

Normativas de energía en edificaciones como estrategia de mitigación al cambio climático

Karl-Heinz Gaudry^{1*}, Luis Godoy-Vaca¹, Sebastián Espinoza¹, Guillermo Fernández²,
Andrea Lobato-Cordero¹

¹ Instituto de Investigación Geológico y Energético, Iñaquito N35-37 y Juan Pablo Sanz, Colegio de Economistas de Pichincha/Cuarto Piso, Quito, Ecuador

² Ministerio del Ambiente, Calle Madrid 1159 y Andalucía, Quito, Ecuador

*Autor para correspondencia / Corresponding author karl.gaudry@geoenergja.gob.ec,

Contribution of energy building codes in residential buildings as a mitigation strategy to climate change

Abstract

Energy building codes are important policies for reducing energy, emissions and costs. These standards contribute to existing and new buildings, thus benefiting from current efficiency measures and strategies. The objective of this article is to analyze thermal and energy behavior of residential dwellings in Ecuador, and to discuss the quantitative and qualitative benefits of implementing these standards based on the Ecuadorian Construction Standard. Simulations were carried using the DesignBuilder V.4.0.7 software, and analyzed in terms of energy consumptions and CO₂ emissions reduction in the province of Guayas, Ecuador. The comparative analysis of implementing the nationally developed energy building standard was simulated using two different housing types, namely one developed by the National Construction Chamber also known as CAMICON and the second developed by the Ministry of Urban Development and Housing also known as MIDUVI. Analysis was structured according to 1) the distribution of the ambient temperature and thermal behavior inside dwellings, 2) energy balance as the result of energy exchange between indoor and outdoor heat transfer, 3) energy consumption as a result of equipment use, including air conditioning, and inhabitants' indoors activity and 4) emissions of kgCO₂eq/m²/year. Results showed that the application of the Ecuadorian energy building standard contributed to a reduction of kgCO₂-eq emissions, as well as to a decrease in the operating temperature in both analyzed residential units. In real terms, the application of the Ecuadorian building energy standard represented, between both residential units, a total average reduction of 12.21% kWh/per inhabitant/year. The comparative evaluation on the benefits derived from energy building standards were discussed in the light of developing energy efficiency labeling schemes, that beyond residential uses, contribute to the reduction to GHG emissions as a mitigation strategy towards the national efforts to combat and adapt to climate change.

Keywords: Energy building simulation, energy efficiency standards, labeling schemes, climate change, GHG mitigation, adaptation, public and social housing



Editado por /
Edited by:
Eva O.L. Lantsoght

Recibido /
Received:
2018/11/02

Aceptado /
Accepted:
2019/01/09

PDF ahead of print:
2019/01/30

Final PDF:
2019/05/30

Resumen

Las normas de energía en edificaciones (NEE) son políticas importantes de reducción de energía, emisiones y costos. A su vez, contribuyen a que las edificaciones existentes y nuevas se beneficien de las medidas y estrategias actuales de eficiencia. Simular, cuantificar y comparar el impacto de la implementación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), principalmente el capítulo de eficiencia energética en edificaciones residenciales (NEC-HS-EE) en viviendas tipo en términos de consumo de energía y su aporte a la reducción de GEI, como estrategia de mitigación al cambio climático. Se simuló con el programa DesignBuilder V.4.07 y analizó el comportamiento térmico y energético de dos viviendas tipo ubicados en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas la cual reporta un consumo de energía promedio de 1672.48kWh/hab por año. Se realizó un análisis comparativo de sin/con la implementación de la NEC-HS-EE en el siguiente orden, 1) distribución de las temperaturas ambiente y operativa (interior de la vivienda), 2) balance de energía como resultado del intercambio de energía producto de la transferencia de calor en los diferentes elementos constructivos de la vivienda, 3) consumo de energía como producto del equipamiento y la actividad normal de los habitantes y los diferentes requerimientos energéticos de los equipos de acondicionamiento de aire y 4) emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) expresadas en $\text{kgCO}_2\text{-eq/m}^2\text{/año}$. Los resultados mostraron que con la aplicación de la NEC-HS-EE se contribuyó a una reducción de emisiones de GEI, así como una disminución de la temperatura operativa en ambas viviendas. En términos reales, la aplicación de la NEC-HS-EE representó una reducción total de 1046kWh/m² equivalentes a 934.4 kgCO₂-eq por año en la "Vivienda tipo con acabados medios", y de 0.93 kWh/m² equivalentes a 18.42 kgCO₂-eq por año en la vivienda "Juntos por ti". Esta investigación establece una evaluación comparativa, sobre los beneficios derivados de las normas de energía en edificaciones y contribuyen al desarrollo de conceptos e instrumentos de etiquetado en edificaciones. Finalmente, como estrategia de mitigación al cambio climático, se propone la necesidad del desarrollo de estrategias complementarias de reducción de emisiones GEI que incluyan esquemas de etiquetado para los usuarios residenciales, así como ampliar la tipología de edificaciones sujetas a la NEC-HS-EE más allá del uso residencial.

Palabras clave: Simulación consumo de energía en edificaciones, normas de construcción y de eficiencia energética, etiquetado energía, cambio climático, mitigación de GEI, adaptación, vivienda publica y de interés social

INTRODUCCIÓN

Por "cambio climático" (CC) se entiende un cambio de clima atribuido directa- o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima [1]. Los "efectos adversos del cambio climático" se entienden como aquellos cambios que afectan la capacidad de recuperación de los ecosistemas naturales, y que afectan el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, incl. la salud y el bienestar humano. A pesar de un número creciente de políticas de mitigación del CC, las emisiones antropogénicas totales de gases de efecto invernadero han aumentado desde 1970. Las emisiones de



CO₂ provenientes de la combustión de combustibles fósiles y procesos industriales contribuyeron con aproximadamente un 78% del aumento total de las emisiones entre 1970 y 2010 [2]. Las emisiones de CO₂ provenientes de la electricidad en 2050 se estiman en un 60% - sobrepasando las proyecciones de 1.5°C [3]. Además de las emisiones de CO₂, la creciente demanda mundial de aire acondicionado en edificios también puede conducir a un aumento de las emisiones de hidrofluorocarburos (HFC) en este sector en las próximas décadas [3]. Si bien estos gases son actualmente una proporción relativamente pequeña de las emisiones anuales de GEI, se espera que su uso en el sector del aire acondicionado crezca rápidamente en las próximas décadas si no se adoptan alternativas [3]. Según el IPCC (2014), para limitar el cambio climático se requerirán reducciones sustanciales y sostenidas de las emisiones de GEI, junto con la adaptación, limitan los riesgos del cambio climático [2]. Entre los cambios proyectados del sistema climático se espera que la temperatura de la superficie aumente durante el siglo XXI y es muy probable que las olas de calor ocurran con mayor frecuencia y duren más, y que los eventos de precipitación extrema sean más intensos y frecuentes en muchas regiones [2]. El CC amplificará los riesgos existentes y creará nuevos riesgos para los sistemas naturales y humanos que estarán distribuidos de manera desigual y, en general, afectando principalmente a aquellas personas y comunidades desfavorecidas en países de todos los niveles de desarrollo [2]. El reporte especial del IPCC (2018) presenta los impactos del calentamiento global de 1.5 °C por encima de los niveles preindustriales y los escenarios globales relacionados a las emisiones de gases de efecto invernadero [4]. El reporte muestra cómo las emisiones pueden reducirse a cero para una eliminación gradual rápida de las emisiones de CO₂ y reducciones profundas de emisiones en otros GEI y forzadores climáticos. Los resultados apuntan hacia amplias transformaciones en la energía; industria; transporte; edificios; sectores de la agricultura, la silvicultura y otros usos del suelo [3].

