

Energy audit of a Classroom Building in Quito, Ecuador as a strategy to reduce CO₂ emissions

Auditoría energética a un bloque de aulas en Quito, Ecuador como estrategia de reducción de emisiones de CO₂

V. J. Rueda¹

¹Universidad Politécnica Salesiana, GIERENA, Quito, Ecuador
E-mail: vrueda@ups.edu.ec

Abstract

This research seeks to know the energy consumption in Block A of the South Campus of the Salesian Polytechnic University in Quito, Ecuador, through an energy audit, analyzing its thermal envelope, the efficiency of the equipment installed and in this way knowing its current energy rating by simulating its location in Spain, a country that has computer tools for this purpose. The results of this work will assist public and private institutions related to the area. Further, this study will promote the development of a computer tool for energy rating adapted to Ecuador and this way comply with the Energy Efficiency Law approved in 2019.

For this purpose, information was collected on climate parameters, data on the envelope, and thermal installations, etc. Then, through the HULC program, the building's energy rating was emitted, which was E. After this, energy efficiency improvements were proposed. By simulating these improvements, including solar thermal energy, the consumption of non-renewable EP and CO₂ emissions was reduced by 60%, achieving a final energy rating of A.

This work can be improved if more robust information becomes available that will help optimize HULC simulation and promote research on energy audits in buildings related to non-renewable EP consumption and CO₂ emissions.

Index terms— Energy audit, building certification, energy efficiency, renewable energy, climate change.

Resumen

Esta investigación busca conocer el consumo de energía en el Bloque A del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana, en Quito – Ecuador, a través de una auditoría energética, misma que analiza su envolvente térmica, la eficiencia de los equipos térmicos instalados y así conocer su actual calificación energética simulando su ubicación en España, país que cuenta con herramientas informáticas para este fin. Los resultados de ese trabajo ayudarán a instituciones públicas y privadas relacionadas al área a impulsar la creación de una herramienta informática de calificación energética de edificios, exigido en la Ley de Eficiencia Energética aprobada en el año 2019 en Ecuador.

Para esto se recopiló información sobre parámetros climáticos, datos de la envolvente, instalaciones térmicas, entre otras. Después mediante el programa HULC, se emitió la calificación energética del edificio, misma que fue E. Posterior a esto se propuso mejoras de eficiencia energética. Mediante la simulación de estas mejoras, incluyendo la energía solar térmica, se redujo en un 60% el consumo de energía primaria (EP) no renovable y las emisiones de CO₂, logrando una calificación energética final A.

Este trabajo podrá ser mejorado si se llega a contar con información más robusta que ayudará a optimizar la simulación en HULC e impulsa investigaciones sobre auditorías energéticas en edificios relacionadas con los consumos de EP no renovable y emisiones de CO₂.

Palabras clave— Auditoría energética, certificación edificios, eficiencia energética, energías renovables, cambio climático

Recibido: 18-10-2021, Aprobado tras revisión: 18-01-2022

Forma sugerida de citación: Rueda, V. (2022). "Auditoría energética a un bloque de aulas en Quito, Ecuador como estrategia de reducción de emisiones de CO₂". Revista Técnica "energía". No. 18, Issue II, Pp. 38-47

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2022 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

1. INTRODUCCIÓN

En el presente, la humanidad se encuentra luchando frente al “Cambio Climático” (CC), producto de las alteraciones ocasionadas por las actividades humanas que, de forma directa o indirecta, afectan a la composición mundial de la atmósfera [1].

Una de las manifestaciones del CC es el incremento en la temperatura de la Tierra, derivado del aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI), resultado de los procesos productivos de la humanidad, evidenciando su inequívoca responsabilidad [2].

Dentro de las fuentes que emiten los GEI, se encuentran la producción y uso de energía que, según la OLADE, para 2016 representaron los 2/3 de las emisiones mundiales con un aporte del 5% de América Latina [3].

En términos de uso de energía, las edificaciones consumen alrededor del 40% de la misma en climatización de espacios, calentamiento de agua, entre otros, dando como resultado, la emisión del 40% de CO₂ (1/3 del total mundial) [4].

Los edificios y en general el sector de la construcción, se ha ganado el derecho a ser el sector que más energía consume y emisiones genera, aún si se excluye la energía consumida relacionada con el transporte de materiales de construcción hacia sus destinos [5].

A nivel mundial, la energía final consumida en edificios aumentó en más de 8 exajulios (EJ) entre 2010 y 2018, incrementando las emisiones, haciendo necesaria una des carbonización con una transición hacia edificios de consumo casi nulo [6].

De acuerdo a los datos de la IEA de su estudio realizado en 2019, reflejados en la Fig. 1, la emisión de GEI de edificios, para 2018, ha aumentado a 9,7 GtCO₂, un 7% respecto al 2010 y al considerar las emisiones del proceso de fabricación de materiales de construcción se alcanzaron las 11 GtCO₂ [6].

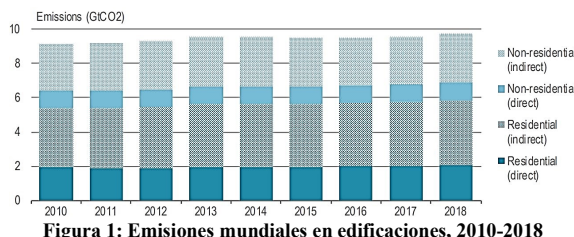


Figura 1: Emisiones mundiales en edificaciones, 2010-2018

Debido a que los edificios pueden generar hasta un 40% del total de emisiones GEI a nivel mundial durante su vida útil [7], se han implementado programas y acciones enfocadas principalmente a reducir la demanda de calefacción y climatización [8].

