. Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29319/1/MscArqAndrésVenegas.pdf>
- Wallhagen, M., Glaumann, M., y Malmqvist, T. (2011). Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change - Case study on an office building in Sweden. *Building and Environment*, 46(10), 1863–1871. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.02.003>
- WordReference.com. (2022). Funcionalidad. En *Diccionario WordReference.com*. <https://www.wordreference.com/definicion/funcional>
- Zabalza, I., Aranda, A., y Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510–2520. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.001>

9. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de hallazgos de metodologías de EIA.

AÑO	IDIOMA	BASE DE DATOS	PAÍS/ REGIÓN	AUTOR	TÍTULO	RESUMEN	IDEAS PRINCIPALES	METODOLOGÍA DE EIA	CATEGORÍA EVALUA	INDICADORES
2018	EN	ScienceDirect	Europa	Lavagna, Baldassarri, Campioli, Giorgi, Dalla, Castellani, Sala	Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential buiding stock	Este estudio describe los resultados del análisis del ciclo de vida (ACV) aplicada a 24 tipos de vivienda representativos del parque de viviendas de la UE en 2010...	Dos tipos de viviendas: Unifamiliar, Multifamiliar. Tres zonas climáticas: Cálido, Moderado, Frío. Cuatro períodos de construcción: antes 1945, 1945-1969, 1970-1989, 1990-2008.	LCA - Método ILCD (Sistema de Datos de Ciclo de Vida de Referencia Internacional)	Agua, Suelo, Materiales, Energía, Calefacción y Refrigeración	Cambio Climático (kg.CO2eq), Agotamiento Capa Ozono (kg.CFC-11eq), Toxicidad Humana (CTUh), Material Particulado (kg.PM2.5eq)
2018	EN	ScienceDirect	Canadá	Teshnizi, Pilon, Storey, López, Froese	Lessons Learned from Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Two Residential Towers at the University of British Columbia	Se realizó una evaluación integral del ciclo de vida (LCA) y un estudio de costo del ciclo de vida (LCC) de dos edificios residenciales...	LCA de la cuna a la tumba de cada edificio, tiempo de vida de 100 años, etapas del ciclo de vida. LCC de costo inicial, costo operacional anual, costo de renovación y reparación, costo de fin de vida.	LCA Metodología de caracterización TRACI v2.1	Agua, Materiales, Energía	Para materiales: Cambio Climático (kg.CO2eq/m2), Agotamiento Capa Ozono (kg.CFC-11eq/m2)
2014	EN	Springer	Bélgica	Allacker, Maia, Sala	Land use impact assessment in the construction sector: an analysis of LCIA models and case study application	en un estudio de caso de LCA que compara un edificio construido con estructura de madera con una estructura sólida.	superficie de uso del suelo transformada y ocupada por el propio edificio (uso primario del suelo)	LCA multicriterio (Eco-Indicador99, ReCiPe, IMPACT2002+) bajo el modelo ILCD	Suelo, Materiales, Energía	Puntuación (Pt/m2 de suelo)

Ver la matriz completa:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1DiFzhGx0yYdEflRGjMLb74UDr4JDNRA/edit?usp=sharing&oid=117086438949473003198&rtpof=true&sd=true>

Anexo 2: Matriz de hallazgos de criterios de comparación.

AÑO	IDIOMA	BASE DE DATOS	AUTOR	TÍTULO	IDEAS PRINCIPALES	ACTIVIDAD/SECTOR QUE EVALÚA	MÉTODOS QUE COMPARA	CRITERIOS DE COMPARACIÓN
2015	EN	ScienceDirect	E. Giama, A. M. Papadopoulos	Assessment tools for the environmental evaluation of concrete, plaster and brick elements production	Análisis de evaluación ambiental de los materiales de construcción más utilizados Potencial de estas metodologías como herramientas efectivas hacia construcciones sostenibles	Materiales de construcción	LCA, Huella de Carbono	Tipo de herramienta Enfoque (etapas que evalúa) Aplicación Emisiones de análisis Normas de Estandarización Relación herramientas
2015	EN	Springer	Karen Allacker, S. Manfredi, N. Pelletter, E. Schau, K. Chomkhamri, R. Pant, D. Pennington	Comparing the European Commission product environmental footprint method with other environmental accounting methods	Evaluar en qué medida el método Huella Ambiental contribuye a llenar los vacíos metodológicos identificados Los métodos cumplen o no principios clave para los estudios: relevancia, integridad, consistencia, precisión y transparencia.	Productos	Huella Ambiental, LCA, Huella de Carbono, ILCD Handbook, Huella Ecológica, Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, BPX 30-323-0, PAS 2050	Enfoque en el Ciclo de Vida Aplicabilidad resultados Límites de evaluación Evaluación multi-criterio Tipo y calidad de datos
2012	EN	ScienceDirect	E. Loiseau, G. Junqua, P. Roux, V. Bellon-Maurel	Environmental assessment of a territory: An overview of existing tools and methods	Se propone una tabla de puntuación basada en el nivel de desempeño del criterio estudiado: No se da ningún valor (-), Rendimiento medio (+), Rendimiento bueno (++), Rendimiento excelente (+++)	Territorial	HERA, Huella Ecológica, MFA, SFA, Tablas de entrada - salida, Exergy, Emergy, LCA,	Formalización Modelado del sistema Flujos de inventario Indicadores proporcionados

