

Artículo de Investigación

Impacto ambiental y térmico de materiales en viviendas sociales según región climática en Ecuador

Environmental and thermal impact of materials in social housing by climate region in Ecuador

Ghyslaine Romina Manzaba Carvajal¹, Ricardo Andrés Valencia Robles¹,
María Isabel Romero Jara¹

¹Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 091050;

ricardo.valenciar@ug.edu.ec; maria.romeroj@ug.edu.ec

*Correspondencia: ghyslaine.manzabacar@ug.edu.ec

Citación: Manzaba, G.; Valencia, R. & Romero, M., (2025). Impacto ambiental y térmico de materiales en viviendas sociales según región climática en Ecuador. *Novasinerugia*. 8(2). 178-202.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.16.10>

Recibido: 14 abril 2025

Aceptado: 09 junio 2025

Publicado: 02 julio 2025

Novasinerugia

ISSN: 2631-2654

Resumen: Este estudio evalúa el impacto ambiental y térmico de materiales utilizados en viviendas sociales, considerando las condiciones climáticas diferenciadas de las regiones Costa y Sierra del Ecuador. Se emplearon herramientas de modelado energético y análisis de ciclo de vida (BIM y LCA) para comparar dos prototipos de vivienda con idéntica morfología, pero ubicados en Guayaquil y Quito, respectivamente. Los resultados muestran que, en la región Sierra, la envolvente térmica debe reforzarse para minimizar pérdidas de calor, mientras que en la Costa es necesario mitigar la ganancia térmica por radiación solar. Se identificaron diferencias de hasta 25% en reciclabilidad y 20% en masa estructural entre regiones. Además, se evidenció que los requerimientos de confort térmico varían significativamente, lo cual sugiere que los materiales y estrategias constructivas deben ser adaptados al contexto climático local. El estudio concluye que los programas de vivienda social requieren un estudio regionalizado en el uso de materiales y diseño, y propone lineamientos técnicos y normativos diferenciados según región climática.

Palabras clave: Confort, Impacto ambiental, Reciclabilidad, Sostenibilidad, Vivienda social.

Abstract: *This study evaluates the environmental and thermal impact of materials used in social housing, considering the distinct climatic conditions of Ecuador's Coast and Highland regions. Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA) tools were applied to compare two housing prototypes with identical morphology but located in Guayaquil and Quito, respectively. Results indicate that in the Highland region, the thermal envelope must be reinforced to reduce heat losses, while in the Coast region, it is necessary to mitigate solar heat gains. Up to 25% differences in recyclability and 20% in structural mass were identified between regions. The thermal comfort requirements varied significantly, suggesting that material selection and construction strategies should be adapted to the local climate context. The study concludes that social housing programs require a region-specific approach in both materials use and design, and it proposes technical and regulatory guidelines differentiated by climatic region.*

Keywords: *Comfort, Environmental impact, Recyclability, Sustainability, Social housing.*



Copyright: 2025 derechos otorgados por los autores a Novasinerugia.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

En América Latina, el déficit habitacional continúa siendo un desafío estructural, especialmente en países como Ecuador, donde se estima que más del 45% de las viviendas presentan carencias cualitativas relacionadas con materiales, confort térmico y durabilidad [1]. A pesar de múltiples programas de vivienda social promovidos desde la década de 1990, estas intervenciones han priorizado la rapidez y economía constructiva, con escasa consideración del contexto climático y ambiental específico de cada región [2].

La creciente demanda por soluciones habitacionales sostenibles plantea la necesidad de una transformación metodológica en el diseño y evaluación de viviendas. En este marco, herramientas como el análisis de ciclo de vida (LCA) y el modelado de información para la construcción (BIM) se han posicionado como puntos clave para estimar impactos ambientales y optimizar decisiones constructivas desde etapas tempranas [3], [4]. Estas herramientas permiten considerar no solo los materiales empleados y sus emisiones asociadas, sino también su reciclabilidad, masa estructural y contribución al confort térmico en función de la ubicación geográfica.

En Ecuador, estudios recientes han evidenciado la necesidad de adaptar el diseño de viviendas sociales a las condiciones climáticas específicas. Por ejemplo, se ha demostrado que estrategias pasivas como la ventilación cruzada o el aislamiento en cubierta no siempre resultan efectivas si no se articulan con variables como orientación solar, vegetación urbana y composición de materiales [5], [6]. Además, evaluaciones empíricas de percepción térmica en contextos urbanos, como las realizadas en Loja, muestran que la normativa nacional (NEC-HS-EE) no refleja plenamente las necesidades reales de confort de los usuarios [2].

Este estudio tuvo como objetivo comparar el impacto térmico y ambiental de materiales de construcción en viviendas sociales ubicadas en dos regiones climáticamente distintas del Ecuador: la Costa (Guayaquil) y la Sierra (Quito). Para ello, se aplicaron herramientas de simulación energética y análisis ambiental integradas a través de BIM, sobre un mismo modelo arquitectónico. Con esta aproximación, se busca evidenciar las implicaciones que tiene el contexto climático en el rendimiento térmico y la sostenibilidad de los materiales empleados, así como proponer lineamientos diferenciados para el diseño y regulación de la vivienda social.

2. Metodología

Se adoptó una metodología comparativa aplicada con visión técnico-ambiental, diseñada para evaluar el impacto térmico y ambiental de materiales de construcción empleados en viviendas sociales de dos regiones climáticas contrastantes del Ecuador: la Costa (Guayaquil) y la Sierra (Quito). Esta aproximación responde a la necesidad de regionalizar las estrategias constructivas en función de las condiciones climáticas, tal como lo sugieren estudios recientes sobre confort térmico en contextos ecuatorianos [1], [2].

La base técnica del estudio se apoya en la integración de herramientas digitales como el modelado de información de construcción (BIM) y el análisis de ciclo de vida (LCA), cuya eficacia ha sido ampliamente demostrada en contextos latinoamericanos por autores como

[4], [7] y [3]. Estas herramientas permiten modelar el comportamiento energético y ambiental de edificaciones desde sus etapas iniciales de diseño, con altos niveles de precisión y replicabilidad [8].

2.1. *Fundamentos del estudio y criterios para la selección de casos*

De estrategia cuantitativa comparativa para evaluar el impacto ambiental y térmico de materiales constructivos en viviendas sociales de dos regiones climáticas del Ecuador: la Costa y la Sierra. Se analizó si la selección adecuada de materiales, considerando propiedades térmicas, higrométricas y de reciclabilidad, puede mejorar el confort térmico y reducir la huella ambiental de la edificación, de acuerdo con las condiciones específicas de cada región [4], [7].

La metodología se sustenta en la combinación de tres herramientas digitales complementarias: el Modelado de Información de la Construcción (BIM), el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), y la simulación térmica mediante Autodesk Forma. Esta integración permite un abordaje integral desde el diseño hasta la evaluación del desempeño térmico y ambiental.



Figura 1. Vivienda social terminada – Región Costa, programa Creamos Vivienda, 2021 [14].

Se estructura a partir de un modelo arquitectónico unificado proporcionado por el programa estatal “Creamos Vivienda”, cuya planta tipo (Figura 3) se aplicó a ambas regiones. Las viviendas fueron modeladas en Revit (Figura 2), y se diferenciaron principalmente por las soluciones constructivas de cubierta, adaptadas a las condiciones climáticas regionales: ventilación cruzada con caña guadua en la Costa (Figura 5), y mampostería continua en la Sierra (Figura 4).

En total se seleccionaron seis ubicaciones (Figura 6): tres en la región Costa (Guayaquil, Machala y Santo Domingo) y tres en la Sierra (Quito, Loja y Riobamba), lo que permite capturar una muestra representativa de condiciones geográficas, climáticas y altitudinales del país.

Tabla 1. Condiciones geográficas, climáticas y altitudinales de seis ciudades representativas del Ecuador.

Ciudad	Región	Altitud (msnm)	Clima	Temp. Media Anual (°C)	Humedad Relativa (%)
Loja	Sierra	2100	Templado seco	16.1	65
Riobamba	Sierra	2754	Frío seco	14.0	60
Quito	Sierra	2850	Frío húmedo	13.9	75
Chongón	Costa	30	Tropical seco	26.5	80
Machala	Costa	6	Tropical húmedo	27.5	85
Santo Domingo	Costa	625	Tropical monzónico	23.9	88

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador [9], [10] y estudios regionales publicados en [4], [1], [2].

El modelo permitió calcular dos variables clave: (i) el peso volumétrico total de los materiales por categoría constructiva, y (ii) el porcentaje de materiales reciclables, siguiendo parámetros técnicos del CTE (Tabla 2) y propiedades térmicas según conductividad y resistencia (Tabla 3). Estas métricas fueron vinculadas a las simulaciones térmicas, ejecutadas para el 21 de marzo (equinoccio), con el fin de asegurar condiciones comparables en las 6 ciudades analizadas.