Es por esto que se ha empezado a hablar de eficiencia energética en los edificios, enfocada en 3 mejoras: soluciones arquitectónicas, rendimiento de equipos energéticos y aprovechamiento de recursos naturales renovables [9].

En el mundo, un país que sobresale en esta área es España, con la creación de normativas que para el año 2002 solicitaba certificar sus edificios, en 2007 ya tenía un proceso básico para este objetivo y desde mediados del 2013 a la actualidad, la certificación de eficiencia energética de los edificios pasó a ser de carácter obligatorio [10].

En la actualidad España incluso cuenta con herramientas informáticas que permiten emitir los certificados energéticos de edificios, una de ellas y la que más sobresale es la Herramienta Unificada LIDER – CALENER (HULC) [10].

Cabe mencionar que el software HULC integra bases de datos climáticos y energéticos de este país, por lo que solo puede ser aplicable en el territorio español o simulando su ubicación en el mismo.

Para el caso de Latinoamérica, entre 2013 y 2016, el consumo energético del sector de la construcción representó el 45% del total energético consumido por la región, que se traduce en la emisión de GEI de alrededor del 25% de la región en 2013 [11], 40% en 2015 [3], pudiendo alcanzar, en años posteriores, el 78% de las mismas [12].

Respecto a la eficiencia energética para calefacción de espacios y calentamiento de agua desde el año 2000 a 2018 se ha mantenido prácticamente constante [13].

Finalmente, se espera que para el año 2050, gracias a la eficiencia energética, el gasto de energía disminuya en 4 kWh/m² para edificios residenciales y en casi 12 kWh/m² en edificios comerciales, mientras que para producir agua caliente sanitaria (ACS), se mantendrían los consumos en edificios residenciales y comerciales en 40 y 27 kWh/m² respectivamente [14].

En Ecuador se ha empezado, en estos últimos años, a profundizar las investigaciones sobre el consumo energético en las edificaciones, es así que, en 2017 gracias al apoyo técnico o financiero de algunas entidades extranjeras, entre ellas el Instituto Geológico y Energético (IIGE), Agencia Española (AECID), Centro Internacional de Métodos Numéricos (CIMNE) y de INERGY, se puso en marcha el proyecto denominado Sistema de Información Energética para Edificios en Ecuador – SIE3 [15].

El proyecto SIE3, monitorizó y sistematizó el consumo de energía de 502 edificios públicos (Fig. 2) de la región costera e insular del país [15], con la finalidad de establecer las prioridades energéticas y su eficiente de la energía de los siguientes 20 años [16].

De este estudio, se pudo conocer (Fig. 3) que los edificios de telecomunicaciones son los que más energía consumen, con un promedio de 342 kWh/m², seguido de los hospitales con un consumo promedio de 189 kWh/m² [16].

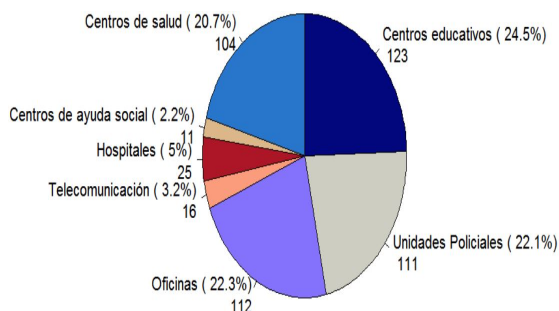


Figura 2: Distribución de edificios analizados, SIE3

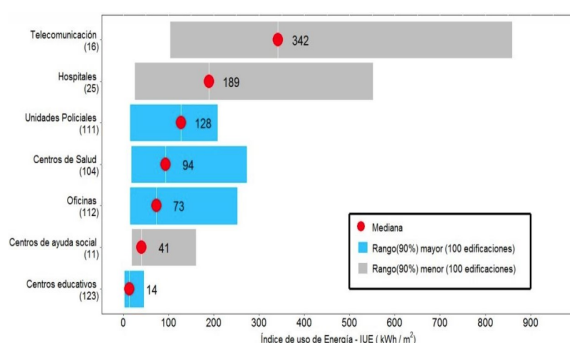


Figura 3: Benchmarking energético de los edificios analizados

Este proyecto tendrá una segunda fase, que se desarrollará en las regiones Sierra y Amazonía y se espera la participación activa del sector privado en la creación de acciones de eficiencia energética [17].

En 2019, gracias a la aprobación de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, en Ecuador se exigirá la calificación energética a las edificaciones nuevas y en vías de remodelación [18]. Cabe mencionar que aún no se ha establecido el respectivo procedimiento de categorización para la calificación energética de las edificaciones.

Se espera que con esta nueva Ley se promueva las energías renovables y se logró reducir los consumos de energías primarias, pero así mismo sin un control puede perjudicar a sectores económicos e incluso generar desempleo [19].

Con esta perspectiva, es evidente que Ecuador está aún muy lejos de un nivel de marco normativo robusto en eficiencia energética para edificaciones, haciendo evidente el amplio campo que hay por investigar y desarrollar en este sentido.