Ver matriz completa en:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Dy1Fy5szNcoNCrxrv_xCtBGYDf-trZA7/edit?usp=sharing&ouid=117086438949473003198&rtpof=true&sd=true

Anexo 3: Revisión bibliográfica de los subcriterios de comparación para definición de variables y subvariables del Análisis Comparativo Multicriterio

Criterio: Utilidad

Subcriterio: Objetivo

De acuerdo con Manfredi *et al.* (2015), el objetivo principal de las metodologías de EIA es la identificación y valoración de impactos, seguida del cumplimiento de los marcos regulatorios o la normativa vigente. Fuera de ello las EIA se emplean generalmente con el objetivo de identificar ineficiencias y proponer mejoramiento de procesos, seleccionar alternativas más amigables con el medio ambiente, proporcionar información del desempeño ambiental, presentar proyectos de planificación y programas ambientales, obtener certificaciones ambientales y apoyar al desarrollo de legislación y políticas ambientales (Manfredi *et al.*, 2015).

Criterio: Funcionalidad

Subcriterio: Flujos de evaluación

Los estudios de Lavagna *et al.* (2018), Rossi *et al.* (2012), y Blengini (2009) señalan que el consumo y uso de energía es la actividad que más impacta, seguido por el empleo de materiales, y por último emisiones al aire, agua y residuos. Adicionalmente el estudio de Quesada *et al.* (2017), da mayor puntaje a la evaluación energética, luego a materiales y por último a emisiones, agua y residuos, establecidos según una investigación sobre los impactos a estos componentes en el contexto nacional.

Subcriterio: Etapas de evaluación

Una metodología debe evaluar todas las etapas del ciclo de vida para obtener resultados holísticos. Si una metodología logra abarcar todas las etapas en una sola evaluación ésta será más certera y los resultados representarán resultados más cercanos a la realidad (Garraín, 2015).

Subcriterio: Límites del sistema

Mientras más etapas puede analizar una metodología los resultados serán más precisos. Al establecer los límites de la cuna a la cuna para la evaluación implica que se analizarán desde la extracción de materiales hasta el fin de vida del producto que se incluye nuevamente a la cadena de producción, mientras que límites como de la puerta a la puerta únicamente se analiza los procesos que intervienen dentro de un proceso productivo (Manfredi *et al.*, 2015).

Subcriterio: Escala de evaluación

La escala que una metodología considera dependerá de cómo ha sido desarrollada y del proceso metodológico (Giama y Papadopoulos, 2015).

Subcriterio: Enfoque de la metodología

Es importante que la metodología tenga un enfoque de ciclo de vida o que incentive la sostenibilidad pues estos dos contribuyen a alcanzar metas comunes que se han establecido con organismos a nivel mundial (Loiseau *et al.*, 2012).

Subcriterio: Tipo de metodología

Al tener que cumplir una normativa que establece límites en valores numéricos, en este caso puntual, es importante que la metodología empleada proporcione estos datos (metodología cuantitativa) (Giama y Papadopoulos, 2015).

Criterio: Usabilidad**Subcriterio:** Comprensión para el uso

En términos generales una metodología más sencilla de comprender y usar, además de fácil de implementar genera una mayor preferencia de uso. Fuera de ello, si se cuenta con material para comprender mejor su uso o una guía/manual que explique la metodología, será más comprensible para los usuarios facilitando su uso (Loiseau *et al.*, 2012).