El Ecuador ha desarrollado varios instrumentos de política que tienen como objetivo la integración de criterios de gestión del CC en diferentes sectores económicos y a distintos niveles de gobierno. Esto se ve reflejado desde el art. 414 de la constitución, que dice el Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del CC, mediante la limitación de las emisiones de GEI, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo [5]; hasta el Plan Nacional de Desarrollo (PND) como instrumento al que se sujetan las políticas, programas y proyectos públicos. En particular, el objetivo 1 del PND 2017-2021 “Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas” busca impulsar una cultura de gestión integral de riesgos que disminuya la vulnerabilidad y asimismo garantice a la ciudadanía la prevención, la respuesta y la atención ante todo tipo de emergencias y desastres originados por causas naturales, antrópicas o vinculadas con el CC [6]. Por otra parte y complementariamente, las intervenciones emblemáticas como a) “Plan toda una vida” y b) “Reverdecer el país”, buscan reducir el “Índice de Vulnerabilidad” frente al CC y fortalecer las prácticas que aporten a la mitigación y adaptación a los efectos del CC [6]. A partir del Decreto Ejecutivo 1815 (2009), se declaró la adaptación y mitigación del CC como política de Estado [7]. A partir de este instrumento, se designa al Ministerio de Ambiente (MAE) como aquella organización pública a cargo

de formular y ejecutar la estrategia nacional frente al CC así como aquella institución a cargo del plan para implementar acciones y mecanismos de coordinación y articulación interinstitucional en todos los niveles del Estado para atender al CC. En este sentido, la Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador (ENCC) (2012) es el instrumento integrador entre los distintos niveles de gobierno, y que tiene como objetivo incorporar de manera transversal el cambio climático [7]. La ENCC tiene una visión hasta el año 2025 e incluye a la adaptación y a la mitigación como líneas estratégicas para su cumplimiento. Cada una de estas líneas cuenta con un objetivo general, objetivos específicos, resultados para el año 2013 así como lineamientos de acción para el período entre 2017 - 2025 [8].

A nivel internacional y nacional, la adaptación al CC se ha convertido en un tema importante en las discusiones y estrategias frente al CC. Como resultado de los informes del Panel Intergubernamental de Expertos por el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), el concepto y definición de adaptación ha sido variable. Por ejemplo el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2005) define "adaptación" como un proceso mediante el cual se mejora, desarrolla e implementan estrategias para moderar, enfrentar y tomar ventaja de las consecuencias de los eventos climáticos [9]. Por otra parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el CC (CMNUCC) la define como parte de aquellas acciones que los países deberán tomar para responder a los impactos del CC que ya están ocurriendo, mientras que al mismo tiempo se preparan para los impactos futuros [10]. En este sentido, el aumento de los esfuerzos para adaptarse al CC implican una complejidad cada vez mayor de interacciones, particularmente entre el agua, la energía, el uso de tierra y la biodiversidad [2]. Sin embargo, las herramientas para comprender y gestionar estas interacciones siguen siendo limitadas [2]. En el Ecuador la definición de los sectores prioritarios para la adaptación al CC está basada en dos criterios: 1) los sectores priorizados en el Plan Nacional para el Buen Vivir y en las Políticas Públicas de Ecuador y 2) los sectores definidos como más vulnerables en el Cuarto Reporte del IPCC (2007) [8]. Los siete sectores prioritarios de adaptación y los cinco de mitigación se pueden observar, junto con los objetivos de las líneas estratégicas para el cumplimiento de la ENCC en la Tabla 1.

Según el IPCC, existen múltiples vías de mitigación que pueden limitar el calentamiento a menos de 2°C en relación con los niveles preindustriales. Estas vías requerirían reducciones de emisiones GEI en las próximas décadas y emisiones casi nulas de CO₂ para fines de este siglo [2]. Mientras que existen respuestas y opciones a la mitigación en cada sector, éstas pueden ser más rentables si se utiliza un enfoque integrado que combine medidas para reducir el consumo de energía y la intensidad de los GEI en los sectores de uso final, descarbonizar el suministro de la energía, reducir las emisiones netas y mejorar los sumideros de carbono [2]. En el Ecuador, la definición de los sectores prioritarios para la mitigación al CC consideró tres criterios: 1) los sectores que generan las mayores emisiones en el país (a partir de los resultados del Inventario Nacional de GEI de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático); 2) la importancia relativa del sector en la economía del país; y 3) los futuros compromisos que el país deberá cumplir para generar bianualmente su Reporte de Emisiones de GEI ante la CMNUCC [8].



TABLA 1. Objetivos y sectores prioritarios de las líneas estratégicas de adaptación y mitigación al cambio climático de la ENCC (MAE, 2012)

Líneas estratégicas para el cumplimiento de la ENCC		
	Adaptación	Mitigación
Objetivo general	<p>Crear y fortalecer la capacidad de los sistemas social, económico y ambiental para afrontar los impactos del cambio climático.</p>	<p>Crear condiciones favorables para la adopción de medidas que reduzcan emisiones de GEI y aumentar los sumideros de carbono en los sectores estratégicos.</p>
	<p>1. Implementar medidas que garanticen la soberanía alimentaria frente a los impactos del cambio climático.</p>	<p>1. Identificar e incorporar prácticas apropiadas para mitigar el cambio climático en el sector agropecuario, que puedan además fortalecer y mejorar su eficiencia productiva y competitividad.</p>
	<p>2. Iniciar acciones para que los niveles de rendimiento de los sectores productivos y estratégicos, así como la infraestructura del país no se vean afectados por los efectos del cambio climático.</p>	<p>2. Implementar medidas que aporten a la integridad y conectividad de los ecosistemas relevantes para la captura y el almacenamiento de carbono y manejar sustentablemente los ecosistemas intervenidos con capacidad de almacenamiento de carbono.</p>
	<p>3. Implementar medidas de prevención para proteger la salud humana frente a los impactos del cambio climático.</p>	<p>3. Fortalecer la implementación de medidas para fomentar la eficiencia y soberanía energética, así como el cambio gradual de la matriz energética, incrementando la proporción de generación de energías de fuente renovable, contribuyendo así con la mitigación del cambio climático.</p>
Objetivos específicos	<p>4. Manejar el patrimonio hídrico con un enfoque integral e integrado por Unidad Hidrográfica, para asegurar la disponibilidad, uso sostenible y calidad del recurso hídrico para los diversos usos humanos y naturales, frente a los impactos del cambio climático.</p>	<p>4. Fomentar la aplicación de prácticas que permitan reducir emisiones de GEI en los procesos relacionados con la provisión de servicios y la generación de bienes, desde su fabricación, distribución, consumo, hasta su disposición final.</p>
	<p>5. Conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural y sus ecosistemas terrestres y marinos, para contribuir con su capacidad de respuesta frente a los impactos del cambio climático.</p>	
	<p>6. Tomar medidas para garantizar el acceso de los grupos de atención prioritaria y de atención prioritaria a recursos que contribuyan a fortalecer su capacidad de respuesta ante los impactos del cambio climático.</p>	<p>5. Promover la transformación de la matriz productiva, incorporando medidas que contribuyen a reducir las emisiones de GEI y la huella de carbono, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y el uso responsable de los recursos naturales no renovables.</p>
	<p>7. Incluir la gestión integral de riesgos frente a los eventos extremos atribuidos al cambio climático en los ámbitos y actividades a nivel público y privado.</p>	
	<p>8. Implementar medidas para incrementar la capacidad de respuesta de los asentamientos humanos para enfrentar los impactos del cambio climático.</p>	