Es por esto que los edificios necesitan ser evaluados con el fin de conocer el impacto en el ambiente, una forma de hacerlo es mediante auditorías energéticas, que logran mejorar la eficiencia energética, incentivan el

ahorro de energía y reducen emisiones de GEI [20].

Esta auditoría permitirá conocer la calificación energética del edificio objeto de estudio respecto a su consumo de EP no renovable y emisiones de CO₂, simulando su ubicación en España, país que cuenta con herramientas informáticas para este fin.

Esta investigación servirá también, de herramienta de soporte para una mejor planificación energética que considere incorporar energías renovables, sistemas y equipos más eficientes reduciendo así la demanda de energía primaria de la edificación [21].

Finalmente, los resultados de este trabajo podrán servir como instrumento de apoyo para instituciones públicas y privadas interesadas en este ámbito, así como impulsar la creación de una herramienta informática nacional de calificación energética a edificios y así ayudar a cumplir lo dispuesto en la nueva Ley de Eficiencia Energética del Ecuador.

2. METODOLOGÍA

La edificación objeto de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Quito, Ecuador dentro del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) [22], identificado como “BLOQUE A” y cuenta con una planta baja y 5 pisos de aulas (Fig. 4).

El edificio, construido en 1998, ocupa una superficie de 1 372,40 m², con área bruta de construcción de 7 248,66 m² y área útil de 7 031.85 m² [23].



Figura 4: Bloque A, Campus Sur de la UPS.

En la Fig. 5 se puede observar las actividades desarrolladas en este proyecto de investigación, mismas que se encuentran divididas en 4 etapas.

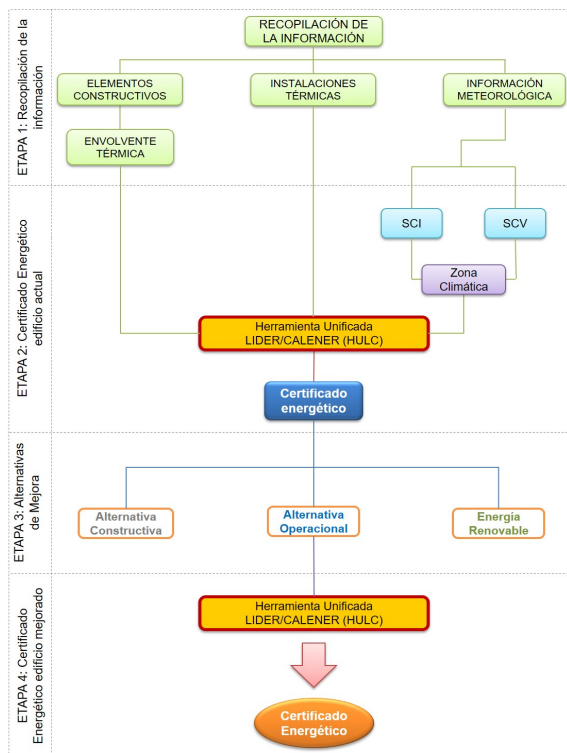


Figura 5: Marco Conceptual de Trabajo

2.1. Etapa 1: Recopilación de la Información

La primera etapa correspondió principalmente al establecimiento de la información base disponible para aplicar el programa informático HULC y los pasos seguidos fueron los siguientes:

- Recopilación de la información de los elementos constructivos de la envolvente del edificio: muro exterior, medianera, tabiques interiores, cubierta exterior, forjado interior, solera y las ventanas.
- Identificación de los equipos asociados a proveer los servicios de ACS, climatización e iluminación.
- Obtención de la información meteorológica del periodo 2017-2019, de la estación meteorológica instalada en la UPS, de las variables: temperatura seca media, horas de sol diarias. Esto fue solicitado al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

2.2. Etapa 2: Certificado Energético Edificio Actual

2.2.1 Definición de la zona climática

Debido a que el inmueble no se encuentra en España, fue necesario estimar, con la información meteorológica, la severidad climática de invierno (1) y severidad climática de verano (2), para así poder definir la zona climática correspondiente al territorio español, esto mediante la aplicación de las siguientes expresiones [24].

$$SCI = a \cdot GD + b \cdot \frac{n}{N} + c \cdot GD^2 + d \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^2 + e \quad (1)$$

donde a, b, c, d y e son coeficientes de regresión, GD son los grados día de invierno (octubre a mayo) en base 20 y n/N es el cociente entre número de horas de sol y número de horas de sol máxima (octubre a mayo).

$$SCV = a \cdot GD + b \cdot GD^2 + c \quad (2)$$

donde a, b y c son coeficientes de regresión, GD son los grados día de verano (junio a septiembre) en base 20 y n/N es el cociente entre número de horas de sol y número de horas de sol máxima (junio a septiembre).

2.2.2 Simulación en HULC

El programa HULC permite generar el Certificado Energético de Edificios, que incluye la calificación energética del consumo de energía primaria y emisiones de CO₂, esto gracias a la simulación de las características geométricas, constructivas y operacionales del edificio [25].

En este punto se obtendrá el Certificado Energético del Bloque A para sus condiciones actuales de construcción y operación.