Subcriterio: Uso de software

Una metodología que se pueda complementar con el uso de software permite al evaluador realizar el proceso metodológico de una manera más sistémica, que le permita utilizar bases de datos, realizar análisis de sistemas complejos, y generar resultados con menor grado de incertidumbre. La accesibilidad al software dependerá del tipo de licencia, ya sea gratuita o pagada. Entre las características del funcionamiento del software figuran la comparación entre escenarios, productos o procesos y la compatibilidad con bases de datos existentes (ISO/IEC 9126).

Un software es más favorable cuando tiene la capacidad de realizar cálculos de complejidad alta para la implementación de metodologías que realicen cálculos complejos, o interactuar con otros softwares/programas o plataformas se puede ejecutar una evaluación más completa según la necesidad del proyecto. Un software que genere seguridad al usuario permite que el evaluador confíe en dicho software al implementarlo en la evaluación. (ISO/IEC 9126).

Subcriterio: Uso de bases de datos

Para la evaluación una metodología puede utilizar datos primarios o bases de datos existentes, este dependerá de las necesidades de la evaluación. En caso de emplear base de datos, que se cuente con datos a nivel local permite que los resultados de la evaluación sean más reales. Mientras que si utiliza bases de datos a nivel internacional la incertidumbre de resultados puede aumentar. Si las bases de datos tienen acceso libre

permite que el evaluador obtenga datos con mayor facilidad. Una base de datos actualizada genera mejores resultados (Espíndola y Valderrama, 2012).

Criterio: Confiabilidad

Subcriterio: Confiabilidad de los datos

Para que los datos que se emplean sean confiables, una metodología debe poder evaluar la calidad de datos de entrada. Según la matriz de Pedigree, las fuentes de datos se evalúan de acuerdo a cinco características: fiabilidad, integridad, correlación temporal, correlación geográfica y la correlación de nuevos avances tecnológicos, dando mayor relevancia a las dos primeras (Lozano, 2014).

Subcriterio: Confiabilidad de los resultados

Una metodología con incertidumbre baja refleja resultados y procesos metodológicos más confiables. Según Manfredi *et al.* (2015), una evaluación cualitativa de la incertidumbre se percibe como inexacta. Una evaluación cuantitativa es el paso más recomendado, a fin de obtener una comprensión general de los resultados. Cada metodología representa los resultados según como ha sido desarrollada. Es importante que los resultados se representen en unidades comprensibles para los usuarios (Espíndola y Valderrama, 2012).

Subcriterio: Confiabilidad del proceso

Una metodología sigue un proceso metodológico, entre ellos: clasificación de datos que se prefiere que sea automática ya que es más precisa y evita errores, categorización de impactos en la que se incluyen categorías endpoint y midpoint, una categoría endpoint abarca más impactos y sus interrelaciones entre ellos, selección de factores de impacto y parámetros de normalización que permiten representar los resultados más fácilmente que y cuentan con el aval de organizaciones calificadas (Garraín, 2015).

Subcriterio: Madurez de la metodología

Si la metodología cuenta con mejoras que implican cambios estructurales como el proceso favorece a la evaluación, mejoras en el manejo de información como datos puede favorecer, pero no influye de gran manera, mejoras en el formato y visualización de la metodología no influye en los resultados. El proceso metodológico debe estar respaldado por instituciones o entes que están alineadas a la EIA (Loiseau *et al.*, 2012).

Criterio: Flexibilidad

Subcriterio: Aplicación multifuncional

Una metodología es multifuncional cuando esta puede ser aplicable a diferentes entornos como productos, procesos, servicios, y organizaciones sin la necesidad de modificar su proceso metodológico (Giama y Papadopoulos, 2015).

Subcriterio: Capacidad de cambios

Una metodología será flexible si esta se puede adaptar según las consideraciones del evaluador, ya sea para realizar simplificaciones en el proceso, para adaptar el análisis a otros entornos o incluso si ésta puede complementarse con otra metodología (ISO/IEC 9126).

Apartado: Construcción

Los resultados de los estudios de Lavagna *et al.* (2018), Rossi *et al.* (2012), y Blengini (2009) señalan que en lo que respecta a la construcción, la etapa de uso genera más del 60 % del impacto a lo largo del ciclo de vida, seguida por las etapas de extracción, producción y transporte que generan entre el 10 % y el 20 % de impacto, las etapas de construcción y mantenimiento generan alrededor del 15 %, por último, la etapa de fin de vida ya sea por reciclaje o demolición generan menos del 5 %.