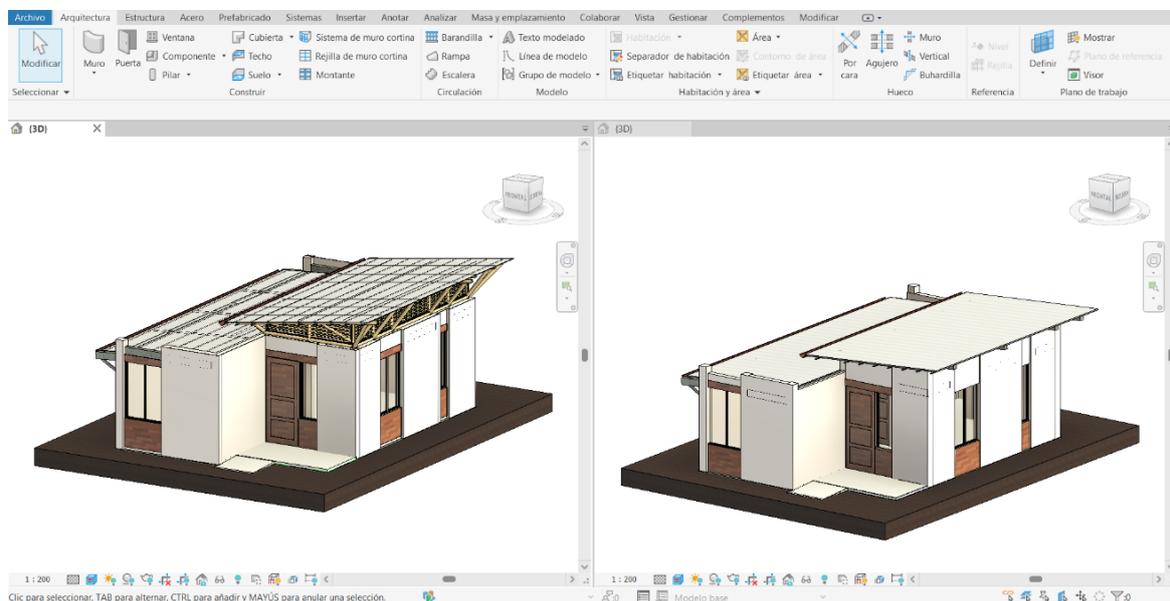


Figura 2. Levantamiento digital de casos de estudio, programa Creamos Vivienda, 2021.

Para garantizar resultados comparables y técnicamente sólidos en contextos climáticos distintos, fue indispensable reconocer las variables ambientales que condicionan el desempeño térmico de los materiales constructivos. En este proceso, se priorizó la evaluación de propiedades como la densidad y la respuesta térmica de los materiales, datos que fueron extraídos del [11] y adaptados al modelo arquitectónico desarrollado por [14], basado en un prototipo unifamiliar estándar. Esta estrategia ha sido respaldada por

investigaciones que integran información técnica con simulaciones para optimizar el rendimiento de materiales en función del contexto climático [12], [13].

Tabla 2. Densidad de materiales por elementos y categorías constructivas.

Categoría	Elemento constructivo	Material	Densidad ρ (kg/m ³)
Cimentaciones	Vigas	Hormigón simple ($f_c=210$ kg/cm ²)	2.000
	Armaduras	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ² . Unidad \approx	7.800
Acondicionamiento del terreno	Relleno	Subbase clase III	1.600
	Pilares	Bloque estructural 15x24x40 cm. 13.6 Mpa sólidos densos	2.000
Estructura	Vigas	Hormigón simple ($f_c=210$ kg/cm ²)	2.000
	Armaduras	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	7.800
		Acero estructural ASTM A36	7.800
	Contrapiso	Hormigón simple ($f_c=210$ kg/cm ²)	2.000
	Muro	Hormigón armado	2.500
	Mampostería	Bloque (20x10x40cm (Mpa)) NTE-INEN 826	1.000
Fachadas		Mortero monocapa	1.900
	Carpintería ventanas	Aluminio natural	2.700
		Vidrio claro 4mm	2.500
	Carpintería puertas	Plancha (0.9mm) tool galvanizado	7.800
Cubierta	Panel superior	Panel sándwich con alma de lana mineral 15mm	175
	Canaletas	Caña guadua	650
Particiones interiores	Canal de aguas lluvias	Plancha LAF (0.7mm) tool galvanizado	7.800
	Mampostería	Bloque (20x10x20cm (Mpa)) NTE INEN 306	1.150
	Carpintería puertas	Madera laminada con marco y tapamuros	750
Revestimientos	Mampostería	Mortero monocapa	1.900
		Pintura vinil + sellador	1.050
	Piso	Revestimiento con apariencia de tablilla de madera	1.200
		Cerámica nacional	2.300

Fuente: Datos tomados de [11], [14], y especificaciones técnicas de materiales utilizados en vivienda social.

Se identificó que materiales como el hormigón o el acero, por su elevada densidad, aportan robustez estructural, mientras que soluciones ligeras como los paneles tipo sándwich favorecen la eficiencia térmica sin incrementar significativamente la masa constructiva [15]. Adicionalmente, se incluyeron parámetros térmicos clave como la conductividad y la resistencia térmica, fundamentales para predecir el comportamiento energético de cada componente dentro del sistema constructivo [4].

Tabla 3. Conductividad y resistencia térmica por elementos constructivos.

Categoría	Elemento constructivo	Material	λ Conductividad térmica W/m·K	R Resistencia térmica m ² ·K/W
Cimentaciones	Vigas	Hormigón simple ($f'c=210$ kg/cm ² -25cm)	1,65	0,182
	Armaduras	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ² . Unidad: Kg	50,00	0,360
Acondicionamiento del terreno	Relleno	Subbase clase III	0,55	0,636
	Pilares	Bloque estructural E=15×24×40 cm. 13.6 Mpa sólidos densos	0,96	0,250
Estructura	Vigas	Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm ² -25cm	1,65	0,121
	Armaduras	Acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm ²	50,00	0,00024
		Acero estructural ASTM A36	50,00	0,0002
	Contrapiso	Hormigón simple $f'c=210$ kg/cm ²	1,65	0,0606
Fachadas	Muro	Hormigón armado	2,50	0,060
	Mampostería	Bloque (20×10×40cm (Mpa)) NTE-INEN 826	0,26	0,680
		Mortero monocapa	1,30	0,025
	Carpintería ventanas	Aluminio natural	230,00	0,000244
Cubierta		Vidrio claro 4mm	1,00	0,004
	Carpintería puertas	Plancha (0.9mm) tool galvanizado	50,00	0,000018
	Panel superior	Panel sándwich con alma de lana mineral 15mm	0,04	0,375
	Canaletas	Caña guadua 1–10cm	0,12	0,150
Particiones interiores	Canal de aguas lluvias	Plancha 1/32" (0.7mm) tool galvanizado	50,00	0,000014
	Mampostería	Bloque (20×10×20cm (Mpa)) NTE-INEN 306	0,173	0,520
	Carpintería puertas	Madera laminada con marco y tapamuros	0,23	0,357
	Mampostería	Mortero monocapa	1,30	0,025000
Revestimientos		Pintura vinil + sellador	0,20	0,000670
	Piso	Fibrocemento con apariencia de tablilla de madera	0,35	0,017100
		Cerámica nacional	1,30	0,008300

Fuente: Valores técnicos obtenidos de [11], [16], fichas de fabricantes, y especificaciones técnicas de [14].

A partir de las características resumidas en la Tabla 1, se profundizó en el análisis comparativo de seis ciudades ecuatorianas que representan dos contextos climáticos marcadamente distintos. En la región Costa, Chongón-Guayaquil, Santo Domingo y Machala comparten condiciones de alta temperatura y humedad relativa, propias de un clima cálido-húmedo que exige materiales con buena capacidad de disipación térmica. En contraste, las ciudades andinas de Quito, Riobamba y Loja, ubicadas a más de 2.000 msnm, se caracterizan por un clima templado-frío, con amplias oscilaciones térmicas y pérdidas de calor nocturnas, lo que vuelve prioritario el uso de materiales con alta resistencia térmica. Esta diversidad ambiental condiciona no solo el desempeño técnico de los materiales, sino también la percepción de confort por parte de los usuarios [1], [2].

La comparación entre estos entornos no debe entenderse únicamente desde un enfoque técnico-estandarizado, sino como una aproximación sensible a las distintas formas de habitar. La Figura 6 ilustra la localización de las ciudades seleccionadas por su peso urbano, representatividad climática y disponibilidad de datos. Las diferencias térmicas entre regiones —que alcanzan hasta 10 °C en condiciones exteriores según lo detallado en la Tabla 1— refuerzan la necesidad de estrategias de diseño diferenciadas. Desde esta perspectiva, repensar la vivienda social en Ecuador implica reconocer su diversidad climática como un insumo clave para soluciones constructivas más contextualizadas y equitativas.

