

1 Biotempo, 2024, vol. 21 (2), XX-XX.

2 DOI: <https://doi.org/10.31381/biotempo.v21i2.6680>

3
4
5
6
7

Este artículo es publicado por la revista Biotempo de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.



8

9

10

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

11

12

Implementation of green walls on the east and west facades of the faculty of biological sciences of the Ricardo Palma university, lima-Peru and the reduction of energy consumption and CO₂ emission

13

14

15

16

IMPLEMENTACIÓN DE MUROS VERDES EN LAS FACHADAS ESTE Y OESTE DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, LIMA-PERÚ Y LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y LA EMISIÓN DE CO₂

17

18

19

20

21

Alejandro Gómez-Ríos¹; Doris Esenarro-Vargas^{1*}; Vanessa Raymundo-Martínez¹ & Stefany Vilchez-Yupanqui¹

22

23

24

¹ Universidad Ricardo Palma (URP), Lima, Perú.

25

26

*Corresponsal author: doris.esenarro@urp.edu.pe

27

28

Gómez *et al.*

29

Titulillo: Implementation of green walls of the Faculty of Biological Sciences

30

Alejandro Gómez-Ríos:  <https://orcid.org/0000-0002-9883-3451>

31

Doris Esenarro-Vargas:  <https://orcid.org/0000-0002-7186-9614>

32

Vanessa Raymundo-Martínez:  <https://orcid.org/0000-0001-9264-0176>

33

Stefany Vilchez-Yupanqui:  <https://orcid.org/0000-0003-1877-0508>

34

35

36

37

ABSTRACT

38 The research aims to demonstrate the reduction in energy consumption in the adjacent
39 environments of the east and west facades of the faculty of biological sciences of the Ricardo
40 Palma university, Lima-Peru through the implementation of green walls. The use of
41 electrical lighting and artificial climate control systems has led to buildings with a high CO₂
42 emission index due to the large energy consumption required for their proper operation. The
43 implementation of the three types of green walls, which prevent the heating of brick walls
44 through their shade and thermal transmittance value, has allowed for an 80% reduction in
45 energy consumption, due to the improved thermal performance of the adjacent
46 environments. Additionally, this has reduced the building's CO₂ emissions to only 2 tons per
47 year due to the decrease in conventional consumption that the adjacent environments of the
48 brick walls previously had. This improvement in thermal comfort is promoted by the green
49 wall proposal on the east and west facades. The work demonstrates that green walls are a
50 solution that improves indoor environmental conditions, reduces energy consumption, and
51 enhances the natural habitat by decreasing CO₂ emissions.

52 **Keywords:** carbon dioxide - energy consumption - energy efficiency - green walls

53

54 **RESUMEN**

55 La investigación tiene como objetivo demostrar la disminución del consumo energético en
56 los ambientes colindantes de las fachadas este y oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas
57 de la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú por la implementación de los muros verdes.
58 El uso de sistemas eléctricos de iluminación y de climatización artificial ha promovido
59 edificaciones con alto índice de emisión de CO₂ producto del gran consumo energético para
60 su funcionamiento adecuado. La implementación de los tres tipos de muros verdes, que
61 evitan el calentamiento de los muros de ladrillo, por su sombra y por su valor de
62 transmitancia térmica, han permitido reducir en 80% el consumo energético, debido a la

63 mejor performance térmica de los ambientes colindantes. Asimismo, reduciendo las
64 emisiones de CO₂ del edificio a solo 2 Ton/a debido a la disminución del consumo
65 convencional que tenían los ambientes colindantes a los muros de ladrillo, ello, por la mejora
66 en el bienestar térmico promovido por la propuesta de los muros verdes en las fachadas este
67 y oeste. El trabajo demuestra que los muros verdes, son una solución que permiten mejoras
68 las condiciones de los ambientes interiores, reduce el consumo energético y además de
69 mejorar el hábitat natural al disminuir las emisiones de CO₂.