Líneas estratégicas para el cumplimiento de la ENCC		
	Adaptación	Mitigación
Sectores prioritarios	1. agricultura, ganadería y soberanía alimentaria	1. agricultura
	2. pesca y acuicultura	2. uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura
	3. salud	3. energía
	4. recursos hídricos	4. manejo de desechos sólidos y líquidos
	5. ecosistemas naturales	procesos industriales
	6. grupos humanos vulnerables	
	7. turismo	
	8. infraestructura	
	9. asentamientos humanos	

El sector energía para la mitigación de GEI en Ecuador

Las emisiones totales del Inventario Nacional de GEI de Ecuador ascienden en promedio a 80627.16 Gg (80.627.160 ton) de CO₂ eq anual. Con una población total a nivel nacional de 14.482.499 habitantes [11], esto corresponde a 5.57 ton de CO₂ eq anual per cápita (5570 kgCO₂eq/año/cápita). Del total de emisiones, el sector Energía generó en promedio para el período de 1994-2012 el mayor aporte de los sectores con el 46,63% (37594.02 Gg de CO₂ eq) seguido del sector USCUSS (Uso de Suelo – Cambio en el uso del Suelo y Silvicultura) con el 25,35% de las emisiones totales netas [12]. En 2015 el sector Energía mostró un aumento promedio en las emisiones GEI de 37594.02 Gg de CO₂eq hasta el año 2012 (1994-2012) (MAE et al., 2016) a 44301.60 Gg de CO₂eq [13]. En cuanto a las emisiones de GEI en 2015, el Ministerio de Coordinador de Sectores Estratégicos (2016) reportó una estimación de 32350,25 Gg de CO₂eq tan solo para el sector consumo [13]. Se observa en la Tabla 2 que el 53,6% de las emisiones de CO₂eq. corresponde al sector transporte seguido por el sector industria con 16,8%, construcción y otros con 10,8% y residencial con 3375 Gg de CO₂eq, representando el 9,9% [13].

TABLA 2: Emisiones por quema de combustible por actividad en 2015 (GgCO₂eq y tonCO₂eq) (MICSE, 2016)

Consumo / Actividad	[GgCO ₂ eq]	[tonCO ₂ eq]	%	Rank
Consumo propio	1594	1594000	4.66%	5
Transporte	18349	18349000	53.59%	1
Industria	5739	5739000	16.76%	2
Residencial	3375	3375000	9.86%	4
Comercial, servicios públicos	1127	1127000	3.29%	6
Agro, pesca y mineralogía	374	374000	1.09%	7
Construcción y otros	3683	3683000	10.76%	3
Total	34241	34241000	100	

Interesantemente, el consumo del parque edificado a nivel global en 2010 representó el 32% del uso de energía, equivaliendo al 19% de las emisiones de GEI relacionadas con el sector Energía [14]. Más allá de los ahorros de energía, la mayoría de las opciones de mitigación en este sector tienen una gran diversidad de beneficios asociados [14].



Según la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), el consumo final de energía en el sector residencial se dedicó en 2013 principalmente para cocción (29%), calentamiento de agua (24%), calefacción (32%) y enfriamiento (2%) [14]. Una revisión reciente de las tendencias de uso de energía de calefacción y enfriamiento en todo el mundo encontró que las regiones dominadas por la carga de calentamiento verán un crecimiento reducido o incluso un estancamiento en el uso de energía [15]. Por otra parte, las regiones cálidas dominadas por la carga de enfriamiento verán un aumento exponencial en cargas de enfriamiento [15]. Desde el punto de vista del calentamiento global, el enfriamiento presupone incluso mayores retos ya que los refrigerantes utilizados en el proceso tienen un mayor aporte al calentamiento global que el CO₂ [16]. El incremento de ingreso per cápita, prevé que la demanda de energía para refrigeración con aire acondicionado (AC) aumente rápidamente durante todo el período 2000-2100 [16]. Según Emmanuel (2016) las emisiones de CO₂ para calefacción y refrigeración aumentarán de 0.8 Giga toneladas de carbono (GtC) en 2000 a 2.2 GtC en 2100. Interesantemente, el efecto neto del cambio climático en el uso y las emisiones de energía a nivel mundial es actualmente relativamente marginal debido a que las disminuciones en la calefacción se ven compensadas en términos reales con el aumento de la refrigeración. Sin embargo, mientras que la demanda de energía de calefacción disminuirá frente a los escenarios de cambio climático en un 34%, la demanda de energía de aire acondicionado aumentará en aproximadamente un 72% [16].

Normativas de energía en edificaciones

Las normas de energía en edificaciones (NEE) son políticas importantes de reducción de energía, emisiones y costos. A su vez, contribuyen a que las edificaciones existentes y nuevas se beneficien de las medidas y estrategias actuales de eficiencia como por ejemplo estrategias de aislamiento, ventanas, iluminación y acondicionamiento [17] [18]. En el caso de Estados Unidos de Norteamérica (USA) la población de propietarios perciben ahorros asociados a las normas de energía en edificaciones por aproximadamente \$5 billones USD al año [18]. Las NEE representan una oportunidad significativa para ahorrar energía y mitigar emisiones de GEI en edificaciones residenciales y no-residenciales. Berardi (2017) subraya la urgencia de promover políticas de construcción de eficiencia energética en los países BRIC y concluye sobre la importancia de desarrollar mejores prácticas y tecnologías rentables, así como cambios de comportamiento y de estilo de vida [19].

En Ecuador el “Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035” (PLANEE) contempla, como uno de sus objetivos, reducir el consumo de energía acumulado del sector residencial, comercial y público hasta el 2035 con la implementación de medidas de eficiencia energética. Una de las acciones que se plantea para cumplir esta meta es, que al año 2020 el 20% de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (municipios) implementen y apliquen la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), principalmente el capítulo de eficiencia energética en edificaciones residenciales (NEC-HS-EE). La NEC-HS-EE contempla requisitos máximos y mínimos en la envolvente de la vivienda (paredes, pisos, techos, puertas y vidrios) para cada zona climática del Ecuador [20]. En el contexto del cambio climático, es preciso subrayar la importancia de estimar el impacto cuantificable de la implementación de la NEC-HS-EE en el parque edificado para las diferentes zonas climáticas del Ecuador, así como su aporte a la reducción de GEI como estrategia de mitigación.