2.3. Etapa 3: Alternativas de Mejora

Considerando que la calificación energética del edificio está relacionada con la calificación parcial del consumo de EP del sistema de ACS e iluminación y emisión global de CO₂ [26], se ha planteado las siguientes alternativas de mejora:

2.3.1 Alternativas constructivas

Medida 1: Incorporar a las ventanas marcos PVC de 2 cámaras en lugar de los marcos metálicos actuales, junto con vidrios dobles de baja emisividad con gas argón y protección interior con persianas, en reemplazo de los vidrios monolíticos.

Para las puertas de vidrio se propone instalar marcos PVC de 2 cámaras junto con vidrios dobles bajo emisivos (<0,03).

Medida 2: Incorporar aislamiento de lana mineral en la cubierta, el forjado interior y la solera.

2.3.2 Alternativas operacionales

Medida 3: Sustitución del equipo de ACS actual (calefón eléctrico) por una caldera de biomasa, cuyo combustible serán pellets de madera.

Medida 4: Se propone la sustitución de tubos fluorescentes de 36 W, que se encuentran instalados en el edificio objeto de estudio por tubos LED de 17 W de 1200 mm de longitud.



2.3.3 Propuesta de aplicación de energía renovable

Medida 5: Se seleccionó la instalación de energía solar térmica a través de captadores solares térmicos, para la producción de ACS, como la alternativa de aplicación de energía renovable en el edificio.

Para este punto, se determinó la demanda de energía en invierno y verano aplicando la ecuación (3).

$$Q \text{ (kWh)} = M \times \rho \times C_p (T_{cal} - T_{fría}) \quad (3)$$

donde Q es la demanda de energía, M es el consumo de agua, que para este edificio es 1680 litros por día, ρ es la densidad del agua (1kg/l), C_p es el calor específico del agua (1,16·10⁻³ kWh/(kg·K)), T_{cal} es la temperatura de agua caliente (60°C), $T_{fría}$ es la temperatura de agua fría del suministro, que para el caso de Las Palmas de Gran Canaria, en invierno es de 15°C y en verano 19°C [27].

La superficie necesaria de captación fue determinada mediante la ecuación (4).

$$S_l = \frac{FS_{min} \times Q}{\eta \times E_{util}} \quad (4)$$

donde S es la superficie de captación necesaria, FS_{min} es la fracción solar mínima, para invierno es 0,35 y para verano 0,85; Q es la demanda de energía, η es el rendimiento de la instalación, se tomará un valor de 0,5; E_{util} es la radiación media diaria de Las Palmas de Gran Canaria, que para invierno es 3,24 kW h · m⁻² · día⁻¹ y para verano 6.51 kW h · m⁻² · día⁻¹, estos datos fueron extraídos de la Agencia Estatal de Meteorología [28].

2.4. Etapa 4: Certificado Energético Edificio Mejorado

2.4.1 Simulación en HULC

Finalmente se obtendrá el Certificado Energético del edificio después de ser aplicadas las medidas de mejora en el programa de certificación energética HULC, conociendo de esta manera la calificación energética final del consumo de EP y de las emisiones de CO₂ del edificio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se puede observar la suma de los grados – día de invierno (GD_i), grados – día de verano (GD_v), el número de horas de sol (n), el número de horas de sol máxima (N) y so cociente (n/N).

Estos parámetros son necesarios para la estimación de la SCI y SCV, que a su vez son utilizados para determinar la zona climática de España a la que pertenece el Bloque A de la UPS.

Tabla 1. Parámetros para estimar SCI y SCV

Mes	GD _v	GD _i	n	N	n/N
Enero		201,84	165,25	372	0,44
Febrero		176,62	139,45	336	0,42
Marzo		186,88	153,80	372	0,41
Abril		798,79	148,00	360	0,41
Mayo		201,76	141,10	372	0,38
Junio	0				
Julio	0				
Agosto	0				
Septiembre	0				
Octubre		208,21	179,40	372	0,48
Noviembre		198,46	144,35	360	0,40
Diciembre		197,53	170,10	372	0,46
Total	0	1570,09	1241,45	2916,00	3,40

Al utilizar la ecuación (1) y (2), se obtuvo los valores de SCI y SCV mostrados en la Tabla 2, que al ser comparados con lo establecido en el Documento descriptivo climas de referencia del DB – HE0, se conoció que la zona climática en España, a la que pertenece el Bloque A de la UPS es **α1**.

Debido a que no existe territorio en esta zona, se seleccionó la zona con territorio más cercana, a saber, **α3**, dentro de la cual se ha optado por la localidad española de Las Palmas de Gran Canaria, perteneciente a la Comunidad Autónoma de Canarias [24].

Tabla 2: Estimación de SCV y SCI

Parámetro	Valor	α*	A*
SCI	-1,57	SCI ≤ 0	0 < SCI ≤ 0,23
Parámetro	Valor	1*	2*
SCV	-0,17	SCV ≤ 0,5	0,5 < SCV ≤ 0,83

*Fuente: DB – HE0

Con esta información, se procedió al análisis técnico en HULC, simulando las características constructivas y operacionales del Bloque A de la UPS. En la Fig. 6 se observa un ejemplo de la información ingresada en HULC para la simulación del edificio objeto de estudio.