70 **Palabras claves:** consumo energético - dióxido de carbono - eficiencia energética - muros
71 verdes

72

73 INTRODUCCIÓN

74 El suministro de energía está emergiendo como uno de los desafíos más
75 significativos en nuestra sociedad. (Cubilla & Estenssoro, 2011; Comisión Económica para
76 América Latina y el Caribe, 2013). La demanda está en constante aumento debido al
77 crecimiento económico continuo, especialmente en países en desarrollo que están
78 experimentando una transición fundamental desde un estado de desarrollo industrial
79 incipiente a uno caracterizado por la rápida adopción de maquinaria, procesos industriales
80 modernos y patrones de consumo que se asemejan cada vez más a los de las economías más
81 avanzadas (Voinea *et al.*, 2023).

82 La globalización ha acelerado el progreso económico mediante la interconexión de
83 economías y la circulación de bienes, servicios, información y capitales. La Agencia
84 Internacional de la Energía proyecta un aumento del 53% en la demanda energética para
85 2030, con China e India representando el 70% de este incremento. Junto a este desafío de
86 demanda, surge el problema medioambiental de las emisiones de CO₂ derivadas del uso de
87 energía eléctrica (Hochstetter-Diez *et al.*, 2023; Guerrero-Puerta, 2023).

88 El informe emitido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)
89 en enero en París confirma la existencia de un fenómeno de calentamiento global en la Tierra,
90 señalando con alta probabilidad que la actividad humana, específicamente las emisiones de
91 gases de efecto invernadero, es una de las principales causas de dicho calentamiento. Este
92 dictamen resalta la vinculación directa entre las acciones humanas y los cambios observados
93 en el clima global (Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático,
94 1988a; Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático, 1988b).

95 Las consecuencias a nivel global sobre la vida y la sociedad aún presentan un grado
96 significativo de incertidumbre, aunque las perspectivas no son optimistas. Más allá de las
97 acciones que puedan emprender los líderes de distintos países y del impacto que pueda
98 derivar del avance del Protocolo de Kyoto y otros tratados internacionales futuros, resulta
99 esencial explorar las medidas que las empresas y diversos sectores económicos pueden
100 adoptar (Velázquez de Castro-González, 2005; Quintana, 2017) Estas acciones deberían
101 estar orientadas a mitigar el problema de la escasez energética mediante mejoras en la
102 eficiencia del uso de la energía, al tiempo que se busca reducir el impacto ambiental asociado
103 principalmente al consumo de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto
104 invernadero. Un análisis superficial indica que el sector de las Tecnologías de la Información
105 puede desempeñar un papel crucial en abordar el problema energético. Este reconocimiento
106 destaca el potencial significativo de dicho sector para contribuir a solucionar los desafíos
107 energéticos actuales (Wang *et al.*, 2019; Kim, 2021).

108 Las instituciones de educación desempeñan un papel fundamental como centros de
109 formación académica y profesional, ofreciendo un entorno propicio para la promoción y
110 concientización en torno a la educación ambiental y, por ende, la preservación del medio
111 ambiente (Peñañiel, 2018; Pulido & Olivera, 2018). En el contexto de esta investigación, se
112 eligió la Facultad de Ciencias Biológicas (BIO) de la Universidad Ricardo Palma (URP),

113 Lima, Perú, tras una evaluación exhaustiva de sus condiciones espaciales y los desafíos que
114 enfrenta durante el verano. Dichos desafíos impactan de manera significativa en el confort
115 térmico, generando molestias tanto para los profesores como para los estudiantes (Ferrelli &
116 Piccolo, 2016; Ministerio del Ambiente, 2022). La implementación de muros verdes en
117 ambas fachadas de la BIO se llevó a cabo entre febrero de 2022 y marzo de 2023.

118 El estudio se basa en la premisa de que las instituciones educativas, al adoptar
119 medidas como la implementación de muros verdes, pueden no solo mejorar el confort
120 térmico dentro de sus instalaciones, sino también contribuir a la reducción del consumo
121 energético. Este enfoque integrado no solo aborda las necesidades prácticas de la BIO, sino
122 que también se alinea con las evidencias científicas existentes en el campo de la eficiencia
123 ambiental y el diseño arquitectónico.