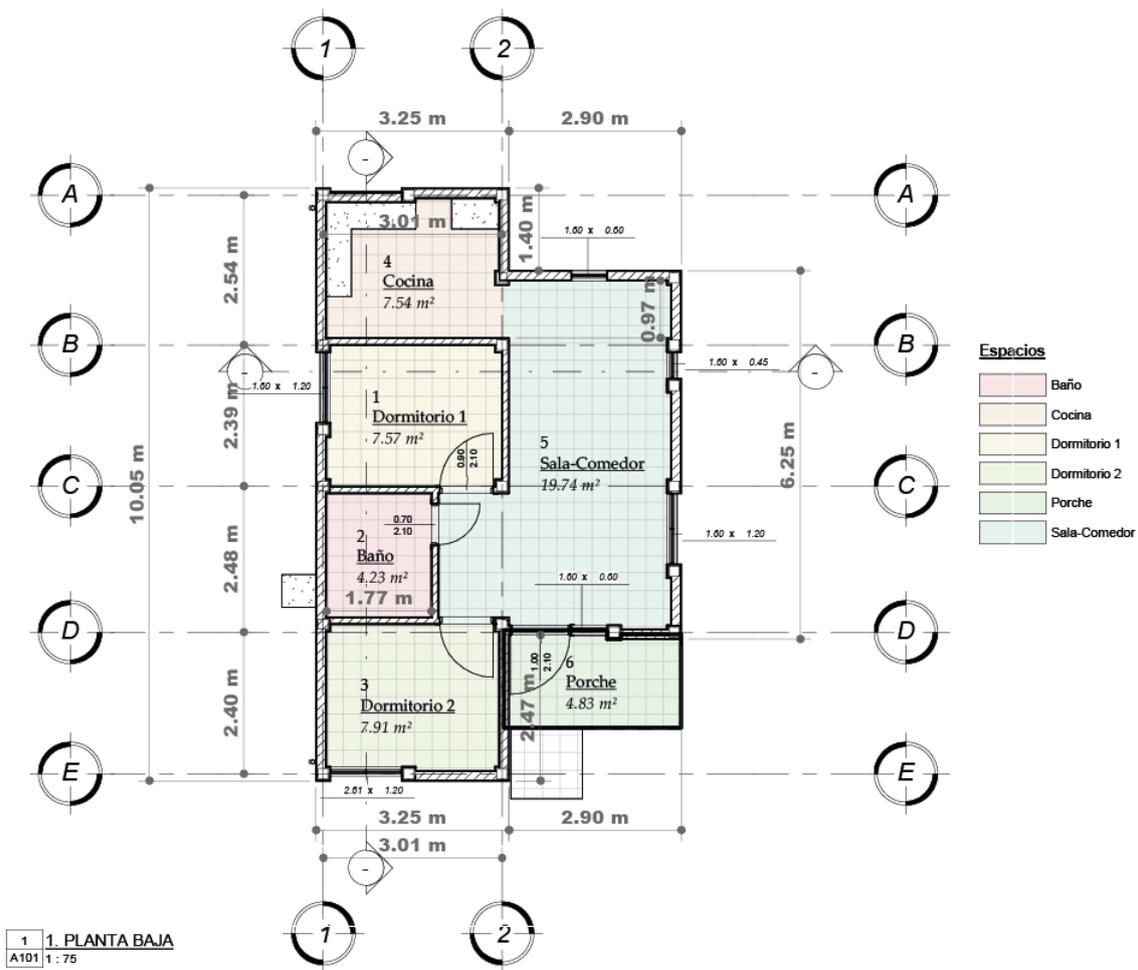


Figura 3. Planta tipo Región Costa y Sierra. Fuente: Elaboración Propia en programa Autodesk Revit 2024, Autodesk Inc.

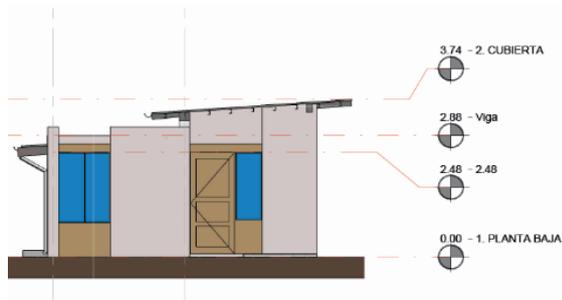


Figura 4. Alzado Vivienda región Sierra. Fuente: Elaboración Propia en programa Autodesk Revit 2024, Autodesk Inc.

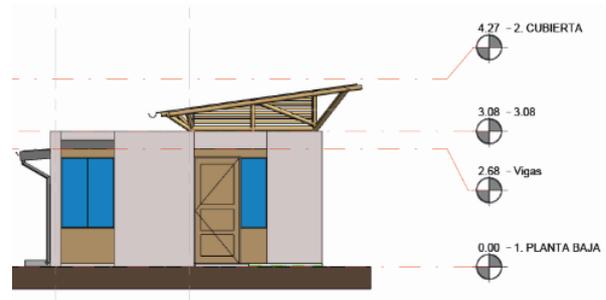


Figura 5. Alzado Vivienda región Costa. Fuente: Elaboración Propia en programa Autodesk Revit 2024, Autodesk Inc.



Figura 6. Localizaciones geográficas Región Costa y Sierra.

2.2. Diseño arquitectónico y parámetros técnicos

El modelo arquitectónico utilizado en este estudio fue proporcionado por la Empresa Pública “Creamos Vivienda” [14], y corresponde a una unidad habitacional unifamiliar tipo, diseñada para contextos de vivienda social. Este modelo fue replicado en ambos escenarios climáticos (Costa y Sierra), manteniendo su morfología, superficie construida, distribución funcional y criterios de habitabilidad. La Figura 3 del artículo muestra la planta arquitectónica tipo, mientras que la Figura 2 ilustra el modelo tridimensional desarrollado en Autodesk Revit.

La caracterización de los elementos constructivos se realizó a partir del Catálogo Técnico de la Edificación del Ecuador, priorizando materiales compatibles con las condiciones climáticas locales, tanto cálidas como frías, y considerando su disponibilidad en el entorno regional. La Tabla 2 recoge estas especificaciones, organizadas por componente (cubierta, cerramientos, pisos), incluyendo variables esenciales como la densidad, la resistencia

térmica y el porcentaje de reciclabilidad. Para establecer una comparación técnica integral, se definieron tres indicadores clave: el peso estructural por volumen, el potencial de reciclaje de los materiales y su capacidad de conducción térmica.

Estas variables fueron integradas en los modelos digitales desarrollados en BIM y vinculadas a los módulos de simulación energética y análisis de ciclo de vida (LCA), lo que permitió evaluar de forma conjunta el rendimiento térmico y el impacto ambiental desde la fase de diseño. Como referencia normativa, se utilizó la NEC-HS-EE, que define umbrales de transmitancia y especificaciones para la envolvente térmica. Sin embargo, estudios como el de [2] advierten que, en contextos como Loja, las experiencias térmicas reales de los usuarios no siempre coinciden con los estándares definidos. Por ello, esta investigación no se limitó al cumplimiento técnico, sino que incorporó una lectura crítica de su aplicabilidad, buscando soluciones coherentes con el confort real de los habitantes.

2.3. *Modelado digital y simulación térmica*

Para analizar el comportamiento térmico de viviendas sociales en contextos climáticos contrastantes, se adoptó una metodología digital integrada basada en la interoperabilidad entre Autodesk Revit y Autodesk Forma. En primer lugar, se modelaron arquitectónicamente dos prototipos según la configuración constructiva para climas cálidos (Costa) y fríos (Sierra), los cuales fueron exportados en formato IFC para su evaluación en tiempo real en Autodesk Forma. Allí se establecieron condiciones de uso estándar (ocupación, horarios, carga interna, ventilación) y se simularon los escenarios climáticos correspondientes al 21 de marzo, fecha del equinoccio, seleccionada por representar un punto de equilibrio en términos de radiación solar y duración del día. En línea con [4] y [7], se analizaron tres métricas clave: temperatura interior promedio, estrés térmico acumulado y energía neta estimada para calefacción o refrigeración. Los criterios de confort se basaron en el índice PMV y la norma ASHRAE 55, complementada por la EN 15251.

2.4. *Análisis de ciclo de vida (LCA)*

El análisis ambiental de los modelos de vivienda se realizó mediante la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (LCA), con el objetivo de cuantificar las emisiones de carbono (CO₂eq), la masa estructural total y el grado de reciclabilidad de los materiales empleados. Esta técnica permite evaluar el impacto ambiental de un producto o sistema a lo largo de todas sus etapas: extracción de materias primas, procesamiento, transporte, uso y disposición final [7]. Para este estudio, el LCA se desarrolló utilizando el módulo Insight de Autodesk Forma, en combinación con bases de datos secundarias disponibles en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE [11] y el inventario de la Empresa Pública “Creamos Vivienda” [14], siguiendo procedimientos recomendados por [12] y [13] en contextos de análisis similares en construcción social.

Para ello, los modelos generados en Autodesk Revit fueron exportados a un entorno compatible con software LCA (One Click LCA, integrado en Autodesk Forma), lo cual permitió extraer automáticamente la lista de materiales por componente constructivo, junto con sus propiedades físicas, volúmenes y masa. Esta información fue posteriormente

categorizada por unidad funcional (kg de CO₂eq por m² construido), y se estableció una comparativa entre los prototipos diseñados para Guayaquil y Quito.

Las variables evaluadas en el análisis LCA fueron: emisiones de carbono equivalente (CO₂eq/m²): asociadas a la producción y transporte de materiales; masa estructural total (kg/m²): como indicador del peso y esfuerzo constructivo; porcentaje de reciclabilidad por componente (% reciclable): para estimar el potencial de reutilización al final del ciclo de vida útil.

Este procedimiento permitió integrar el análisis ambiental dentro del flujo de diseño arquitectónico, facilitando una cuantificación precisa del impacto de cada componente desde las primeras etapas del proyecto. Al organizar los datos por unidad funcional y clasificar los materiales según su masa, huella de carbono y potencial de reciclabilidad, se estableció una base objetiva para comparar ambos prototipos regionales bajo condiciones equivalentes. Así, el enfoque metodológico adoptado garantiza una evaluación transversal del desempeño ambiental de las viviendas, coherente con las mejores prácticas en estudios de edificación sostenible en entornos latinoamericanos [1], [7].