Objetivos

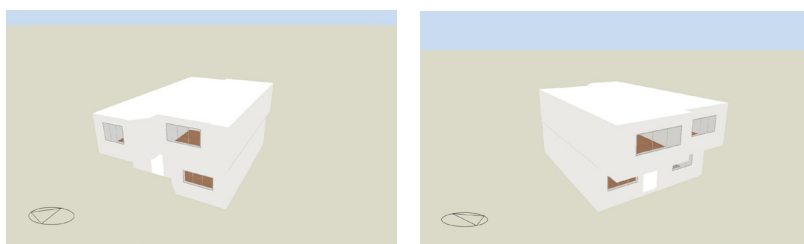
El objetivo de este artículo es simular, cuantificar y comparar el impacto de la implementación de la NEC-HS-EE en términos térmicos, energéticos y de consumo de energía y su aporte a la reducción de GEI como estrategia de mitigación frente al cambio climático en viviendas tipo ubicados en la zona climática “húmeda muy calurosa” del Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelos de vivienda

Para el análisis del comportamiento térmico y energético de viviendas con y sin la implementación de la NEC se seleccionaron dos tipos de vivienda. El primer tipo de vivienda es conocido como “vivienda tipo con acabados medios – económicos” de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) y ha sido desarrollada en dos plantas con un área total construida de 128m². La tipología y materiales de construcción han sido tomados del Boletín Técnico de la CAMICON publicado en la Revista de la Cámara de la Industria de la Construcción N.256 (2018) (ver Figura 1 [20]). Esta vivienda de dos plantas, está dividida en la planta baja en dos espacios, que incluyen un medio baño, una cocina y un espacio común en donde se encuentra el comedor y la sala/estar que a su vez se comunica al primer piso a través de una escalera en “U”. La segunda planta está dividida en seis espacios, incluyendo tres dormitorios, dos baños y un estudio.

FIGURA 1: Proyección isométrica del piso uno y dos de la “Vivienda tipo con acabados medios-económicos”



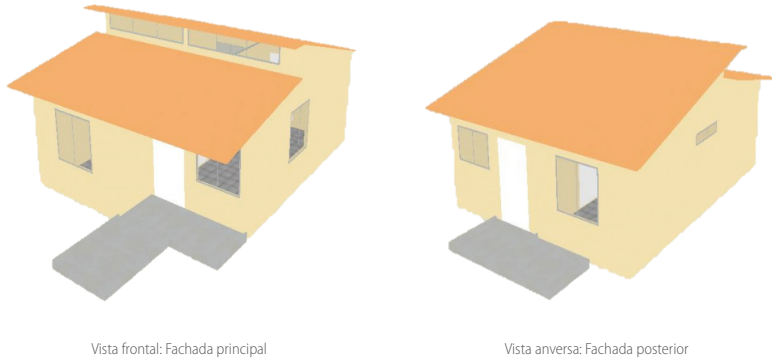
Vista frontal: Fachada principal

Vista anversa: Fachada posterior

El segundo tipo es aquel de la vivienda social del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) del Ecuador. Este modelo de vivienda seleccionado es conocido como “Juntos por ti” (VJPT) con accesibilidad universal, desarrollada en una planta con área construida de 49.77m² y que tiene posibilidad de crecimiento vertical en una segunda planta. El área total de la vivienda incluyendo descansos y rampas exteriores es de 58,46m². La tipología y materiales de construcción han sido tomados del Informe técnico para validación de tipologías de vivienda para el programa “Casa para Todos” del MIDUVI con fecha del 10. Oct. 2017. La vivienda “Juntos por ti” de una planta, está dividida en cuatro espacios: dos dormitorios, un baño completo y en un espacio común en donde se encuentra la cocina, el comedor y la sala/estar como se muestra en la Figura 2 [21].



FIGURA 2: Proyección isométrica del primer piso de la vivienda "Juntos por ti" con accesibilidad universal



Vista frontal: Fachada principal

Vista anversa: Fachada posterior

Las propiedades térmicas y superficiales de los materiales de construcción se han basado en las tablas de materiales de la NEC-HS-EE [22] [23].

La ocupación de la vivienda se estimó para ambas tipologías con cuatro personas según el promedio de personas por vivienda reportado por el INEC [24]. El equipamiento previsto para cada tipología de vivienda se tomó de la encuesta de "Estratificación del nivel socioeconómico" del INEC [25]. La mayor parte de la población del Ecuador se ubica en entre los niveles "C-" y "D" (64,2%) por lo que se consideraron estos niveles socioeconómicos como base para determinar el tipo y número de equipos por vivienda. El consumo en promedio de electricidad en kWh e intensidad de uso fueron obtenidos de Baquero y Quesada (2016) y en comunicación personal de Espinoza, S. (2018). El equipamiento considera el consumo y la intensidad de uso de la ducha eléctrica, refrigerador, lavadora, equipo de sonido, televisor a color, router de internet, computador, teléfono celular, iluminación y aire acondicionado tipo split; determinándose un consumo promedio de 1704 kWh/hab/año cual es ligeramente superior (+2%) al reportado por ARCONEL.

Ubicación y clima

La simulación de las dos viviendas de estudio ha considerado la zona de la costa del Ecuador. Esta zona representa los mayores consumos de energía, observándose que el consumo per cápita anual es el más alto en la provincia de Guayas con 1672.48 kWh/hab por año, comparado con que el consumo promedio a nivel nacional es de 1157.99 kWh/hab/año [26]. Según el mapa de zonificación climática del Ecuador y criterio térmico publicado por el INER, la zona en donde las viviendas han sido ubicadas en Guayaquil corresponden a la zona "Húmeda muy calurosa" $5000 < \text{CDD } 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ [27]. Para este estudio se ha tomado los datos climáticos de un año meteorológico típico de la ciudad de Guayaquil.

Simulación del comportamiento térmico

La simulación del comportamiento térmico en ambas viviendas tipo con el fin de comparar los efectos con y sin aplicación de la NEC-HS-EE, fue ejecutada a través del programa DesignBuilder V.4.0.7 cual utiliza factores predefinidos de emisión de CO_2 y el

motor de cálculo EnergyPlus 8.3. El reporte de entradas y salidas de simulación por cada vivienda con y sin aplicación de la NEC-HS-EE se obtiene del material suplementario.

A partir de la simulación se estimó 1) la distribución de las temperatura ambiente y operativa (conocida como de "sensación térmica" al interior de la vivienda), 2) el balance de energía como resultado del intercambio de energía producto de la transferencia de calor en los diferentes elementos constructivos de la vivienda, con el ambiente que lo rodea, 3) el consumo de energía como producto del equipamiento y la actividad normal de los habitantes y los diferentes requerimientos energéticos de los equipos de acondicionamiento de aire y 4) las emisiones de GEI indirectas producidas por el uso de electricidad expresadas en $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^2\text{/año}$.