En la Fig. 7, se observa la simulación 3D del Bloque A, en el programa HULC, después de ingresados los datos arquitectónicos del mencionado edificio

Nombre: MURO_EXTERIOR

Composición del Censamiento:
Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior)
Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo)

NP	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,010	0,570	1150	1000	
2	Mortero de cemento o cal para abanillería y	0,015	1,000	1525	1000	
3	BH convencional espesor 250 mm	0,250	1,007	685	1000	
4	Mortero de cemento o cal para abanillería y	0,015	1,000	1525	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,010	0,570	1150	1000	
6						

Grupo Material: Enlucidos
Material: Enlucido de yeso 1000 < d < 1300
Espesor [m]:

U_M: 2,07 [W/m²K]
U_C: 2,21 [W/m²K]
U_S: 1,91 [W/m²K]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar Aceptar

Figura 6: Características del muro exterior, HULC.

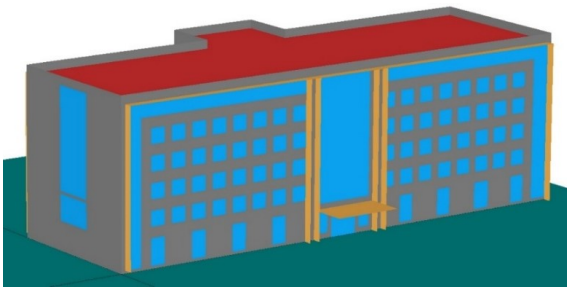


Figura 7: Simulación del Bloque A en HULC.

La calificación energética actual, mediante el análisis técnico en HULC, del Bloque A fue “E”, tanto para el consumo de EP no renovable (kWh/m² año) como para emisiones de CO2 (kgCO2/m2 año), tal como se puede observar en la Fig. 8. Esta baja calificación se debe al consumo de energía por parte de los sistemas de iluminación y generación de ACS.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m²-año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m²-año)	
<15,62 A	<4,14 A	15,62-25,3 B	4,14-6,74 B
15,62-25,3 B	4,14-6,74 B	25,38-39,04 C	6,74-10,36 C
25,38-39,04 C	6,74-10,36 C	39,04-50,76 D	10,36-13,47 D
39,04-50,76 D	10,36-13,47 D	50,76-62,47 E	13,47-16,58 E
50,76-62,47 E	13,47-16,58 E	62,47-78,09 F	16,58-20,72 F
62,47-78,09 F	16,58-20,72 F	>=78,09 G	>=20,72 G

52,37 E 13,90 E

Figura 8. Calificación energética del Bloque A (HULC)

Al simular las mejoras realizadas en las ventanas y puertas de vidrio, la calificación energética no varía para ningún parámetro y se mantiene en la letra E (Fig. 9). Esto sucede debido a que el edificio no posee instalaciones de climatización, por lo que no optimiza la calificación energética.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m²-año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m²-año)	
<15,62 A	<4,14 A	15,62-25,3 B	4,14-6,74 B
15,62-25,3 B	4,14-6,74 B	25,38-39,04 C	6,74-10,36 C
25,38-39,04 C	6,74-10,36 C	39,04-50,76 D	10,36-13,47 D
39,04-50,76 D	10,36-13,47 D	50,76-62,47 E	13,47-16,58 E
50,76-62,47 E	13,47-16,58 E	62,47-78,09 F	16,58-20,72 F
62,47-78,09 F	16,58-20,72 F	>=78,09 G	>=20,72 G

52,37 E 13,90 E

Figura 9: Calificación energética mejora de ventanas (HULC)

Con la simulación de la incorporación del aislamiento térmico, la calificación energética tampoco mejora en el edificio (Fig. 10), esto debido a lo ya mencionado en la calificación energética de la mejora de las ventanas y puertas de vidrio.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m²-año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m²-año)	
<15,62 A	<4,14 A	15,62-25,3 B	4,14-6,74 B
15,62-25,3 B	4,14-6,74 B	25,38-39,04 C	6,74-10,36 C
25,38-39,04 C	6,74-10,36 C	39,04-50,76 D	10,36-13,47 D
39,04-50,76 D	10,36-13,47 D	50,76-62,47 E	13,47-16,58 E
50,76-62,47 E	13,47-16,58 E	62,47-78,09 F	16,58-20,72 F
62,47-78,09 F	16,58-20,72 F	>=78,09 G	>=20,72 G

52,37 E 13,90 E

Figura 10: Calificación energética con aislamiento (HULC)

Gracias a la incorporación de una caldera de biomasa la calificación energética ya presentó una mejora, como se puede observar en la Fig. 11, ahora esta es “C”, tanto para emisiones de CO2 y consumo de EP no renovable.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m²-año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m²-año)	
<15,62 A	<4,14 A	15,62-25,3 B	4,14-6,74 B
15,62-25,3 B	4,14-6,74 B	25,38-39,04 C	6,74-10,36 C
25,38-39,04 C	6,74-10,36 C	39,04-50,76 D	10,36-13,47 D
39,04-50,76 D	10,36-13,47 D	50,76-62,47 E	13,47-16,58 E
50,76-62,47 E	13,47-16,58 E	62,47-78,09 F	16,58-20,72 F
62,47-78,09 F	16,58-20,72 F	>=78,09 G	>=20,72 G

32,80 C 8,87 C

Figura 11: Calificación energética caldera de biomasa (HULC)

La aplicación de la medida de mejora que contempló el cambio por iluminación LED, también mejoró la calificación energética de edificio, pasando a ser nuevamente C para emisiones de CO2 y consumo de EP no renovable (Fig. 12).