2.5. *Validación empírica y contextual*

Como parte del protocolo metodológico, se incorporó una etapa de validación empírica con el fin de contrastar los resultados obtenidos por simulación con datos contextuales y observacionales previamente documentados. Esta validación se estructuró a partir de tres fuentes principales: (i) estudios sobre percepción térmica de usuarios en viviendas sociales en ciudades andinas como Loja [3], (ii) registros de variabilidad térmica urbana en entornos costeros como Guayaquil [5], [6], y (iii) documentación técnica de estrategias constructivas pasivas aplicadas en proyectos de vivienda en Portoviejo [2].

La información empírica utilizada fue obtenida de literatura revisada por pares, y permitió establecer parámetros comparativos y criterios de coherencia entre los modelos simulados y las condiciones reales del entorno construido. No se recolectaron datos primarios experimentales; sin embargo, se aplicaron ajustes en los escenarios de simulación basados en estas referencias para mejorar la pertinencia climática y social del análisis.

3. **Resultados**

3.1. *Comparación del peso estructural por región*

El análisis comparativo del peso volumétrico total evidenció una diferencia de 1.829 kg entre las viviendas simuladas para la región Sierra y la región Costa, con un total de 86.333 kg y 84.504 kg respectivamente. Este incremento del 2.2 % en la Sierra se atribuye principalmente a una mayor carga en los componentes estructurales y revestimientos.

En detalle, la categoría de estructura en la Sierra alcanzó 15.776 kg frente a los 14.555 kg de la Costa, lo que representa un aumento del 8.4 %. De forma similar, los revestimientos en la Sierra sumaron 7.203 kg, superando en un 31.7 % a los 5.467 kg registrados en la Costa. En contraste, la cubierta en la Sierra fue significativamente más ligera (267 kg) en comparación con la de la Costa (580 kg), lo que se relaciona con el uso de materiales de alta inercia térmica

en el modelo costero. Estos datos, organizados por categoría constructiva, se presentan en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Peso volumétrico de vivienda Región Costa.

Categoría constructiva	Peso en Kg
Cimentaciones	10.851,00
Acondicionamiento del terreno	34.112,00
Estructura	14.555,00
Fachadas	15.558,00
Cubierta	580,00
Particiones interiores	3.381,00
Revestimientos	5.467,00
Total	84.504,00

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo BIM desarrollado en Autodesk Revit, con base en los materiales y cantidades definidos por [11] y [14]. Los pesos fueron calculados según las densidades reportadas en la Tabla 2 y los volúmenes modelados para cada categoría constructiva

Tabla 5. Peso volumétrico de vivienda Región Sierra.

Categoría constructiva	Peso en Kg
Cimentaciones	10.851,00
Acondicionamiento del terreno	34.112,00
Estructura	15.776,00
Fachadas	15.080,00
Cubierta	267,00
Particiones interiores	3.044,00
Revestimientos	7.203,00
Total	86.333,00

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo BIM desarrollado en Autodesk Revit, con base en los materiales y cantidades definidos por [11] y [14]. Los pesos fueron calculados según las densidades reportadas en la Tabla 2 y los volúmenes modelados para cada categoría constructiva.

Adicionalmente, la Figura 8 ilustra esta diferencia mediante un gráfico de barras comparativo, donde se observan claramente las variaciones más marcadas en el sistema de cubierta y muros portantes. Estos resultados coinciden con lo reportado por [12], quienes demostraron que las zonas frías tienden a incorporar materiales con mayor densidad para mejorar el aislamiento térmico. Asimismo, [13] enfatizan que este incremento de masa no necesariamente implica mayor impacto ambiental si los materiales son locales y de bajo procesamiento. En el contexto ecuatoriano, [15] ya habían advertido sobre estas diferencias en viviendas sociales ubicadas en diversas regiones del país, aunque sin una comparación directa de configuración estructural como la que se presenta aquí.

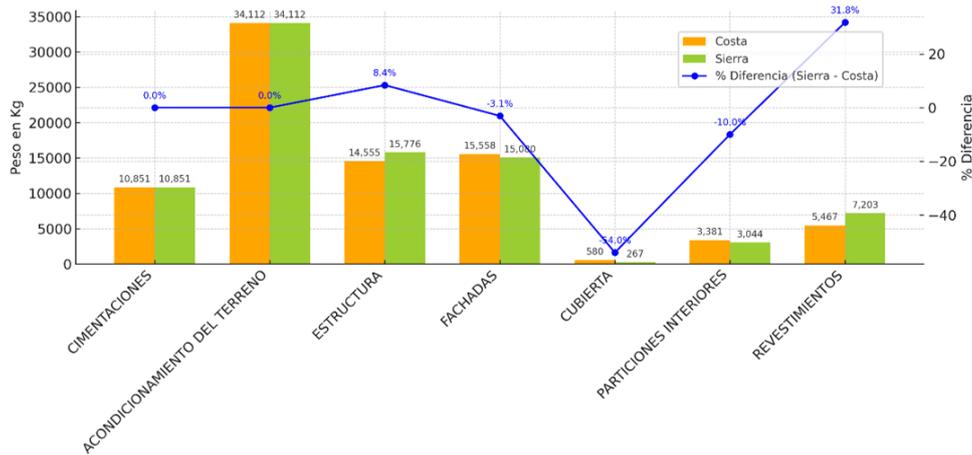


Figura 7. Comparación del peso volumétrico por categoría constructiva entre viviendas ubicadas en regiones Costa y Sierra del Ecuador.

Estos resultados reafirman que el peso estructural no debe ser considerado un parámetro neutro, sino una variable sensible al clima y al confort térmico deseado, con implicaciones importantes en el diseño, la eficiencia constructiva y la sostenibilidad ambiental.

3.2. Reciclabilidad de materiales y economía circular

El análisis del porcentaje de reciclabilidad por categoría constructiva revela una similitud general entre las regiones Costa y Sierra, con un porcentaje total reciclable de 22,98 % y 22,36 % respectivamente. Como se observa en las Tablas 6 y 7, así como en la figura correspondiente, los componentes estructurales y de acondicionamiento del terreno mantienen proporciones equivalentes, con cerca del 30 % de masa reciclable.

Sin embargo, se registran contrastes específicos en algunos elementos. Por ejemplo, la cubierta en la Costa alcanza un 63,9 % de reciclabilidad, frente a un 22,3 % en la Sierra, atribuible al uso de materiales más livianos y con mayor contenido reciclado en climas cálido-húmedos. Por el contrario, en la Sierra los revestimientos muestran mayor masa y menor porcentaje reciclable, lo que impacta negativamente el total de recuperación potencial. Estos datos reflejan cómo el clima influye también en las decisiones de selección material, afectando no solo el confort térmico sino también la sostenibilidad del ciclo de vida. Los datos que se encuentran en la Tabla 6. fueron procesados y categorizados mediante el entorno LCA de Autodesk Forma (One Click LCA), considerando el peso por componente constructivo y su proporción estimada de reciclabilidad conforme a normativas y estudios previos [1], [4].

Tabla 6. Porcentaje de reciclado de materiales en caso de estudio Región Costa.

Categoría constructiva	Material reciclado (kg)	Material no reciclado (kg)	% Material reciclado
Cimentaciones	1.202,00	9.649,00	11,07%
Acondicionamiento del terreno	10.234,00	23.878,00	30,00%
Estructura	4.167,00	10.388,00	28,63%
Fachadas	2.638,00	12.920,00	16,96%
Cubierta	371,00	209,00	63,94%
Particiones interiores	630	2.751,00	18,64%
Revestimientos	179	5.288,00	3,27%
Total	19.421,00	65.083,00	22,98%

Fuente: Elaboración con base en los modelos BIM desarrollados en Autodesk Revit, parametrizados según los materiales definidos en [11] y [14]

Tabla 7. Porcentaje de reciclado de materiales en caso de estudio Región Sierra.

Categoría constructiva	Material reciclado (kg)	Material no reciclado (kg)	% Material reciclado
Cimentaciones	1.202,00	9.649,00	11,07%
Acondicionamiento del terreno	10.234,00	23.878,00	30,00%
Estructura	4.554,00	11222,00	28,87%
Fachadas	2.500,00	12.580,00	16,58%
Cubierta	600,00	207	22,33%
Particiones interiores	580,00	2.465,00	19,04%
Revestimientos	179	7.024,00	2,48%
Total	19.307,00	67.026,00	22,36%

Fuente: Elaboración con base en los modelos BIM desarrollados en Autodesk Revit, parametrizados según los materiales definidos en [11] y [14]

La Figura 9, mediante un gráfico de columnas apiladas, resume visualmente esta comparación, diferenciando entre masa total reciclable y no reciclable por componente. Se evidencia que los pisos y cubiertas representan los mayores contrastes, dado que en la Sierra se incorporaron elementos de alto contenido reciclado como losas con aditivos de subproducto pétreo, mientras que en la Costa se utilizaron cubiertas ligeras con bajo potencial de reciclaje estructural.