124 El entorno urbano de los campus universitarios proporciona la oportunidad de
125 incorporar diversas estructuras arquitectónicas, como aulas, laboratorios, bibliotecas,
126 oficinas administrativas, cafeterías, restaurantes, áreas deportivas, zonas de mantenimiento,
127 espacios abiertos de circulación, áreas de encuentro estudiantil y estacionamientos. Sin
128 embargo, esta configuración conlleva a una disminución de las áreas verdes debido a la
129 priorización de los metros cuadrados destinados a construcción (Villanueva *et al.*, 2013;
130 Ministerio de Educación, 2021). La falta de un plan de gestión adecuado para las áreas verdes
131 resulta en la prevalencia de superficies como cemento, asfalto y concreto en lugar de
132 espacios verdes (Ren *et al.*, 2023). Esto genera diversos problemas, incluyendo áreas
133 excesivamente calentadas, como estacionamientos, pasillos y techos, contribuyendo al
134 sobrecalentamiento del campus y la escasez de generadores de oxígeno (Guo *et al.*, 2023).

135 En este contexto, el Proyecto Universidad Ecológica-URP propone una estrategia de
136 gestión para las áreas verdes, con la implementación de muros verdes en las fachadas este y
137 oeste de la BIO (Pichlhofer *et al.*, 2023; Ruiz-Valero *et al.*, 2023).

138 La climatización se enfoca en proporcionar confort térmico dentro de un edificio, y
139 este confort puede lograrse mediante diversas técnicas, como el uso de aire acondicionado,
140 la exposición al sol, la ventilación, la gestión de los materiales en las envolventes del edificio,
141 la geometría del edificio, el clima, entre otros. Los sistemas de climatización de estos
142 edificios pueden adoptar enfoques variados, algunos priorizan la eficiencia energética como
143 fundamento, generando climatización de manera más pasiva, mientras que otros se basan en
144 el empleo de energías no renovables y generan sistemas de climatización forzados
145 (Kundzewicz *et al.*, 2023).

146 Para mejorar la eficiencia energética, es esencial considerar varios factores para
147 minimizar el consumo en la climatización. Algunos de estos factores incluyen: El diseño y
148 la geometría del edificio. Las condiciones climáticas y la orientación del edificio. La
149 exposición al sol, los reflejos y la radiación del lugar. Los materiales utilizados y su
150 conductividad térmica. Aspectos relacionados con las envolventes, como la dimensión y
151 cantidad de aberturas, la geometría, entre otros (Psillaki *et al.*, 2023). El aislamiento térmico
152 y la inercia térmica de los materiales empleados en la construcción. La gestión de
153 infiltraciones y la ventilación, tanto pasiva como forzada. Los patrones de uso y las
154 costumbres de los ocupantes del edificio. La disponibilidad de sistemas de regulación y
155 control. La administración global del edificio, entre otros (Vanaga *et al.*, 2023).

156 De igual manera, la apropiada climatización ejerce un impacto significativo en la
157 vivencia de los estudiantes en los entornos educativos, por lo que es crucial abordar este
158 elemento esencial del confort y el bienestar estudiantil. En primer lugar, se destaca como
159 uno de los desafíos preeminentes en el ámbito de la arquitectura educativa la insuficiencia
160 de calefacción pasiva (Chen *et al.*, 2023). La carencia de un diseño que optimice la captación
161 del calor solar y minimice las pérdidas térmicas puede generar repercusiones notables. Este
162 problema no solo implica consecuencias económicas, ya que la excesiva dependencia de

163 sistemas de calefacción convencionales incrementa los costos operativos y el consumo
164 energético, sino que también impacta la comodidad y el bienestar de los estudiantes (Torriani
165 *et al.*, 2023). Las aulas con temperaturas bajas y una climatización deficiente pueden
166 dificultar la concentración y el aprendizaje de los estudiantes, afectando negativamente su
167 rendimiento académico (Abdallah, 2022).

168 En paralelo, en condiciones climáticas diferentes, la refrigeración pasiva se convierte
169 en un desafío igualmente significativo. La falta de estrategias adecuadas para mantener un
170 entorno fresco y comfortable puede dar lugar al uso excesivo de sistemas de aire
171 acondicionado (Givoni, 1979). Esto no solo implica un aumento en el consumo de energía,
172 sino que también eleva los costos operativos y contribuye a la huella de carbono del edificio.
173 Además, la gestión inadecuada de la refrigeración puede resultar en ambientes interiores
174 incómodos y sofocantes para los estudiantes, afectando adversamente su capacidad de
175 concentración y su bienestar general en el entorno educativo (Díaz-López *et al.*, 2022).