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m²-año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO2/m²-año)	
<17,91 A	<4,75 A	17,91-29,1 B	4,75-7,72 B
17,91-29,1 B	4,75-7,72 B	29,11-44,78 C	7,72-11,86 C
29,11-44,78 C	7,72-11,86 C	44,78-58,21 D	11,86-15,45 D
44,78-58,21 D	11,86-15,45 D	58,21-71,64 E	15,45-19,01 E
58,21-71,64 E	15,45-19,01 E	71,64-89,55 F	19,01-23,77 F
71,64-89,55 F	19,01-23,77 F	>=89,55 G	>=23,77 G

37,01 C 9,82 C

Figura 12: Calificación energética lámparas LED (HULC)

El cambio a luminarias de tecnología LED, puede generar una reducción considerable de las emisiones de CO2, a la atmósfera [29], llegando a estar entre el 25% a 50% del uso de sistemas convencionales [30].

Las mejoras en las ventanas y puertas de vidrio e incorporación de aislamiento, no mejoraron la calificación energética del edificio, por lo que se simuló en conjunto sólo la incorporación de la caldera de biomasa y la sustitución por lámparas LED.

Al hacer esto, se obtuvo una calificación energética “B”, para emisiones de CO2 y consumo de EP no renovable (Fig. 13).

Para la simulación de la alternativa de implementación de una energía renovable, se determinó los parámetros de diseño mostrados en la Tabla 3.



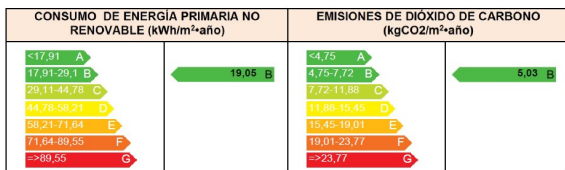


Figura 13: Calificación energética lámparas LED y caldera de biomasa (HULC)

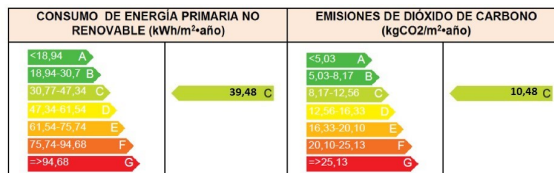


Figura 15: Calificación energética energía renovable (HULC)

Tabla 3: Parámetros diseño energía solar térmica

Parámetro	Valor	CHEQ 4
Demanda ACS (L/día)	1680	-
Qi (kWh)	87,696	-
Qv (kWh)	79,901	-
Si (m ²)	18,947	-
Sv (m ²)	20,865	-
Área de captador (m ²)	1,95	-
Captadores	11	14
Acumulador (L)	1 500	-
Fracción solar (%)	< 60	65

España exige la verificación del Código Técnico de la Edificación en su apartado de energía renovable (CTE – HE4), por lo que su verificación se realizó en el programa CHEQ4 [31].

Al simular el dimensionamiento, se evidenció que no cumple con el aporte solar mínimo procedente de energía renovable del 60%, por lo que se aumentó a 14 captadores (Tabla 3), con lo que se logró un aporte solar del 65%, dando cumplimiento al HE4 (Fig. 14).

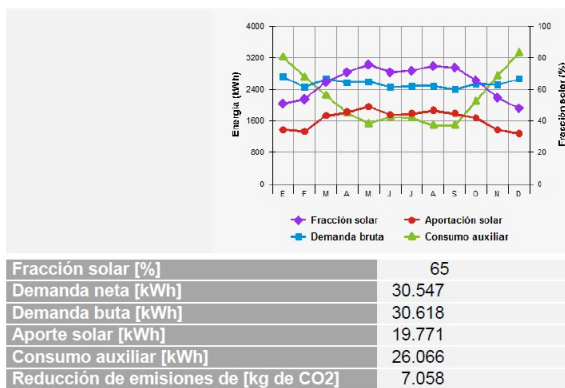


Figura 14: Verificación de energía renovable, CHEQ4

Con la aplicación de la energía solar térmica, mediante captadores solares, como alternativa de energía renovable, se logró mejorar la calificación energética a una “C”, como se muestra en la Fig. 15, para emisiones de CO₂ y para consumo de EP no renovable.

Adicionalmente, se incluyó el resultado del análisis técnico en HULC, de la combinación de las siguientes mejoras: caldera de biomasa, lámparas LED y la incorporación de energía renovable.

Con esto, se obtuvo una calificación energética final de “A” para emisiones de CO₂, así como para el consumo de EP no renovable (Fig. 16).

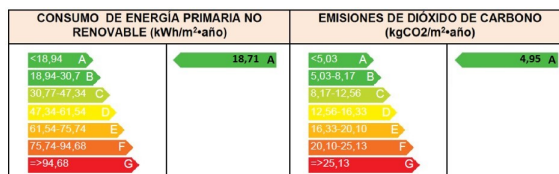


Figura 16: Calificación energética final del edificio (HULC)

Se obtuvo así mismo, los ahorros generados por cada una de las medidas de mejora energética, respecto al consumo de EP primaria y emisiones globales de CO₂ (Fig. 17).