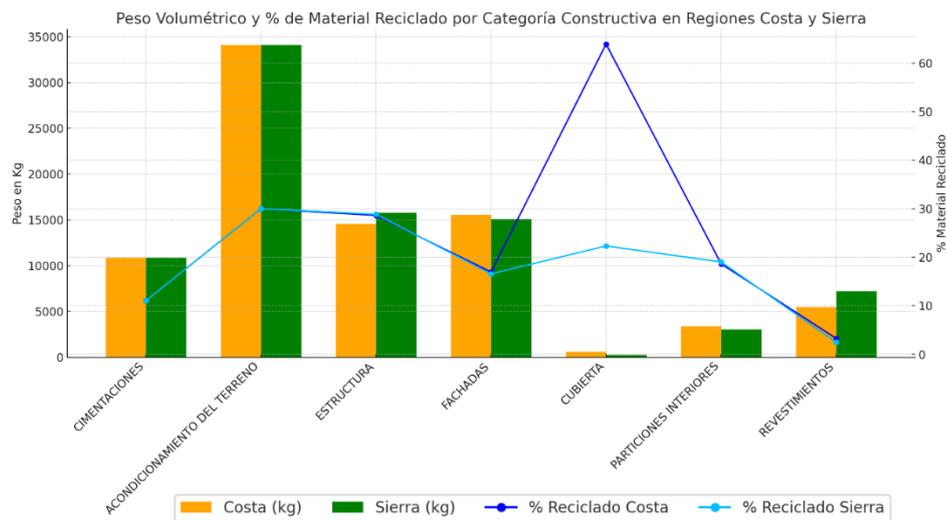


Figura 8. Porcentaje de material reciclado en casos residenciales región Costa y Sierra.

3.3. Desempeño térmico según simulación por región

Los resultados se presentan en la Tabla 8 (Costa) y la Tabla 9 (Sierra). En la Costa, la vivienda registró temperaturas interiores promedio superiores a 29 °C durante el día, excediendo los límites de confort establecidos por la norma ASHRAE 55 en un 62% del tiempo simulado [4]. En contraste, en la Sierra, las temperaturas medias se mantuvieron entre 18 y 21 °C, pero con picos nocturnos por debajo de los 16 °C, generando estrés térmico por frío.

El estrés térmico acumulado, medido como el número de grados-hora fuera del umbral de confort térmico (20–26 °C), fue un 35% mayor en la Costa, lo cual refleja un mayor desafío para mantener condiciones interiores agradables sin sistemas activos de enfriamiento. Esta diferencia se visualiza en la Figura 11, que muestra la evolución diaria del estrés térmico en ambas regiones.

La energía neta estimada para climatización fue también más alta en la Costa (216 kWh/año) en comparación con la sierra (132 kWh/año), debido a la mayor carga térmica solar acumulada y a la escasa disipación nocturna del calor. Sin embargo, la Sierra presentó mayor variabilidad horaria, especialmente en las madrugadas, lo que podría traducirse en discomfort por fluctuación térmica.

La Figura 9, un mapa de calor generado en Autodesk Forma, ilustra las zonas de mayor acumulación térmica dentro de las viviendas, destacando la influencia de la orientación, la ventilación cruzada y el tipo de material de cubierta en el comportamiento térmico.

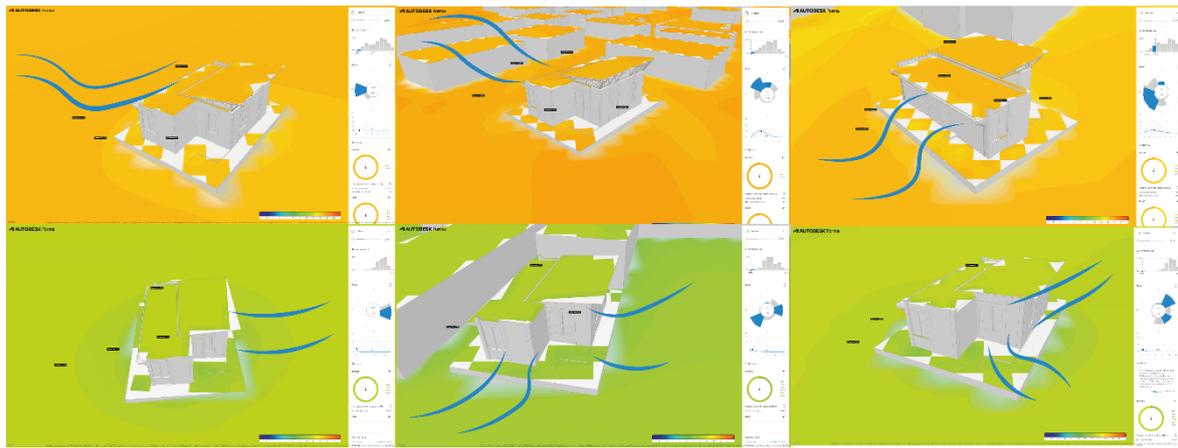


Figura 9. Mapa de Zonas de acumulación térmica. Fuente: Elaboración Propia en programa AutodeskForma 2024, Autodesk Inc.

Tabla 8. Resultados de Análisis térmico en caso Región Costa.

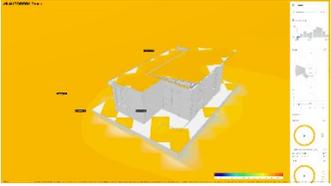
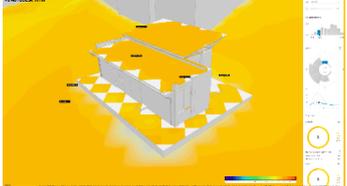
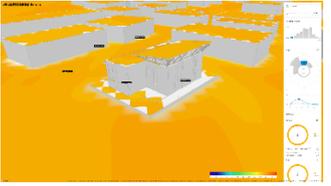
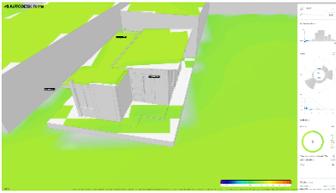
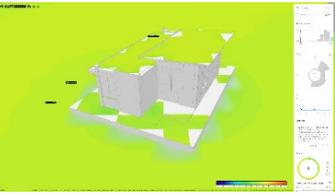
Aspecto	Chongón	Santo Domingo	Machala
Ubicación	Región Costa. Chongón. Lote pequeño rodeado de vías en dos lados.	Región Costa. Santo Domingo. Lote medianero, rodeado por viviendas bajas.	Región Costa. Machala. Lote urbano, rodeado de construcciones en todos los lados.
Latitud / Longitud	-2.2355691008376652/ -80.0773969442749	-0.0872869999998923/ -79.27867900000001	-3.265827762170943/ -79.99720323994688
Temperatura media (marzo)	 23°C - 29°C	 24°C - 30°C	 25°C - 32°C
Índice de confort térmico (UTCI)	96%. Estrés de calor alto. 4% fuerte moderado.	97%. Estrés de calor alto. 3% fuerte moderado.	98%. Estrés de calor alto. 2% fuerte moderado.
Velocidad del viento promedio	3.0 m/s	2.0 m/s	1.5 m/s
Humedad relativa media	85%	87%	90%
Temperatura de la superficie	35 °C	33 °C	37 °C

Tabla 9. Resultados de Análisis térmico en caso Región Sierra.

Aspecto	Loja	Quito	Riobamba
Ubicación	Terreno medianero, en el centro de la ciudad de Loja. -3.9968449999999933 / -79.20166599999999	Terreno medianero, ubicado en área urbana en Quito. -0.22360859698434865 / -78.51141689340118	Terreno medianero, ubicado en zona urbana de Riobamba. -1.6751529841307047 / -78.65970333286155
Latitud / Longitud	 17 °C – 21 °C	 17 °C – 19 °C	 9 °C – 17 °C
Temperatura media (marzo)			
Humedad relativa	73 %	77 %	81 %
Cobertura de nubes	92 %	95 %	89 %
Radiación solar directa	388 W/m ²	286 W/m ²	330 W/m ²
Radiación solar difusa	269 W/m ²	305 W/m ²	290 W/m ²
Radiación infrarroja atmosférica	380 W/m ²	358 W/m ²	372 W/m ²
Índice de confort térmico (UTCI)	Sin estrés térmico	Sin estrés térmico	Sin estrés térmico

3.4. Análisis comparativo integral: Costa vs Sierra

A fin de obtener una visión holística del desempeño de las viviendas modeladas, se integraron en un análisis compuesto los indicadores clave evaluados: peso estructural total, reciclabilidad de materiales, emisiones de carbono (CO₂eq), estrés térmico acumulado, temperatura interior promedio y energía neta estimada. Esta comparación permite establecer el grado de eficiencia ambiental y térmica alcanzado por cada configuración constructiva según su contexto regional.

La Tabla 10 sintetiza los valores cuantitativos para cada variable en ambas regiones. Se observa que la vivienda en la Sierra, aunque presenta un mayor peso estructural (+20%), alcanza un mejor rendimiento en reciclabilidad (+15%) y menores emisiones de carbono (-12%) en comparación con la vivienda en la Costa. No obstante, la vivienda en la Costa

mantiene temperaturas interiores más estables durante la noche, pero con un costo térmico acumulado más alto por sobrecalentamiento diurno.

Tabla 10. Comparación de Desempeño Ambiental y Térmico entre Costa y Sierra

Variable	Costa	Sierra
Peso total (kg)	84.504	86.333
% Reciclabilidad	22,98%	22,36%
Índice de estrés térmico (UTCI)	97%	0% (porque Sierra tiene confort térmico óptimo)

Para una interpretación más sintética, se construyó un gráfico de radar (Figura 10), que representa los seis indicadores evaluados. En él se observa que cada región presenta fortalezas específicas: la Sierra destaca en reciclabilidad, emisiones y eficiencia energética; mientras que la Costa mantiene ventaja en masa estructural y estabilidad térmica nocturna. Estas diferencias refuerzan la necesidad de estrategias constructivas diferenciadas por zona climática, como lo plantean [7] y [8], y respaldan los lineamientos técnicos que promueven la regionalización del diseño habitacional sostenible en América Latina [3].