176 Estos desafíos impactan la calidad de la experiencia de aprendizaje y el bienestar
177 general de la comunidad estudiantil, lo que destaca la imperatividad de abordarlos de manera
178 holística. Sin embargo, más allá de su impacto local, es esencial reconocer que es-tos
179 problemas no son exclusivos de nuestra institución. A nivel global, arquitectos y diseñadores
180 enfrentan dilemas similares al buscar soluciones para espacios más inclusivos y sostenibles
181 (Nederhand *et al.*, 2023). La accesibilidad y el diseño pasivo se han convertido en temas
182 candentes de discusión en la comunidad arquitectónica a nivel internacional, en un mundo
183 donde la diversidad de usuarios y la sostenibilidad ambiental son imperativos (Kristoferson
184 & Bokalders, 2021; Zúñiga & Hincapié, 2021).

185 La propuesta consiste en implementar en las paredes de los bloques de aulas de cuatro
186 pisos en tres secciones, cada una concebida con un tipo distinto de muro verde. La sección
187 inferior albergará una planta trepadora que se desarrollará desde una jardinera construida en

188 la base del muro, con sustrato para cultivo, y será irrigada mediante un sistema de riego por
189 goteo tecnificado. La mitad central del muro verde estará conformada por un marco de
190 aluminio y geotextiles, con vegetación resistente al sol y de bajo consumo de agua en
191 distintos colores. En la parte superior del muro, se plantaron plantas enredaderas que se
192 desarrollarán hacia abajo. Los tres tipos de muros verdes aprovecharán eficientemente el
193 agua mediante riego por goteo tecnificado, ofreciendo también aislamiento térmico para
194 áreas cercanas y mejorando el confort térmico interno de esos espacios (Mohajerani *et al.*,
195 2017). Además de las ventajas estéticas, los muros verdes brindarán una serie de beneficios,
196 entre ellos: Un sistema verde se puede caracterizar como la vegetación que se desarrolla en
197 las envolventes de los edificios, ya sea en muros o cubiertas, con su crecimiento orientado
198 hacia el control y la eficiencia energética del edificio, aportando tanto a la estructura como
199 a su entorno. La inclusión de vegetación en la envolvente de un edificio, especialmente en
200 entornos urbanos, proporciona diversos beneficios ambientales, económicos y sociales.
201 Algunos de los más reconocidos incluyen (Suárez *et al.*, 2020):

202 La disminución energética no solo tiene un impacto positivo en el entorno natural,
203 sino que también brinda significativos beneficios económicos a nivel individual y global. En
204 primer lugar, al disminuir el consumo de energía, se refleja en una reducción de las facturas
205 energéticas. Esto implica un ahorro económico a corto y largo plazo, ya que los beneficios
206 se mantienen a lo largo del tiempo. Además, al optimizar los procesos y equipos, se prolonga
207 su vida útil, generando un ahorro adicional al evitar gastos de reemplazo prematuro. Desde
208 una perspectiva medioambiental, la eficiencia energética desempeña un papel fundamental
209 en la lucha contra el cambio climático. Al reducir el consumo de energía, se disminuyen las
210 emisiones de gases de efecto invernadero y se limita el impacto ambiental adverso. Esto
211 contribuye a mitigar el cambio climático, preservar los recursos naturales y salvaguardar la
212 salud de las personas. Además, la eficiencia energética promueve la adopción de fuentes de

213 energía renovable. Al optimizar el uso de la energía, se reduce la dependencia de los
214 combustibles fósiles y se impulsa la transición hacia una matriz energética más limpia y
215 sostenible (Cabrera-Vallejo & Salazar, 2016; Mohajerani *et al.*, 2017; Esenarro *et al.*, 2023;
216 Tafur *et al.*, 2024).

217 Por ende, la presente investigación tiene como objetivo demostrar la disminución del
218 consumo energético en los ambientes colindantes de las fachadas este y oeste de la BIO de
219 la URP, Lima, Perú por la implementación de los muros verdes.