Etapas del ciclo de vida: Extracción, producción y transporte

Los resultados del estudio de Lavagna *et al.* (2018), muestran que, durante las etapas de extracción, producción y transporte las categorías de ecotoxicidad de agua dulce y agotamiento de recursos minerales y fósiles generan alrededor del 20 % de impacto; categorías como ecotoxicidad terrestre, formación fotoquímica oxidante y ocupación de suelo generan el 10 % de impacto, otras categorías generan menos del 8 % de impacto. La producción de los materiales para los edificios es la actividad que genera un 40 % de impacto durante esta etapa. El consumo de energía para la producción de acero, concreto, cerámica y ladrillo produce impactos significativos (77 %) en ecotoxicidad de agua dulce y agotamiento de recursos. La generación de residuos y su disposición final genera un 90 % de toxicidad humana.

Etapas del ciclo de vida: Construcción (desarrollo de la obra)

Los resultados del estudio de Lavagna *et al.* (2018), señalan que la categoría de ecotoxicidad de agua dulce es la que impacta más durante la etapa de construcción generando alrededor del 4 % de impacto; categoría como ecotoxicidad terrestre, toxicidad humana, formación fotoquímica oxidante, agotamiento de recursos minerales y fósiles, y ocupación de suelo generan entre el 1 % - 2 % de impacto; otras etapas como acidificación terrestre, calentamiento global, radiación ionizante, formación de material particulado, etc., son categorías que generan menos del 1 % de impacto.

En el Libro VI del TULSMA, la Norma de Calidad de Aire Ambiente detalla los contaminantes comunes al aire y las concentraciones máximas permitidas durante la construcción de edificaciones (MAATE, 2015a). Existe un incentivo a eco-estructuras que incluyan áreas verdes por proyecto, huertos urbanos, áreas para tratamiento de desechos e infraestructura y equipamiento para el manejo óptimo de residuos (MAEE, 2015b). El

45 % de los hogares en Ecuador reusa el agua y casi ninguna vivienda posee un sistema de recolección de agua lluvia (INEC, 2019b).

Etapas del ciclo de vida: Uso

Según el estudio de Lavagna *et al.* (2018), durante la etapa de uso de una edificación las categorías de calentamiento global, agotamiento de agua, radiación ionizante, agotamiento de ozono y eutrofización de agua dulce generan más del 90 % de impacto; mientras que categorías como acidificación terrestre, ocupación del suelo, toxicidad humana generan entre el 80 % - 90 % de impacto; y las categorías de ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad terrestre y agotamiento de recursos minerales y fósiles generan entre 50 % - 80 % de impacto. Actividades como el consumo energético y de agua generan entre el 56 % - 97 % de impacto durante esta etapa. La generación de residuos contribuye un 92 % a la eutrofización de agua dulce, y el uso de suelo un 88 % a la ocupación de suelo y toxicidad humana.

Etapas del ciclo de vida: Mantenimiento

Durante la etapa de mantenimiento la categoría de agotamiento de recursos minerales y fósiles es la que mayor impacto genera, seguida por categorías como acidificación terrestre, ocupación del suelo, ecotoxicidad de agua dulce y toxicidad humana que generan alrededor del 4 % de impacto; las categorías de eutrofización terrestre, formación fotoquímica oxidante, calentamiento global, y radiación ionizante generan alrededor del 1 % de impacto; las categorías de eutrofización de agua dulce y agotamiento de agua son la que menor impacto generan. Los resultados muestran que la producción de material particulado (60 %) se genera debido al tratamiento de residuos de materiales empleados para el mantenimiento. Seguido por la acidificación de cuerpos de agua por descargas y vertidos (42 %), el agotamiento de recursos minerales y fósiles (17 %) se debe a la producción de materiales que no han sido reciclados (Lavagna *et al.*, 2018).

Etapas del ciclo de vida: Fin de vida (demolición, reutilización)

Durante el fin de vida de la edificación, tanto para demolición o reutilización, la categoría que mayor impacto genera es la de agotamiento de recursos, categorías como ecotoxicidad de agua dulce y terrestre generan menos del 2 % de impacto; las demás categorías generan impactos muy pequeños (Lavagna *et al.*, 2018). En el Libro VI del TULSMA, la Norma de Calidad de Aire Ambiente detalla los contaminantes comunes al aire y las concentraciones máximas permitidas durante la demolición de edificaciones (MAATE, 2015a).

Anexo 4: Matriz de comparación de metodologías de EIA.