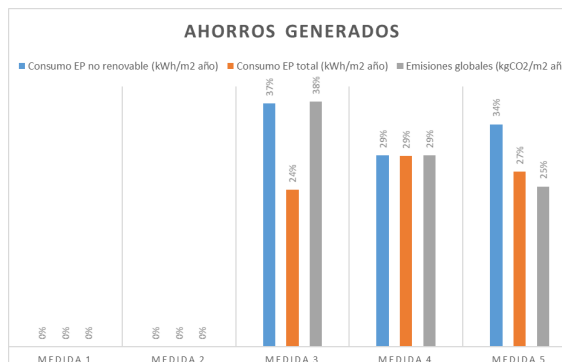


Figura 17: Ahorro generado de cada mejora implementada

De este análisis se pudo conocer que, la mejor medida para disminuir el consumo de EP no renovable fue la incorporación de una caldera de biomasa (37% menos), para disminuir el consumo de EP total fue la iluminación por tecnología LED (29% menos), seguido muy de cerca por la aplicación de energía renovable (27% menos) y para la reducción de emisiones de CO₂, la mejor alternativa fue la incorporación de la caldera de biomasa para ACS (38% menos).

Finalmente, en las Fig. 18, Fig. 19 y Fig. 20 se observa los resultados de los consumos de EP no renovable, EP total y emisiones globales de CO₂ respectivamente, antes y después de la aplicación de las medidas de mejora al edificio.



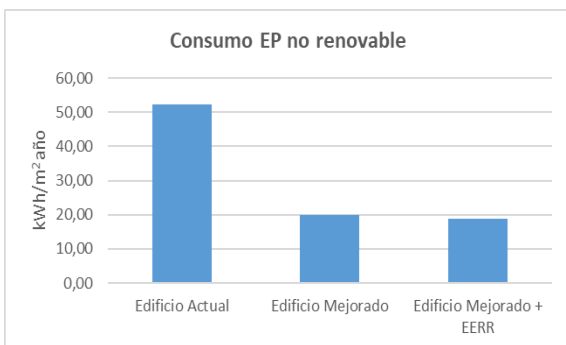


Figura 18: Reducción del consumo de EP no renovable

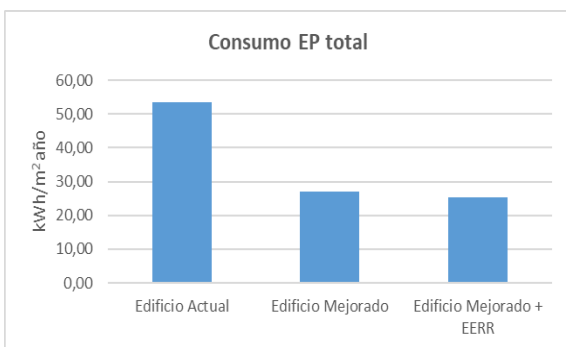


Figura 19: Reducción del consumo de EP total

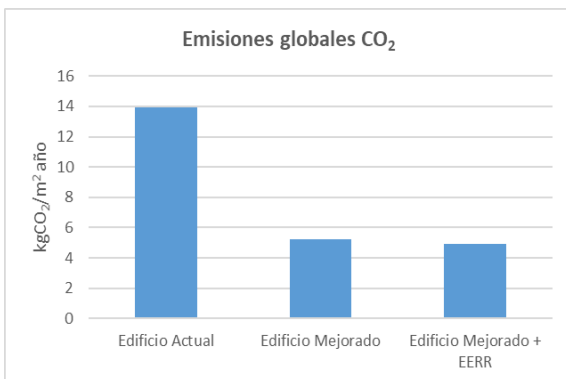


Figura 20: Reducción de las emisiones globales de CO₂

De estas últimas gráficas se constató una reducción del consumo de EP no renovable en casi un 60%, de la EP total en un 50% y así mismo una reducción del 60% en las emisiones globales de CO₂ del edificio.

Estos resultados, permiten plantearse la posibilidad de efectuar, para el país, auditorías energéticas enfocadas en optimizar sus sistemas constructivos y operacionales con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ y consumo de energía primaria.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Fue posible la utilización de un software oficial del Gobierno de España para calificar energéticamente a un edificio de Ecuador, simulando su ubicación en el mencionado país.

Mediante esta auditoría, se pudo establecer alternativas de mejora que lograrían la reducción de las emisiones de CO₂ del Bloque A de la UPS, en hasta un 60%, considerando su ubicación simulada en España.

La posibilidad de cubrir una parte de la demanda de ACS en edificaciones con energías renovables promueve la reducción de emisiones de CO₂, mejorando la calificación energética en las mismas.

Se plantea la alternativa de llevar a efecto auditorías energéticas con el fin de cuantificar y establecer alternativas para disminuir las emisiones de CO₂ de los edificios en el país.

La calificación energética de los edificios puede convertirse en un indicador de responsabilidad ambiental para el sector de la construcción.

De acuerdo a lo revisado en el Ecuador sobre auditorías energéticas enfocadas en conocer consumos de EP no renovable y emisiones de GEI, este estudio es referencial.

Este tipo de estudios podrán ser ampliados y mejorados si se llega a contar con bases de datos más robustas y confiables de elementos constructivos o equipos térmicos instalados en las edificaciones.

Se recomienda realizar mesas de trabajo para la creación de una herramienta de calificación energética para nuestro país con el fin de conocer los consumos de energía primaria no renovable y emisiones de GEI reales de las edificaciones.