220

221 **MATERIALES Y MÉTODOS**

222 El estudio sobre la implementación de muros verdes como aislantes térmicos en la
223 BIO de la URP siguió cuatro fases principales. La fase 1 revisó antecedentes de muros verdes
224 en edificaciones. En la fase 2, se recopiló información climática y topográfica con
225 herramientas como Google Earth y mediante visitas de campo. La fase 3 consistió en un
226 análisis integral de los datos recolectados, evaluando el clima, la topografía, la funcionalidad
227 y los materiales. En la fase 4, se interpretaron los resultados, comparándolos con literatura
228 previa y reflexionando sobre los beneficios de los muros verdes.

229 **Lugar de Intervención**

230 Este estudio se llevó a cabo en el Perú, específicamente en la región Lima, provincia
231 de Lima, en el distrito de Santiago de Surco. Las coordenadas geográficas de la ubicación
232 son 12°8'47" de latitud sur y 77°0'24" de longitud oeste, con una altitud de 107 msnm.
233 Santiago de Surco se encuentra en la parte suroeste de Lima metropolitana, abarcando una
234 superficie de 52 km². Es importante destacar que existen controversias territoriales entre
235 Santiago de Surco y los distritos de Chorrillos y San Juan de Miraflores (Gómez *et al.*, 2023).
236 La implementación se llevará a cabo en la BIO de la URP, la cual se encuentra ubicada en
237 una latitud de -12,13, una longitud de -76,97 y una elevación de 113 msnm.

238 **Análisis Climático**

239 El clima en Santiago de Surco es templado y presenta vulnerabilidad a peligros
240 climáticos. La temporada cálida se extiende de enero a abril, alcanzando temperaturas
241 máximas promedio de 27 °C en febrero y mínimas de 15 °C en agosto. La radiación solar es
242 más intensa entre septiembre y diciembre, con octubre como el mes más luminoso (7,2
243 KWh). La precipitación es escasa y constante, con una probabilidad de lluvia del 1% el 25
244 de enero y octubre como el mes con más días lluviosos (0,4 días). La temporada de vientos
245 fuertes va de mayo a diciembre, con septiembre como el mes más ventoso (15,3 km/h),
246 mientras que febrero es el menos ventoso (11,8 km/h).

247 **Muros verdes**

248 En la fachada este los bloques de aulas se distribuyen en tres o cuatro tramos,
249 distribuidos de acuerdo con la altura del edificio, y muestran diseños para tres tipos de muros
250 verdes. La sección intermedia, que representa aproximadamente un tercio de la altura del
251 edificio, consiste en un muro verde con jardineras que exhibe un diseño vegetal de colores,
252 caracterizado por su bajo consumo de agua y resistencia a la radiación solar. En la fachada
253 este, presenta letras identificativas para las escuelas URP y BIO. La impermeabilización del
254 muro presenta una geomembrana de PEAD de 1 mm. La sección inferior alberga una planta
255 trepadora, plantada en una jardinera en el suelo. La porción superior, representando
256 aproximadamente un tercio de la altura del edificio, presentará plantas enredaderas que
257 crecerán hacia abajo hasta alcanzar el límite del diseño central.

258 En la fachada oeste los bloques de aulas se distribuyen en tres o cuatro tramos,
259 distribuidos de acuerdo con la altura del edificio, y muestran diseños para dos tipos de muros
260 verdes. La sección intermedia, que representa aproximadamente un tercio de la altura del
261 edificio, consiste en un muro verde con jardineras que exhibe un diseño vegetal de colores,
262 caracterizado por su bajo consumo de agua y resistencia a la radiación solar. En la fachada

263 oeste, presenta letras identificativas para la facultad: BIO y el número 9 de identificación del
 264 edificio. La impermeabilización del muro presenta una geomembrana de PEAD de 1 mm.
 265 La sección inferior alberga una planta trepadora, plantada en una jardinera en el suelo.

266 **Aspectos éticos:** Los autores señalan que se cumplieron todos los aspectos éticos nacionales
 267 e internacionales.