CRITERIO	Peso	SUBCRITERIO	Peso	Variable	Pts.	ACV	HUELLA DE CARBOO	HULELLA DE AGUA	MATRIZ DE LEOPOLD	BATTELLE COLUMBUS	MATRIZ CONESA FERNANDEZ						
Funcionalidad	25 %	Flujos de evaluación	25 %	Flujo de energía	26	x	Excelente Alto	83	Regular Medio	51	Bueno Bajo	60	Bueno Medio	77	Excelente Bajo		
				Flujo de materiales	23	x											
				Flujo de emisiones	17	x											
				Flujo de agua	17	x											
				Flujo de residuos	17	x											
		Etapas de evaluación	20 %	20 %	Extracción	20	x	Excelente Alto	100	Excelente Alto	80	Excelente Bajo	60	Bueno Medio	80	Excelente Bajo	
					Producción	20	x										
					Uso	20	x										
					Mantenimiento	20	x										
					Fin de Vida	20	x										
		Límites del sistema	20 %	20 %	De la cuna a la cuna	35	x	Excelente Alto	84	Excelente Medio	65	16	Malo Medio	16	Malo Medio	16	Malo Medio
					De la cuna a la tumba	28	x										
					De la cuna a la puerta	21	x										
					De la puerta a la puerta	16	x										
		Escala de evaluación	20 %	20 %	Macro	33	x	Excelente Alto	99	Excelente Alto	33	Regular Bajo	33	Regular Bajo	33	Regular Bajo	
					Meso	33	x										
					Micro	33	x										

Ver matriz completa en:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1TIPWxasutiyZzNzon2P11fQtSM9VZUIK/edit#gid=22348076>

Etapas de Ciclo de Vida	Pts.	GRUPO 1						GRUPO 2													
		Categorías de Impactos	Pts.	ACV	Huella de Cabono		Huella de Agua		Componentes	Actividad de impacto	Pts.	Matriz de Leopold		Battelle Columbus		Conesa Fernandez					
Uso	60 %	Calentamiento global	20	x	100	Excelente Alto	20	Malo Alto	x	45	Regular Alto	Energía	Consumo de energía eléctrica durante el uso de la edificación	40	x	x	x	x			
		Agotamiento de agua	18	x															x		
		Radiación ionizante	15	x																	
		Agotamiento de ozono	12	x																	
		Eutrofización de agua dulce	10	x															x		
		Acidificación terrestre	8	x															x		
		Ocupación de suelo	7	x																	
		Toxicidad humana	5	x															x		
		Ecotoxicidad de agua dulce	2	x															x		
		Ecotoxicidad terrestre	2	x															x		
		Agotamiento recursos mine	1	x																	
Extracción Producción Transporte	20 %	Ecotoxicidad de agua dulce	22	x	100	Excelente Alto	8	Malo Bajo	x	43	Regular Alto	Materiales	Producción de materiales de fuentes renovables o no renovables	50	35	Regular Medio	35	Regular Medio	35	Regular Medio	
		Agotamiento recursos min.	20	x																	
		Ecotoxicidad terrestre	15	x																	x

Ver matriz completa:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1TIPWxasutiyZzNzon2PI1fQtSM9VZUIK/edit#gid=118549201>

Anexo 5: Matriz de validación de lineamientos.

Nro. lineamiento	¿Cuál es su nivel de acuerdo con respecto a las siguientes aseveraciones...?	Nivel de acuerdo/desacuerdo con lo establecido				CONSENSO
		Muy de acuerdo	Algo de acuerdo	Algo en desacuerdo	Muy en desacuerdo	
6	Si se busca realizar un análisis integral de todo el ciclo de vida, las metodologías recomendadas son el ACV, Huella de Carbono y Huella de Agua, ya que pueden evaluar todo el ciclo de vida del producto o por etapas diferenciadas.	4				100 %
7	Las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández se sugieren emplear para evaluar las etapas de extracción, uso y fin de vida; sin embargo, son metodologías con la facilidad de modificarse y se pueden añadir criterios para analizar otras etapas. Es importante tomar en cuenta que su análisis no llega a ser tan detallado como el de las otras metodologías, por lo que puede no integrar todos los procesos, actividades, productos, flujos, etc. que se requieren en determinadas etapas.	1	3			75 %
10	Las matrices de Leopold, Battelle Columbus y Conesa Fernández no han sido desarrolladas bajo la lógica de establecer estos límites del sistema para la evaluación. Aunque puedan adecuarse para evaluar alguno de los límites mencionados, la matriz se puede volver muy extensa y de difícil comprensión, por lo que no son recomendables de emplear en caso de que se desee analizar alguno de los límites señalados.	3	1			75 %

Ver matriz completa en:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1HE3_8qkJ05zp_vN2tu0YV5GvpdtHGF6/edit#gid=609075079