RESULTADOS

Distribución de temperaturas

En la gráfica de resultados (ver Tabla 3 y Tabla 4) se observan los resultados de la distribución de temperatura en las viviendas tipo con las dos variantes a) sin NEC-HS-EE y b) con NEC-HS-EE. Ambas variantes describen, frente a la temperatura ambiente del año típico, los resultados de las simulaciones en gráficas de 1) la temperatura operativa de la vivienda con acabados medios, y 2) la temperatura operativa de la vivienda "Juntos por ti" con accesibilidad universal.

Se observa que sin la implementación de la NEC-HS-EE la "Vivienda tipo con acabados medios" tiene una temperatura operativa al interior de la vivienda muy similar a la temperatura ambiente entre los meses de enero-mayo, mientras que a partir de junio el interior es superior a la temperatura ambiente. Con una temperatura ambiente promedio anual de 26.21°C , la "Vivienda tipo con acabados medios" logra, con un promedio de temperatura operativa anual de 26.57°C , estar en la zona de confort térmico entre los meses de junio-agosto (3 meses) y entre noviembre-diciembre (2 meses). En el caso de la vivienda "Juntos por ti" con accesibilidad universal, se observa una temperatura operativa al interior de la vivienda superior a la temperatura ambiente durante todo el año. Con una temperatura ambiente promedio anual de 26.21°C , la vivienda "Juntos por ti" logra, con un promedio de temperatura operativa anual de 27.15°C , tocar el límite superior de la zona de confort térmico entre los meses de junio y julio.

Con la implementación de la NEC-HS-EE los resultados de las simulaciones muestran cambios en cuanto a las diferencias entre temperatura ambiente y temperatura operativa al interior de ambas viviendas. Con la implementación de la norma, la "Vivienda tipo con acabados medios" tiene una temperatura operativa al interior de la vivienda inferior a la temperatura ambiente durante los meses enero-julio. En promedio esto es 0.68°C menos que la temperatura ambiente. A partir de agosto la temperatura al interior, es prácticamente igual que la ambiente. Con una temperatura ambiente promedio anual de 26.21°C , la "Vivienda tipo con acabados medios" logra, con un promedio de temperatura operativa anual de 25.78°C dotar la zona de confort térmico por más de medio año, desde mayo a hasta diciembre. En el caso de la vivienda "Juntos por ti" con accesibilidad universal, se observa entre los meses enero-junio, una temperatura operativa al interior de la vivienda ligeramente superior a la temperatura ambiente. A partir de mediados de junio, cuando la temperatura ambiente también



baja, la temperatura operativa al interior de la vivienda logra ingresar la zona de confort térmico entre los meses de junio-julio (2 meses), sin embargo, supera el límite superior entre agosto-noviembre, para que a partir de diciembre, después de algunas semanas en la zona de confort, vuelva a superarlo, manteniéndose por encima de la temperatura ambiente. Es importante observar que mientras la temperatura ambiente está a partir de junio en la zona de confort térmico, la operativa se mantiene constantemente, entre 24.6-27.2°C y por encima de la temperatura ambiente.

TABLA 3. Resultados de las simulaciones de comportamiento térmico: a) distribución de temperaturas, b) balance de energía, c) consumo de energía y d) emisiones de CO₂

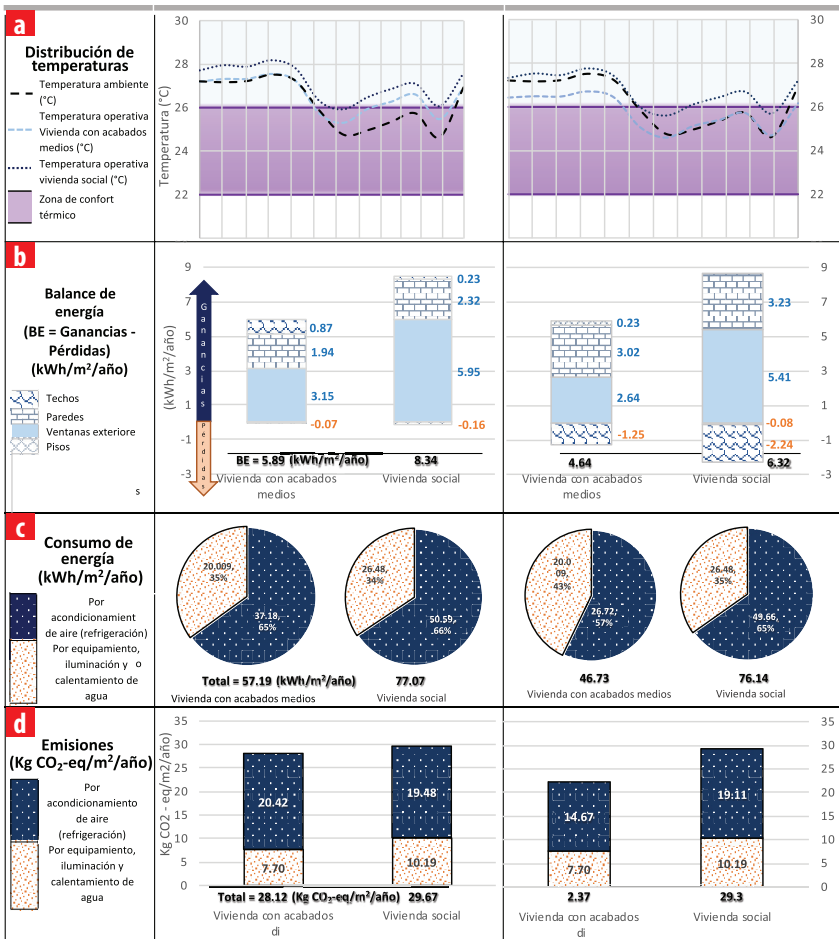


TABLA 4: Detalle de la distribución de temperaturas (a) según los resultados de las simulaciones de comportamiento térmico sin y con NEC-HS-EE

Resultados:	Sin NEC-HS-EE												Con NEC-HS-EE											
	Temp/mes [°C]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temp ambiente (°C)	27.2	27.2	27.2	27.5	27.2	25.9	24.8	25	25.4	25.7	24.6	26.9	27.2	27.2	27.2	27.5	27.2	25.9	24.8	25	25.4	25.7	24.6	26.9
Temp operativa vivienda con acabados medios (°C)	27.2	27.3	27.3	27.6	27.2	25.7	25.3	25.9	26.3	26.6	25.5	26.9	26.4	26.5	26.5	26.7	26.4	25.1	24.6	25.1	25.4	25.7	24.7	26.2
Temp operativa vivienda social (°C)	27.7	28	27.9	28.2	27.8	26.3	25.9	26.5	26.9	27.1	26.1	27.6	27.3	27.5	27.5	27.8	27.4	26	25.6	26.1	26.4	26.7	25.7	27.2



Balance de energía

En la gráfica de resultados sobre el balance de energía se presentan los resultados de las dos variantes a) sin NEC-HS-EE y b) con NEC-HS-EE. Ambas variantes describen, las ganancias (+) y pérdidas (-) en kWh/m²/año frente a las simulaciones del balance energético de 1) la vivienda con acabados medias, y de 2) la vivienda “Juntos por ti” con accesibilidad universal. De tal modo que los resultados del balance de energía se presentan tanto para la vivienda con acabados medios y la “Juntos por ti” en las variantes de implementación, sin NEC-HS-EE y con NEC-HS-EE.