268

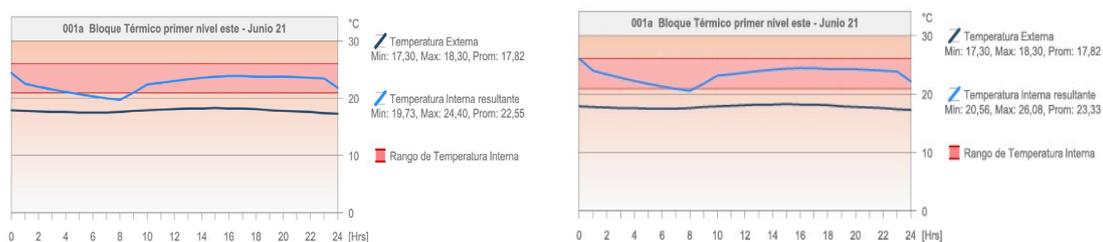
269 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

270 Se realizaron dos simulaciones para establecer las diferencias producto de la
 271 comparación de las temperaturas de los ambientes colindantes a las fachadas este y oeste de
 272 la BIO, así como el costo energético y emisión de CO₂ de cada caso. Para ello, se utilizó el
 273 software Archicad 21 bajo la aplicación de la metodología BEM (Building Energy Model)
 274 propia del software, el cual simula las condiciones de temperatura, emisión de CO₂ por
 275 consumo eléctrico (aire acondicionado) y costo energético (estimado basándose en el
 276 consumo y costo promedio).

277 Balance Térmico en la Fachada Este

278 *Primer Piso*

279 **21 de junio:** Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada este de
 280 la BIO en el primer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 281 22,55°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 282 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 23.33°C. Es decir,
 283 hay una diferencia de 0,78°C entre ambas soluciones (Figura 1).



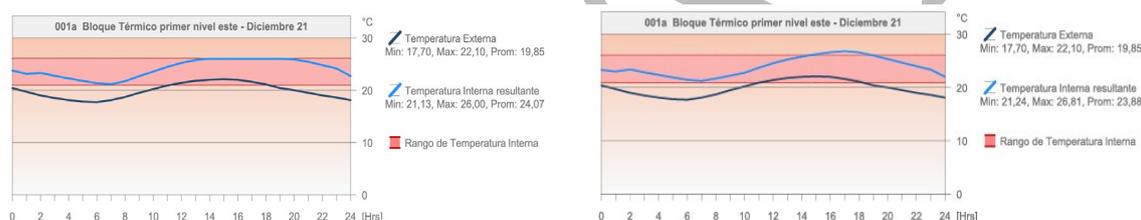
284

285 **Figura 1.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 286 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes (izquierda)
 287 en el primer nivel el día 21 de junio.

288

289 **21 de diciembre:** Durante el solsticio de verano, los ambientes adyacentes a la fachada este
 290 de la BIO en el primer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio
 291 de 24,07 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 292 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 23,88 °C. Es decir,
 293 hay una diferencia de 0,19°C entre ambas soluciones (Figura 2).

294

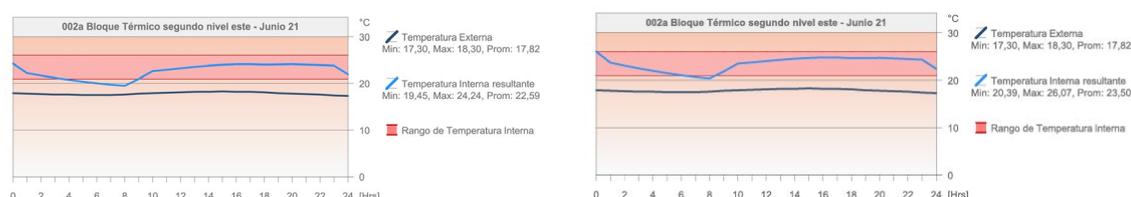


295

296 **Figura 2.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 297 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes (izquierda)
 298 en el primer nivel el día 21 de diciembre.

299 **Segundo Piso**

300 **21 de junio:** Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada este de
 301 la BIO en el segundo nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 302 22,59 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin



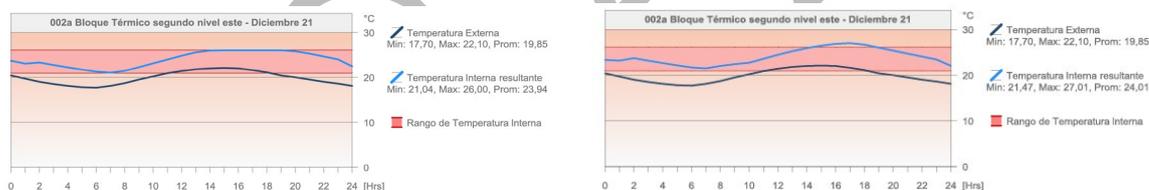
303 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 23,50 °C. Es decir,
 304 hay una diferencia de 0,91 °C entre ambas soluciones (Figura 3).