AGRADECIMIENTOS

A Raquel Calderón por su apoyo constante. A Daniel García de Frutos, docente de la Universidad Internacional de la Rioja (España), por su apoyo con la herramienta HULC. A la Universidad Politécnica Salesiana por la apertura a la información del edificio objeto de estudio. Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), por la entrega de datos climáticos para el estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNFCCC, “Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático,” 1992.
- [2] L. Martín Murillo, J. Rivera Alejo y R. Castizo Robles, “Cambio climático y desarrollo sostenible en Iberoamérica 2018,” 2019.
- [3] OLADE, “Cambia la energía cambia el clima: Cambio climático y su impacto en el sector energético,” 2016.
- [4] G. Álvarez, “Energía en Edificaciones,” Revista Mexicana de Física, vol. 59, n° 2, pp. 44-51, 2013.

- [5] IEA & UNEP, “2018 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector,” 2018.
- [6] GlobalABC, IEA & UNEP, “2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector,” 2019.
- [7] C. Muñoz, C. Zaror, G. Saelzer y A. Cuchí, “Study of Energy Flow in the life cycle of a housing and its implication on emissions of greenhouse gases, during the construction phase Case Study: Social Typology. Biobío Region of Chile,” *Revista de la Construcción*, vol. 11, n° 3, pp. 125-145, 2012.
- [8] C. Alonso, I. Oteiza y J. García, “Criterios para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el proyecto de fachadas de edificios de viviendas,” 2014. [Online]. Available: <https://bit.ly/3oNpwsK>.
- [9] S. Montero, L. Morales, S. Carrascón, A. Cot y R. Farré-Escofet, “Eficiencia energética de Edificios Residenciales,” 2009.
- [10] Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, “Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC),” s/f. [Online]. Available: <https://bit.ly/35T6tF2>. [Accessed: mar 2020].
- [11] D. Cesano y J. Russell, “Green Building in Latin America,” 2014.
- [12] J. Aliaga Lordemann y H. Villegas Quino, “Cambio Climático, Desarrollo Económico y Energías Renovables: Estudio exploratorio de América Latina,” 2009.
- [13] IEA, “Tracking Buildings,” 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/3oJVnuq>. [Accessed: mar 2020].
- [14] D. Üрге-Vorsatz, L. Cabeza, S. Serrano y C. Barreneche, “Heating and cooling energy trends and drivers in buildings,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 85-98, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039>.
- [15] IIGE, “El IIGE analiza el consumo y gestión energética en 502 edificios públicos,” 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/2HI63cD>. [Accessed: mar 2020].
- [16] CIMNE, “SIE3 Sistema de Información Energética de Edificios en Ecuador,” 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/3jIkQ3L>. [Accessed: mar 2020].
- [17] El Telégrafo, “Telecomunicaciones es el sector de mayor consumo de electricidad en el país,” 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/2HID34t>. [Accessed: mar 2020].
- [18] El Comercio, “20 datos que debe saber sobre la Ley de Eficiencia Energética,” 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/320q3y0>. [Accessed: abr 2020].
- [19] C. Sánchez, “Nueva Ley de eficiencia energética de Ecuador genera dudas entre expertos: ECUADOR ENERGÍA,” 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/35N1III>. [Accessed: abr 2020].
- [20] REMICA, “Así son las auditorías energéticas en edificios,” 2018. [Online]. Available: <https://bit.ly/3mAG3OQ>. [Accessed: abr 2020].
- [21] E. Alonso Galán, “Auditoría energética de un bloque de viviendas en Madrid,” Universidad Internacional de la Rioja, Madrid, España. Feb 2018.
- [22] Universidad Politécnica Salesiana, “Sede Quito,” s/f. [Online]. Available: <https://bit.ly/3ecoKRt>. [Accessed: abr 2020].
- [23] S. Pino, “Smart Campus UPS,” 2018. [Accessed: abr 2020]. [Online]. Available: <https://bit.ly/3oKCZBJ>.
- [24] Ministerio de Fomento, “Documento descriptivo climas de referencia,” 2017.
- [25] P. Serrano, “Programas oficiales para la certificación energética de edificios” 2016. [Online]. Available: <https://bit.ly/3eq14vD>. [Accessed: abr 2020].
- [26] IETcc-CSIC & AICIA, “Calificación de la eficiencia energética de los edificios,” 2015.
- [27] Ministerio de Fomento, “Documento Básico HE Ahorro de Energía,” 2019.
- [28] AEMET, “Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT,” 2012.
- [29] D. Ibáñez Cervera, “Realización de un estudio de eficiencia energética de iluminación interior de edificios docentes aplicado a la ETS de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación,” Universidad de Cantabria, España. Oct. 2014.
- [30] P. Reyes Pérez, “Propuesta para una iluminación eficiente en el edificio de Ciencias Forenses y Medicina Legal de San Joaquín de Flores, Heredia,” Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Nov. 2016.
- [31] CHEQ4. (2019). IDEA & ASIT. [Accessed: mar 2020]. [Online]. Available: <https://bit.ly/3AH1Pr8>.





Víctor John Rueda Punina. -

Nació en Quito, Ecuador en 1991. Recibió su título de Ingeniero Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador en 2017; y su título de Máster en Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones de la Universidad Internacional de la Rioja de España en 2020. Actualmente forma parte del Grupo de Investigación en Ecología y Gestión de los Recursos Naturales – GIERENA en la Universidad Politécnica Salesiana. Sus campos de investigación están relacionados con la Bioenergía, Eficiencia Energética, Energías Renovables y Gestión Ambiental.