Se observa que sin la implementación de la NEC-HS-EE la “Vivienda tipo con acabados medios-económicos” tiene un balance energético de 5.89 kWh/m²/año en donde su mayor ganancia es a través de las ventanas exteriores (3.15 kWh/m²/año), seguida de las paredes (1.94 kWh/m²/año) y finalmente los techos (0.87 kWh/m²/año). Las pérdidas (-) se registran en los pisos con 0.07 kWh/m²/año. Con la implementación de la NEC-HS-EE la misma vivienda con acabados medios tiene un balance energético de 4.64 kWh/m²/año, esto es 1.25 kWh/m²/año menor que sin la implementación de la norma. Con la implementación de la NEC-HS-EE las ganancias de la vivienda tipo con acabados medios se dan principalmente en las paredes (aumentando a 3.02 kWh/m²/año), ventanas exteriores (reduciendo a 2.64 kWh/m²/año) y pisos (aumentando a 0.23 kWh/m²/año). Las pérdidas (-) se dan en techos con 1.25 kWh/m²/año.

En el caso de la vivienda “Juntos por ti” se observa que sin la implementación de la NEC-HS-EE, la vivienda tiene un balance energético de 8.34 kWh/m²/año en donde su mayor ganancia es a través de las ventanas exteriores (5.95 kWh/m²/año), seguida de las paredes (2.32 kWh/m²/año), y finalmente techos (0.23 kWh/m²/año). Las pérdidas (-) se registran en los pisos con 0.16 kWh/m²/año. Con la implementación de la NEC-HS-EE la vivienda “Juntos por ti” el balance energético es de 6.32 kWh/m²/año. Esto es 2.02 kWh/m²/año menos que sin la implementación de la NEC-HS-EE. Con la implementación de la norma, las ganancias energéticas resultan en ventanas exteriores (reducción a 5.41 kWh/m²/año) y paredes (aumento a 3.23 kWh/m²/año). Las pérdidas (-) resultan en pisos (reducción a 0.08 kWh/m²/año) y en techos (reducción a 2.24 kWh/m²/año).

Consumo de energía

En la gráfica de resultados sobre el consumo de energía se presentan los resultados de las dos variantes a) sin NEC-HS-EE y b) con NEC-HS-EE. Ambas variantes describen, el consumo de energía en kWh por m² al año.

Se observa que sin la implementación de la NEC-HS-EE la “Vivienda tipo con acabados medios-económicos” tiene un consumo total de 57.19 kWh/m²/año en donde 37.18 kWh/m²/año corresponden al consumo originado por la refrigeración de aire (aire acondicionado). Esto corresponde al 65% de consumo frente al restante (35%) originado por equipamiento, iluminación y calentamiento de agua. Con la implementación de la NEC-HS-EE el consumo de energía en la misma vivienda se reduce a 46.73 kWh/m²/año, esto es 10.46 kWh/m²/año menos consumo que sin la aplicación de la norma. Mientras que el consumo relativo al equipamiento, iluminación y calentamiento de agua se mantienen igual, el consumo de energía resulta en una reducción de 37.18 a 26.72 kWh/m²/año.

En el caso de la vivienda "Juntos por ti" se observa que sin la implementación de la NEC-HS-EE, la vivienda tiene un consumo energético de 77.07 kWh/m²/año en donde 50.59 kWh/m²/año corresponden al acondicionamiento del aire (50.59%) y 26.48 kWh/m²/año corresponden al consumo relativo al equipamiento, iluminación y calentamiento de agua. Con la implementación de la NEC-HS-EE el consumo se reduce marginalmente de 77.07 a 76.14 kWh/m²/año (reducción de 0.93 kWh/m²/año). Al igual que en la Vivienda tipo con acabados medios-económicos", la aplicación de la NEC-HS-EE en la vivienda "Juntos por ti" reduce el consumo energético por concepto del acondicionamiento de aire.

Emisiones de kgCO₂eq/m²/año

En la gráfica de resultados sobre las emisiones de GEI se presentan los resultados de las dos variantes a) sin NEC-HS-EE y b) con NEC-HS-EE. Ambas variantes describen, las emisiones expresadas en kgCO₂eq equivalente por m² al año.

Se observa que sin la implementación de la NEC-HS-EE la "Vivienda tipo con acabados medios" tiene total de emisiones de 28.12 kgCO₂-eq/m²/año, en donde la mayor parte (20.42 kgCO₂-eq/m²/año) provienen del acondicionamiento de aire. Con la implementación de la NEC-HS-EE, las emisiones se reducen a 22.37 kgCO₂-eq/m²/año, lo que significa una reducción de 5.75 kgCO₂-eq/m²/año. Al igual que sin la norma, la principal fuente de emisiones proviene del acondicionamiento, pudiéndose observar que, con la implementación de la norma, las emisiones de CO₂ eq. por AC se reducen de 20.42 a 14.67 kgCO₂-eq/m²/año. En el caso de la vivienda "Juntos por ti" se observa que sin la implementación de la NEC-HS-EE, la vivienda tiene un total de emisiones de 29.67 kgCO₂-eq/m²/año, en donde la mayor parte (19.48 kgCO₂-eq/m²/año) provienen del acondicionamiento de aire. Con la implementación de la NEC-HS-EE, las emisiones se reducen marginalmente a 29.30 kgCO₂-eq/m²/año, lo que significa una reducción de 0.37 kgCO₂-eq/m²/año.

La aplicación de la norma contribuye igualmente a una reducción de emisiones de GEI en ambas viviendas. En el caso de la "Vivienda tipo con acabados medios", la norma contribuye a una reducción de -20.45% y en el caso de la vivienda "Juntos por ti" una reducción de 1.23% kgCO₂-eq/m²/año. En términos reales, esto constituye una reducción total de 934.4 kgCO₂-eq/año en la "Vivienda tipo con acabados medios", y 18.42 kgCO₂-eq/año en la vivienda "Juntos por ti". Considerando el las predicciones en el incremento de la demanda de refrigeración con AC (Emmanuel, 2016), el consumo de AC podría aumentar de 4759.04 a 8185.55 kgCO₂-eq/año en la "Vivienda tipo con acabados medios" y de 4330.73 kgCO₂-eq/año en la vivienda "Juntos por ti" hasta el 2100.

DISCUSIÓN

La simulación de las viviendas con la aplicación de la NEC contribuyó a la disminución de la temperatura operativa en ambas viviendas. Con la implementación de la norma, la reducción promedio de entre las dos viviendas significó, frente al promedio de 1672.48 kWh/año reportado por ARCONEL (2017), una reducción del 12.21% de energía eléctrica por habitante.