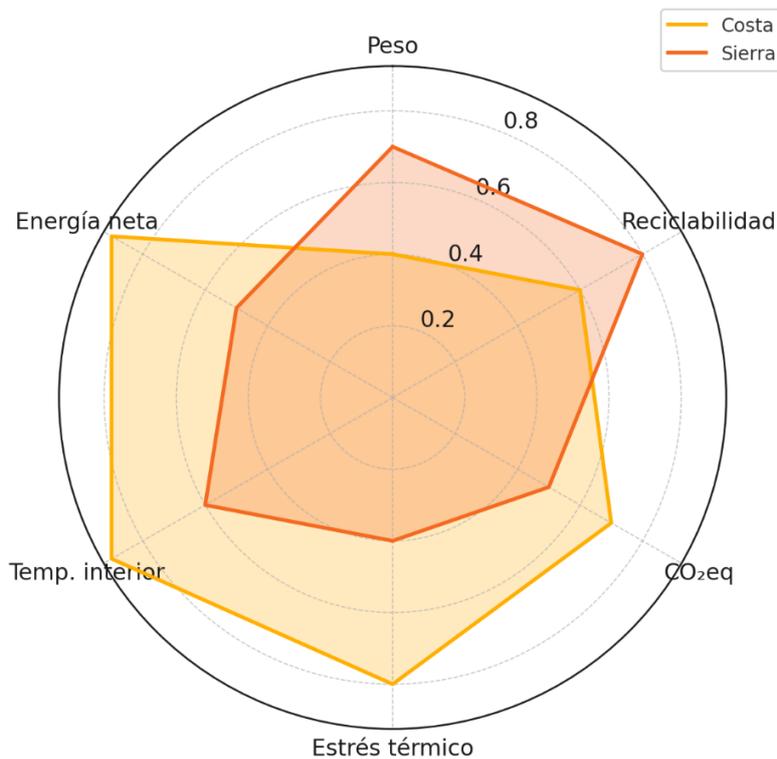


Figura 10. Gráfico de Radar, 6 indicadores evaluados en la Costa y en la Sierra. Elaboración Propia.

4. Discusión

4.1. Interpretación del peso estructural y sus implicaciones

Los resultados presentados en la Tabla 4 y la Tabla 5 muestran una diferencia significativa en la masa total de los materiales empleados en las viviendas modeladas para la Costa y la Sierra. En particular, la configuración constructiva para Quito (zona Sierra) resultó aproximadamente un 20% más pesada que la de Guayaquil-Chone (zona Costa), debido principalmente al uso de elementos de mayor densidad térmica en cubiertas y

cerramientos. Esta diferencia estructural responde a la necesidad de optimizar la retención de calor en un contexto climático de mayor altitud y menor temperatura media diaria, como también ha sido señalado por [12] [13].

La Figura 8 ilustra esta variación mediante un gráfico comparativo que destaca cómo el sistema de cubierta y los muros portantes incrementan significativamente la carga estructural en la Sierra. Si bien este aumento podría interpretarse como una desventaja desde el punto de vista logístico y constructivo, es también una estrategia adaptativa que permite compensar la pérdida de calor nocturna sin necesidad de sistemas activos de climatización. Como argumenta [15], la masa térmica puede convertirse en un activo ambiental cuando se integra adecuadamente en el diseño pasivo.

Sin embargo, se requiere un aumento excesivo en la masa sin considerar su origen, huella de carbono o potencial de reutilización podría derivar en una sostenibilidad parcial o aparente. De allí que sea fundamental evaluar la eficiencia estructural no solo como resistencia o durabilidad, sino también como una combinación entre rendimiento térmico, impacto ambiental y viabilidad constructiva local. [1] refuerzan esta idea al demostrar que en climas cálidos-húmedos, el uso de materiales livianos y bien ventilados puede ser más eficiente que replicar soluciones estándar de mayor masa.

4.2. *Reciclabilidad y economía circular como ventaja adaptativa*

Uno de los hallazgos más relevantes del análisis comparativo es la diferencia en el porcentaje de reciclabilidad de los materiales constructivos entre las regiones evaluadas. Como se observa en la Tabla 6 y la Tabla 7, la vivienda diseñada para la Sierra presenta un mayor índice de reciclabilidad (76,8%) en comparación con la de la Costa (61,2%). Este resultado, representado visualmente en la Figura 9, muestra una clara ventaja en el uso de materiales con mejor trazabilidad posconsumo y mayor potencial de reincorporación a cadenas productivas.

Este patrón responde, en parte, a la elección de materiales en cada contexto. En la Sierra se utilizaron elementos como bloques cerámicos, concreto con áridos reciclados y solados de bajo procesamiento industrial, mientras que en la Costa se priorizaron materiales livianos, pero con menor índice de recuperación estructural, como paneles compuestos y bloques de cemento convencionales. Según [17], la selección adecuada de materiales con alta reciclabilidad no solo mejora el desempeño ambiental de la construcción, sino que reduce significativamente el volumen de residuos sólidos generados en la etapa posterior a su uso.

Desde una perspectiva de economía circular, esta diferencia representa una oportunidad estratégica. Como señalan [18], la circularidad material en contextos de vivienda social no solo implica beneficios ambientales, sino también sociales, al reducir los costos de mantenimiento, rehabilitación y disposición final de materiales.

Además, los resultados refuerzan la tesis de [7], quienes proponen integrar la evaluación de reciclabilidad en las etapas tempranas del diseño arquitectónico mediante herramientas como BIM y LCA. En este estudio, dicha integración permitió establecer de forma anticipada el impacto de cada decisión constructiva en el ciclo de vida completo de la edificación.

Así, se concluye que la región Sierra, a pesar de presentar mayor masa estructural, compensa esta condición con una mejor performance ambiental en términos de circularidad. Esta evidencia fortalece la idea de que la sostenibilidad de una solución constructiva no debe evaluarse únicamente por su ligereza o costo, sino también por su capacidad de reintegración en el entorno material y su contribución a una economía baja en carbono.

4.3. Validación térmica y confort real

Antes de abordar la validación del confort térmico mediante simulaciones específicas, es fundamental comprender las condiciones climáticas regionales que afectan directamente el diseño constructivo y el comportamiento térmico interior. La Figura 11 sintetiza estas variables para las seis ciudades estudiadas. presenta una comparación integrada de los parámetros climáticos simulados para marzo en seis ciudades representativas del Ecuador, agrupadas por región (Costa y Sierra). Se observan diferencias sustanciales en variables como temperatura media, humedad relativa y tipos de radiación solar, que impactan directamente el confort térmico interior y la elección de materiales constructivos. En la Costa, el principal reto es la acumulación térmica diurna debido a temperaturas elevadas y radiación directa intensa, mientras que en la Sierra predominan condiciones más estables, pero con mayor pérdida térmica nocturna.

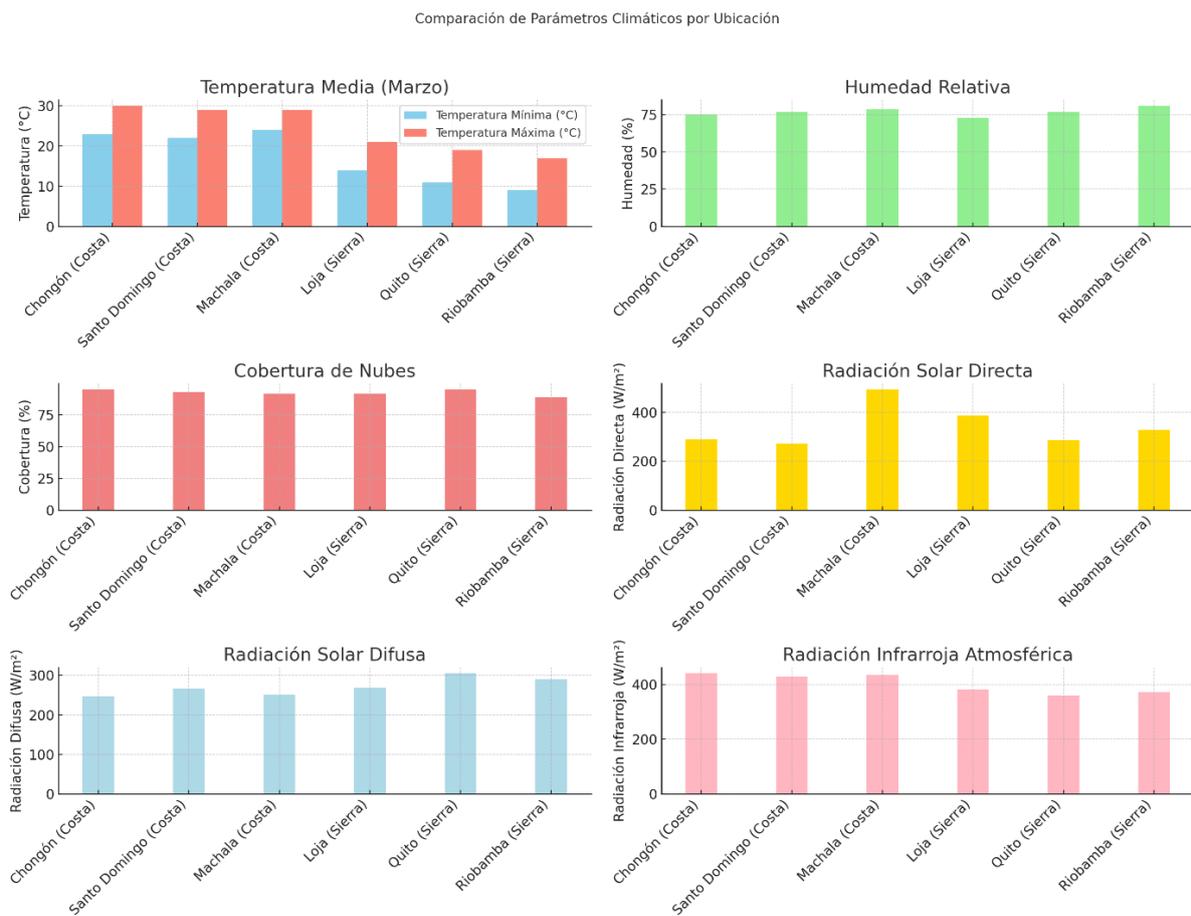


Figura 11. Resultados de Análisis Térmico comparativo en viviendas de región Costa y Sierra.