No cabe duda que las elecciones del consumidor, el comportamiento y la operación del edificio afectan significativamente el consumo de energía [3]. Mientras que existen respuestas y opciones a la mitigación desde cada sector, combinar medidas para reducir el consumo de energía y la intensidad de los GEI frente al CC requiere una combinación equilibrada y eficiente de diferentes instrumentos. En ese sentido, opciones complementarias para la mitigación y reducción del consumo de energía y la intensidad de los GEI frente al CC incluyen a las estrategias de diseño pasivo, que por su naturaleza generan un acondicionamiento ambiental mediante procedimientos naturales desde la escala residencial hasta la urbana. A escala urbana ejemplos incluyen corredores de aire por topografía o con infraestructura verde, y otros como por ejemplo sistemas de sombreado en el espacio público que reduzcan el efecto albedo. Desde la escala residencial algunos ejemplos de estrategias pasivas podrían incluir captadores de vientos o chimeneas solares que provean de ventilación natural y refrescamiento al interior de los edificios sin la necesidad de equipos de refrigeración. Por otra parte, Güneralp et. al (2017) proponen implementar tecnologías de renovación más avanzadas, que eviten el bloqueo en medidas menos eficientes (Güneralp et al., 2017 en [3] como por ejemplo bombas de calor y, más recientemente, diodos emisores de luz [28].

Los efectos de los resultados aquí presentados podrían igualmente amplificarse de tal modo que los beneficios se capitalicen a la escala barrial. En ese sentido, los desarrollos inmobiliarios, por ejemplo, las llamadas “urbanizaciones” podrían igualmente incorporar o reflejar criterios de la NEC-HS-EE a escala barrio. Disch (2011) por ejemplo desarrolló un plan maestro para barrios generadoras de excedentes de energía o *Plus-Energie Quartiere* (Disch, 2011). Su plan ofreció inicialmente sugerencias al municipio y sirvió de base para el plan de desarrollo urbano - proporcionando pautas energéticas, urbanísticas y arquitectónicas para la ciudad de Freiburg, Alemania. El plan maestro de Disch (2011) consideró en su propuesta los componentes urbanos clásicos, pero desde la perspectiva de la optimización de los criterios de sostenibilidad en los ámbitos de la construcción, el uso de suelo, la infraestructura, el espacio público, las zonas verdes, el agua, etc. Su plan exploró una serie de posibilidades innovadoras de eficiencia energética y suministro de energía regenerativa vinculando la propuesta habitacional con un concepto de movilidad sostenible y multimodal. Iniciativas similares se pueden observar en Berlín [30] y otras ciudades de Europa. Impulsos más recientes provenientes del Ecuador y Chile fueron presentados bajo el programa “Comuna energética” durante el encuentro Internacional HÁBITAT III+2 “Quito, Laboratorio de Ciudades de la Nueva Agenda Urbana” (2018) [31].

Los instrumentos y políticas que guían a Estado ecuatoriano a afrontar el fenómeno del cambio climático desde la ENCC, están flanqueadas por leyes y ordenanzas que establecen incentivos o medidas regulativas en puntos clave y establecen un marco regulatorio. Frente al artículo constitucional 413 sobre la promoción de la eficiencia energética, la propuesta de “Ley de eficiencia energética” de la Asamblea Nacional en su versión de 5 de marzo del 2018 describe la eficiencia energética como una de las acciones más relevantes para la reducción del consumo energético. El artículo 13 de la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) establece el obligatorio cumplimiento del PLANEE para el sector público e indicativo para el privado. El PLANEE contempla establecer mecanismos de fiscalización y control para la implementación y aplicación de la NEC-HS-EE a nivel de los GADs y menciona el fortalecimiento de programas de etiquetado de electrodomésticos y así como establecimiento de mecanismos de fiscalización y control para la implementación.

La meta de implementar la NEC-HS-EE en un 20% de los GAD es un avance importante en materia de eficiencia energética y de protección al clima, es importante señalar la necesidad de ampliar la estrategia a viviendas ya construidas, así como a los demás sectores del paisaje urbano. Esto incluye por ejemplo ampliar su incidencia a la organización del territorio y el régimen de competencias de los GADs, incluyendo la prestación de servicios públicos como distribución de agua, distritos de frío, suministro de energía, saneamiento, telecomunicaciones, etc. en la escala de los asentamientos humanos.

Esquemas de certificación como estrategia de mitigación al cambio climático

La contribución de las edificaciones energéticamente eficientes a los objetivos de la agenda política-energética es una estrategia vinculada a aquella de reducción de emisión de GEI. Los resultados aquí presentados establecen una evaluación comparativa, sobre los beneficios derivados de las normas de energía en edificaciones, contribuyendo al desarrollo de conceptos e instrumentos de etiquetado en edificaciones. Iniciativas para desarrollar sistemas de certificación energética al construir, modificar o ampliar edificaciones, inclusive los edificios de uso público, podrían emitirse sobre la base del requerimiento de energía calculada o el consumo de energía medido. En ese sentido, los resultados contribuyen al desarrollo de estándares que apunten hacia aquellos de viviendas pasivas o *Passivhaus* [32], edificaciones de energía cero, o incluso criterios hacia viviendas generadoras de excedentes o *Plusenergiehaus* [33] [29] adecuadas al contexto del Ecuador que integren la totalidad del concepto de sostenibilidad, desde lo económico, ecológico, social durante el todo el ciclo de vida de las edificaciones.

Como contribución a las proyecciones climáticas de mitigación de emisiones de GEI desde el sector residencial de construcción, consideramos la necesidad del desarrollo de estrategias complementarias de reducción de emisiones que incluyan por ejemplo esquemas de etiquetado para los usuarios residenciales, así como ampliar la tipología de edificaciones sujetas a la NEC-HS-EE más allá del uso residencial. En el caso de las medidas de adaptación, consideramos que los resultados de estas simulaciones, así como aquellas que vinculan las proyecciones del consumo de AC hasta el 2100 son insumos básicos, que, junto con los escenarios futuros de cambio climático en los GADs, contribuyen a una planificación bidireccional y articulada entre PUGS y PDOTs. Vinculado con proyectos de investigación, los PDOTs y los PUGs podrían enlazar las escalas de planificación y gestión que atiendan a problemas urbanos como la isla de calor urbano o las inundaciones repentinas con estrategias y conceptos de adaptación provenientes desde el uso de la infraestructura verde o las ciudades esponja.

Es indispensable resaltar y reconocer las limitantes de este estudio. Entre estas están la unidad de análisis que aislada del contexto urbano no cuenta con un detalle exhaustivo del equipamiento dentro de las viviendas tipo o la especificidad del consumo promedio en los ACs simulados. Sin embargo, los resultados abren la oportunidad de desarrollar programas de vivienda integrales, así como para el desarrollo de una política de sustentabilidad enfocada en vivienda social que contemple esquemas de etiquetado o certificación de la eficiencia energética en edificaciones, la reducción de emisiones de CO₂ como Contribución Nacional Determinada (NDC) así como estratégica de mitigación al CC desde los asentamientos humanos.