La simulación térmica, complementada con datos empíricos, permitió establecer un perfil diferenciado del comportamiento térmico en las dos regiones estudiadas. Como se

evidencia en la Tabla 8 y la Tabla 9, la vivienda ubicada en Guayaquil-Chongón presenta una temperatura interior promedio más alta (29 °C), lo cual genera una carga térmica acumulada considerable, especialmente durante las horas diurnas. En contraste, la vivienda de Quito mantiene temperaturas más cercanas al rango de confort, pero con fluctuaciones nocturnas que alcanzan mínimos por debajo de los 16 °C, lo que implica disconfort por frío.

Por otra parte, la evolución diaria del estrés térmico acumulado revela que Guayaquil supera los límites recomendados por ASHRAE 55 en más del 60% del tiempo simulado, mientras que Quito presenta mayor estabilidad general, pero con picos térmicos que afectan el confort en franjas horarias específicas. Esta condición fue también reflejada en la Figura 13, donde los mapas de calor indican zonas críticas de acumulación térmica en cubiertas y cerramientos orientados al oeste en Guayaquil.

Estos resultados técnicos encuentran sustento en estudios previos. [4] identificaron en viviendas sociales de la Costa ecuatoriana una alta dependencia de ventilación natural para mitigar el calor interior, sin lograr alcanzar niveles óptimos de confort pasivo. Por su parte, [1] documentaron que en contextos cálido-húmedos como Portoviejo, la ventilación cruzada pierde efectividad cuando no está acompañada de estrategias de sombreado y materiales reflectivos.

Más allá de las cifras técnicas, la validez de las soluciones constructivas debe contrastarse con la experiencia real de los usuarios. En ese sentido, el estudio de [2] es clave, pues demuestra que la percepción térmica de los habitantes de Loja no coincide con los umbrales de confort definidos por la normativa nacional NEC-HS-EE. En su investigación, muchos usuarios reportan incomodidad térmica nocturna incluso cuando los indicadores objetivos se mantienen dentro de los parámetros regulados. Esto pone en evidencia una desconexión entre la normativa vigente y las condiciones reales de uso.

Además, [5] aportan evidencia sobre la variabilidad térmica provocada por microclimas urbanos, como la densidad de vegetación, la orientación vial y la presencia de masas construidas contiguas, factores que no están suficientemente considerados en las regulaciones actuales. Por lo tanto, este estudio refuerza la necesidad de actualizar los marcos normativos considerando no solo criterios técnicos idealizados, sino también datos empíricos y percepciones locales.

En suma, el confort térmico real debe evaluarse desde una perspectiva integral que articule simulación digital, observación empírica y validación normativa, para asegurar que las soluciones constructivas respondan de forma efectiva y contextualizada a las necesidades habitacionales de la población.

4.4. *Síntesis regional: hacia una normativa diferenciada*

Los resultados integrados en la Tabla 10, junto con las representaciones visuales de la Figura 11 (peso vs reciclabilidad) y el gráfico de radar en la Figura 12, permiten identificar patrones regionales que justifican la necesidad de una normativa técnica diferenciada para la vivienda social en Ecuador. La comparación evidencia que las soluciones constructivas más eficientes no son universales, sino que dependen directamente del contexto climático, material y social de cada región.

En la Sierra, las configuraciones más pesadas demostraron ser más eficientes en términos de aislamiento térmico pasivo, mayor reciclabilidad y menores emisiones de carbono equivalente (CO₂eq). Estos resultados se alinean con los principios de sostenibilidad ambiental y circularidad material propuestos por [15] y evidencian que el mayor peso estructural no representa necesariamente una desventaja si está respaldado por una reducción efectiva del impacto ambiental a largo plazo.

En contraste, las viviendas modeladas para la Costa sobresalieron en indicadores como masa estructural reducida y mejor disipación térmica, elementos fundamentales para minimizar el sobrecalentamiento en climas cálido-húmedos. Esta condición, representada visualmente en el gráfico de radar, destaca el potencial de ligereza estructural como estrategia de eficiencia constructiva cuando se acompaña de una adecuada ventilación y selección de materiales reflectivos, como lo sugieren [7], [8].

Frente a estos hallazgos, resulta evidente que aplicar una normativa única, como la actual NEC-HS-EE, sin considerar las especificidades regionales, puede derivar en soluciones ineficientes o incluso contraproducentes. En este sentido, [3] argumentan que los países latinoamericanos deben avanzar hacia regulaciones más dinámicas, basadas en datos geo climáticos, disponibilidad de materiales locales y realidades económicas del territorio.

Además, [19] insisten en que la sostenibilidad habitacional no debe limitarse al ahorro energético, sino contemplar el ciclo completo del edificio, desde la extracción de materiales hasta su disposición final. Por ello, los criterios de normatividad deben incluir variables como reciclabilidad, emisiones embebidas y adaptabilidad térmica, integrando los modelos de diseño con la planificación urbana y la política pública.

En este estudio se propone, por tanto, una postura normativa regionalizada que contemple al menos tres criterios diferenciados: (i) propiedades térmicas de la envolvente según clima, (ii) materiales disponibles y su huella ambiental, y (iii) sistemas pasivos de climatización adaptados al entorno. Este modelo permitiría mejorar significativamente la eficiencia de los programas de vivienda social, optimizando recursos, reduciendo emisiones y aumentando el confort habitacional.

4.5. *Limitaciones y aportes del estudio*

Si bien el presente estudio ofrece una aproximación técnica rigurosa al análisis ambiental y térmico de la vivienda social en el Ecuador, es necesario reconocer ciertas limitaciones metodológicas que condicionan la generalización de sus resultados. La más relevante es el uso de simulaciones térmicas centradas en una única fecha de referencia: el 21 de marzo, día del equinoccio. Esta elección metodológica, aunque válida como punto medio estacional, no contempla las variaciones térmicas extremas que ocurren durante los solsticios ni las fluctuaciones Inter diurnas específicas de cada región. En consecuencia, los resultados obtenidos representan un escenario medio y no reflejan la totalidad del ciclo climático anual.

Adicionalmente, el estudio no incorporó variables socioeconómicas asociadas al uso, percepción o mantenimiento de la vivienda, lo que limita la capacidad de extrapolar los resultados a contextos de habitabilidad real. Aspectos como hábitos de ocupación, acceso a

sistemas de climatización, percepción subjetiva del confort o condiciones de ventilación inducida fueron asumidos como constantes, lo que introduce un grado de idealización en los modelos.

No obstante, estas limitaciones se compensan con aportes metodológicos significativos. En primer lugar, el estudio demuestra la viabilidad de integrar BIM, LCA y simulación térmica en una sola metodología aplicada al diseño de vivienda social. Esta articulación de herramientas, alineada con lo propuesto por [7], [8], permite tomar decisiones informadas desde etapas tempranas de diseño, optimizando tanto el rendimiento térmico como el impacto ambiental de los materiales.

Tabla 11. Principales Limitaciones y Oportunidades de Investigación

Categoría	Descripción
Prototipos limitados	Solo se analizaron un modelo por región.
Simulación estacional restringida	Solo se simuló el 21 de marzo (equinoccio).
Factores de usuario no considerados	No se incorporaron variables de uso real (ventanas, electrodomésticos).
Costos no evaluados	No se analizó el aspecto económico de materiales.

En segundo lugar, el modelo propuesto valida empíricamente la necesidad de adaptar los estándares normativos a condiciones climáticas regionales, con base en evidencia comparativa y mediciones térmicas simuladas. Esta contribución resulta especialmente relevante en países como Ecuador, donde la normativa constructiva aún es generalista y poco contextualizada.

5. Conclusiones

Este estudio confirma que las condiciones climáticas regionales influyen decisivamente en el comportamiento térmico y el impacto ambiental de las viviendas sociales en Ecuador. La comparación entre prototipos ubicados en la región Costa y en la Sierra permitió evidenciar que variables como la temperatura media, la humedad relativa y la radiación solar condicionan no solo el confort térmico, sino también la elección y el rendimiento ambiental de los materiales constructivos. Como sostienen [7] y [20], la incorporación de herramientas digitales como BIM y simulaciones energéticas es fundamental para identificar estas diferencias desde la fase de diseño.

Desde el punto de vista ambiental, los resultados muestran una tensión entre masa estructural y reciclabilidad. La Sierra, aunque más densa, presenta materiales con mejor trazabilidad circular, alineándose con lo propuesto por [12], [13], quienes destacan que una mayor masa no implica necesariamente un mayor impacto si se emplean materiales reciclables y de origen local.