AGRADECIMIENTOS

Los autores de agradecen al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNNR) y a la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) por facilitar los planos y datos constructivos de las viviendas tipo, así como a la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) por financiar junto con el apoyo de la Cooperación Técnica Alemana (GIZ) la presente investigación.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Karl Heinz Gaudry y Sebastián Espinoza concibieron la investigación; Sebastián Espinoza, Luis Felipe Godoy y Karl Heinz Gaudry diseñaron la metodología, curaron los datos para la investigación, adquirieron, analizaron e interpretaron los datos, y supervisaron y administraron el proyecto; Sebastián Espinoza y Luis Felipe Godoy validaron y verificaron los resultados; Karl Heinz Gaudry, Sebastián Espinoza y Luis Felipe Godoy redactaron el manuscrito; Karl Heinz Gaudry, Guillermo Fernández, Andrea Lobato, Sebastián Espinoza hicieron una revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito; Luis Felipe Godoy y Karl Heinz Gaudry produjeron tablas, figuras y material complementario. Todos los autores contribuyeron al manuscrito y aprobaron la versión final del mismo.

REFERENCIAS

- [1] UNFCCC. (1992). Convención Macro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Organizaciones de las Naciones Unidas. Recuperado de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- [2] IPCC. (2014). *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Climate Change 2014 - Synthesis Report Summary for Policymakers) (p. 151). Geneva, Switzerland.
- [3] J. Rogelj, D. Shindell, K. Jiang, S. Ffita, P. Forster, V. Ginzburg, ... M. V. Vilariño. (2018). *Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development* (Global warming of 1.5°C) (p. 82). Suiza.
- [4] IPCC. (2018). *Global warming of 1.5°C* (No. Summary for Policymakers) (p. 32). Suiza: Intergovernmental Panel on Climate Change, World Meteorological Organization. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- [5] Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución del Ecuador*. Ciudad Alfaro, Montecristi, Ecuador.
- [6] SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida* (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo-Senplades). Quito, Ecuador: SENPLADES.
- [7] MAE. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (Ministerio del Ambiente (MAE), Subsecretaría de Cambio Climático (SCC)). Quito, Ecuador.
- [8] MAE. (2012). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025*. República del Ecuador. Ministerio del Ambiente.
- [9] OECD. (2006). *Adaptation to climate change: Key Terms* (No. COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2006)1). Paris, France: OECD, Environment Directorate International Energy Agency.
- [10] UNFCCC. (2018). UNFCCC eHandbook. Recuperado 13 de julio de 2018, de <https://bigpicture.unfccc.int/content/adaptation.html>
- [11] INEC. (2010). *Resultados del Censo 2010 - Población Nacional* (Censo). Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Estadística y Censos. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados/>
- [12] MAE, Guevara, A., Bravo, F., Molina, R., & Cadilhac, L. (2016). *Resumen del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador. Serie temporal 1994-2012*. Quito, Ecuador.
- [13] MLCSE. (2016). *Balance Energético Nacional 2016 - Año Base 2015*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.

- [14] Lucon O., D., Úrge-Vorsatz, A., Zain Ahmed, H., Akbari, P., Bertoldi, L. F., Cabeza, N., . . . Vilariño, M. V. (2014). Buildings. En *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 68). Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA.: Cambridge University Press.
- [15] Úrge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85-98. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039>
- [16] Emmanuel, R. (2016). *Urban Climate Challenges in the Tropics: Rethinking Planning and Design Opportunities*. Londres: Imperial College Press.
- [17] USDE. (2014). Building Energy Codes Program: National Benefits Assessment, 1992-2040 | Building Energy Codes Program. Recuperado 24 de julio de 2018, de <https://www.energycodes.gov/building-energy-codes-program-national-benefits-assessment-1992-2040-0>
- [18] USDE. (2015). *Achieving Energy Savings and Emission Reductions from Building Energy Codes: A Primer for State Planning*. U.S. Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy. Recuperado de https://www.energycodes.gov/sites/default/files/documents/Codes_Energy_Savings_State_Primer.pdf
- [19] Berardi, U. (2017). A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 230-241. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.03.014>
- [20] CAMICON. (2018, marzo). Boletín técnico: Costo directo del metro cuadrado de construcción - Vivienda tipo con acabados medios - económicos. *Cámara de la industria de la construcción (CAMICON)*, 256, 85-88.
- [21] MIDUVI. (2017). *Informe técnico para validación de tipologías de vivienda para el programa «Casa para Todos»* (Memorando No. Memorando Nro. MIDUVI-GPVU-2017-0225-M). Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Recuperado de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/1.2.-INFORME-T%C3%89CNICO-PARA-VALIDACI%C3%93N-TIPOLOG%C3%8DA-JUNTOS-POR-TI.pdf>
- [22] MIDUVI. Disposición Transitoria - Norma Ecuatoriana de la Construcción, 004-18 Acuerdo Ministerial S Capítulo NEC-HS-EE: Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (2018).
- [23] Gallardo, A., Palme, M., Beltrán, D., Lobato, A., & Villacreses, G. (2016). Analysis and optimization of the thermal performance of social housing construction materials in Ecuador (pp. 360-366). Presentado en 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments, Los Angeles, USA: Passive and Low Energy Architecture (PLEA).
- [24] INEC. (2012). *Encuesta Anual de Edificaciones (Permisos de Construcción)* (Anuario de estadísticas de edificaciones 2012) (p. 168). Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- [25] INEC. (2011). *Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico (NSE)* (p. 37). Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- [26] ARCONEL. (2017). *Estadísticas Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano - versión borrador* (p. 142). Quito, Ecuador: Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Recuperado de http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/Est_2017_borrador_publicado.pdf
- [27] Palme, M., Godoy, F., Villacreses, G., Beltrán, R. D., Gallardo, A., Almaguer Ochoa, M., . . . Kastillo, J. (2017). *Estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y el consumo de energía en viviendas (Actualización)*.
- [28] IEA. (2017). *Energy Technology Perspectives 2017: Catalyzing Energy Technology Transformations* (p. 443). Paris, France: International Energy Agency (IEA).
- [29] Disch, R. (2011). *SolarArchitektur*. Freiburg, Germany: Rolf Disch SolarArchitektu.
- [30] Hirschl, B., Rupp, J., Weiß, J., & Salecki, S. (2015). *Entwurf für ein Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK) - Endbericht* (p. 418). Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH.
- [31] AHK-Ecuador. (2018). Mesa de trabajo permanente sobre Energías Renovables y Eficiencia Energética. Recuperado 26 de diciembre de 2018, de <https://ecuador.ahk.de/es/servicios/proyectos/energias-renovables-y-eficiencia-energetica/esa-de-trabajo-permanente-sobre-energias-renovables-y-eficiencia-energetica/>
- [32] Hatt, T., Saelzer, G., Hempel, R., & Gerber, A. (2012). Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar «Passivhaus» en Chile. *Revista de la construcción*, 11(2), 123-134. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200011>
- [33] Bauer, M., Mösle, P., & Schwarz, M. (2013). *Green Building: Leitfaden für nachhaltiges Bauen* (2.ª ed.). Springer Vieweg. Recuperado de <http://www.springer.com/de/book/9783642382963>