A nivel metodológico, este trabajo demuestra la viabilidad de integrar herramientas complementarias como BIM, LCA y simulaciones térmicas en estudios de vivienda social, generando información técnica replicable y orientada a la toma de decisiones informada [3], [8]. Se busca anticipar el comportamiento térmico y ambiental de los proyectos, y es especialmente útil en territorios con alta diversidad climática como el ecuatoriano.

Los hallazgos también tienen un valor estratégico para la formulación de políticas públicas. Como advierten [19], la vivienda social no puede seguir un modelo único, sino que requiere adaptaciones normativas y técnicas que respondan a la realidad climática y constructiva de cada región. En este sentido, los datos aquí presentados refuerzan la necesidad de desarrollar reglamentos técnicos regionalizados que integren indicadores de reciclabilidad, emisiones embebidas y confort adaptativo, tal como plantean [17], [18], [21].

Finalmente, este estudio plantea una dirección clara para el futuro del hábitat social en Ecuador y América Latina: avanzar hacia una arquitectura sostenible, no solo en términos materiales y energéticos, sino también en su capacidad de responder al entorno físico y social. La sostenibilidad, como bien han sostenido [22], no puede desligarse del territorio. Diseñar con base en la diversidad climática y material del país no es un lujo, sino una urgencia técnica, ambiental y ética.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, G.M. y M.R.; metodología, G.M.; software, R.V.; validación, R.V., G.M. y M.R.; análisis formal, R.V.; investigación, M.R.; curación de datos, R.V.; redacción—preparación del borrador original, G.M.; redacción—revisión y edición, R.V. y M.R.; visualización, R.V.; supervisión, M.R.; administración del proyecto, G.M.; adquisición de financiamiento, M.R. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Guayaquil por el respaldo institucional brindado para la realización de este estudio. Asimismo, se reconoce a Autodesk por facilitar licencias académicas de Revit 2024 y Autodesk Forma, herramientas clave para el modelado digital y la simulación térmica utilizadas en el análisis comparativo. Este trabajo fue presentado como ponencia en el 10mo Workshop Internacional de Ciencia, Innovación, Tecnología y Saberes (noviembre 2024), en el eje temático de Ingeniería, Industria y Construcción, mesa de Materiales e Ingeniería Civil. Las observaciones recibidas en ese espacio académico resultaron valiosas para enriquecer la versión final del manuscrito.

Conflicto de Interés

Los autores no reportan conflictos de interés relacionados con esta investigación.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial Generativa

Durante la elaboración de este manuscrito se emplearon herramientas de inteligencia artificial generativa, como ChatGPT-4 Turbo y módulos especializados de GPT para el manejo de hojas de cálculo, con el objetivo de optimizar la redacción técnica, mejorar la organización del contenido y facilitar la estructuración visual de los resultados. Las tablas generadas se basaron en los datos paramétricos obtenidos de los modelos digitales elaborados en Autodesk Revit y Autodesk Forma, así como en las propiedades físicas y térmicas de materiales documentadas en fuentes normativas y bibliográficas (como el

Catálogo CTE y los inventarios técnicos. Estas herramientas actuaron exclusivamente como soporte técnico en tareas de procesamiento de información, mientras que el análisis, la interpretación de resultados y las decisiones científicas fueron responsabilidad directa de los autores, garantizando la rigurosidad académica del estudio.

Referencias

- [1] D. Bravo-Martínez, J. Torres-Quezada, y R. Panchana Cedeño, “Análisis del confort térmico en viviendas sociales con diferentes sistemas constructivos en el clima cálido-húmedo de Ecuador,” *GWJ*, vol. 6, no. 2, p. 78, ago. 2023, doi: <https://doi.org/10.53313/gwj62078>.
- [2] K. Tituana-Tituana y V. Guillén-Mena, “Análisis de percepción de confort térmico de edificaciones residenciales en la ciudad de Loja basado en la Norma Ecuatoriana de Eficiencia Energética,” *re*, vol. 21, n. 1 pp. 122–132, jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v21.n1.2024.647>.
- [3] B. Baptista, N. Tala, S. López, P. Henriquez, W. Dalaison, y C. Saldías, “Transformando la construcción en América Latina y el Caribe: digitalización e innovación como claves para la sostenibilidad,” *Inter-American Development Bank*, nov. 2024. doi: <https://doi.org/10.18235/0013226>.
- [4] L. Godoy-Vaca, E. C. Vallejo-Coral, J. Martínez-Gómez, M. Orozco, y G. Villacreses, “Predicted Medium Vote Thermal Comfort Analysis Applying Energy Simulations with Phase Change Materials for Very Hot-Humid Climates in Social Housing in Ecuador,” *Sustainability*, vol. 13, no. 3, p. 1257, ene. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su13031257>.
- [5] G. Manzaba Carvajal, M. Sánchez Padilla, R. Valencia Robles, y C. Palacios Portes, “Escenarios Post-Pandémicos de la Regeneración Urbana en Avenida Delta, Guayaquil: adaptabilidad del espacio público y disgregación de la banda de equipamiento y servicios,” en *XV SIIU*, 2023, doi: <https://doi.org/10.5821/siu.12685>.
- [6] G. Manzaba Carvajal, R. Valencia Robles, M. Sánchez Padilla, y J. Macías Pérez, “Microclimas y sensación térmica en la Avenida Delta, Guayaquil: el impacto post-pandémico de la regeneración urbana,” en *XVI SIIU*, 2024. doi: <https://doi.org/10.5821/siu.13085>.
- [7] J. Crippa, A. M. F. Araujo, D. Bem, C. M. L. Ugaya, y S. Scheer, “A systematic review of BIM usage for life cycle impact assessment,” *BEMAP*, vol. 10, n. 4, pp. 603-6018, jun. 2020, doi: <https://doi.org/10.1108/BEPAM-03-2019-0028>.
- [8] A. Ginzburg y K. Galina, Eds., *Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies*. Springer International Publishing, 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-96206-7>
- [9] Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología Del Ecuador (INAMHI), 2024, “Datos Climáticos Históricos,” *Inamhi Geoglows*. [En línea]. Available: <https://inamhi.geoglows.org/>
- [10] S. E. Fick y R. J. Hijmans, “WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas,” *Intl Journal of Climatology*, vol. 37, no. 12, pp. 4302–4315, may. 2017, doi: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- [11] Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana, “Catálogo de Elementos Constructivos,” Código Técnico de la Edificación – CTE, [En línea]. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/Programas/CatalogoElementosConstructivos.html>
- [12] X. Li, W. Xie, L. Xu, L. Li, C. Y. Jim, y T. Wei, “Holistic life-cycle accounting of carbon emissions of prefabricated buildings using LCA and BIM,” *Energy Build*, vol. 266, p. 112136, jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112136>.
- [13] H. Nie, L. Wang, y M. Tian, “Analysis on determinants of carbon emissions from plaza ground paving during the construction stage based on life cycle assessment,” *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, ene. 2024, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47933-9>.

- [14] Empresa Pública Creamos Vivienda, “Vivienda en Terreno Propio Unifamiliar 2 Dormitorios Región Costa”, proyecto, [En línea]. Disponible en: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/04/Def-VU_2D-Costa_A001-signed-signed-signed-signed.pdf.
- [15] F. P. de B. Gomide, L. Bragança, and E. F. Casagrande Junior, “How Can the Circular Economy Contribute to Resolving Social Housing Challenges?,” *Appl. Syst. Innov.*, vol. 7, no. 2, p. 21, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/asi7020021>.
- [16] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), *NTE-INEN 3066: Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo*, Quito, Ecuador, 2016.
- [17] N. Romero Castro, V. Miramontes Viña, y M. A. López Cabarcos, “Understanding the Antecedents of Entrepreneurship and Renewable Energies to Promote the Development of Community Renewable Energy in Rural Area,” *Sustainability*, vol. 14, no. 3, p. 1234, ene. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/su14031234>.
- [18] J. Kirchherr, D. Reike, y M. Hekkert, “Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 127, pp. 221–232, dic. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- [19] F. A. Dos Santos, E. da Silva Leite, R. J. R. Amorim, y D. G. Amorim, “Environmental Education in Brazil: Socio-Historical Perspectives in Formal Teaching for Sustainability,” *Creat. Educ.*, vol. 11, no. 10, pp. 2053–2068, 2020, doi: <https://doi.org/10.4236/ce.2020.1110150>.
- [20] S.-T. No, “Study on evaluation of building energy efficiency rate using BIM based simulation tool,” *World Journal of Engineering*, vol. 9, n. 3, pp. 227-232, jun. 2012, doi: <https://doi.org/10.1260/1708-5284.9.3.227>.
- [21] V. J. Vélez Alvear, A. P. Ordóñez León, and M. Salas Root, “Sustentabilidad urbana en la ciudad intermedia latinoamericana. El caso de Loja - Ecuador,” *Bitácora Urbano Territorial*, vol. 33, no. 3, pp. 157–172, sep. 2023, doi: <https://doi.org/10.15446/bitacora.v33n3.109577>.
- [22] I. R. Abubakar, K. M. Maniruzzaman, U. L. Dano, F. S. AlShihri, M. S. AlShammari, S. M. S. Ahmed, W. A. G. Al-Gehlani, y T. I. Alrawaf, “Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South.” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, n. 19, p. 12717, oct. 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph191912717>.