305

306 **Figura 3.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 307 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda)
 308 en el primer nivel el día 21 de junio.

309 **21 de diciembre:** Durante el solsticio de verano, los ambientes adyacentes a la fachada este
 310 de la BIO en el segundo nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio
 311 de 23,94 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 312 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,01 °C. Es decir,
 313 hay una diferencia de 0,07 °C entre ambas soluciones (Figura 4).

314



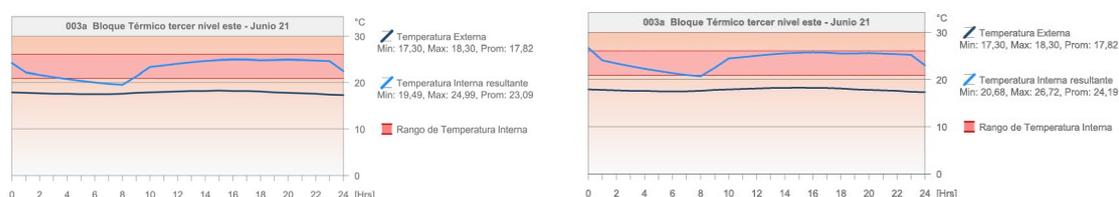
315

316 **Figura 4.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 317 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda)
 318 en el primer nivel el día 21 de diciembre

319

320 **Tercer Piso**

321 **21 de junio:** Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada este de
 322 la BIO en el tercer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de



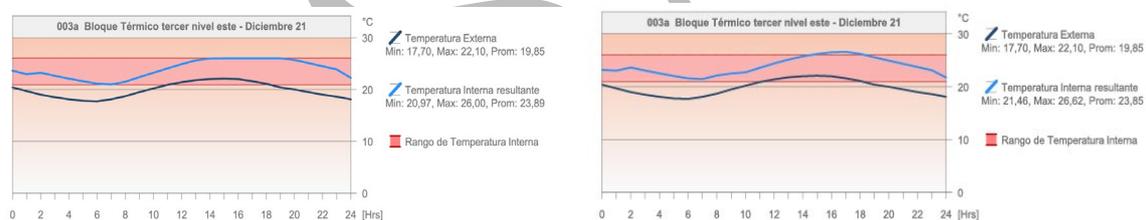
323 23,09 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 324 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,19 °C. Es decir,
 325 hay una diferencia de 1,10°C entre ambas soluciones (Figura 5).

326

327 **Figura 5.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 328 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes (izquierda)
 329 en el primer nivel el día 21 de junio.

330 **21 de diciembre:** Durante el solsticio de verano, los ambientes adyacentes a la fachada este
 331 de la BIO en el tercer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 332 23,89 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 333 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 23,85 °C. Es decir,
 334 hay una diferencia de 0,04 °C entre ambas soluciones (Figura 6).

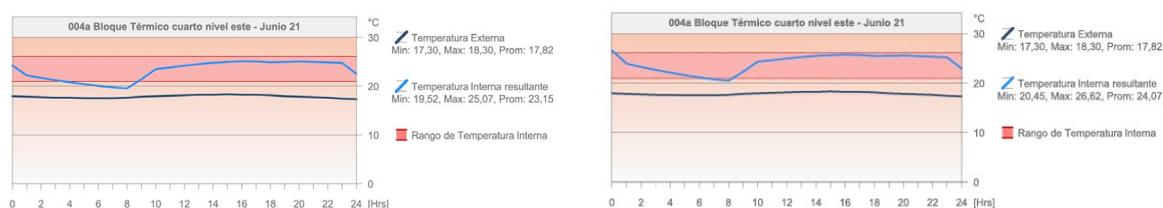
335



336 **Figura 6.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 337 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda)
 338 en el primer nivel el día 21 de diciembre.

339 *Cuarto Piso*

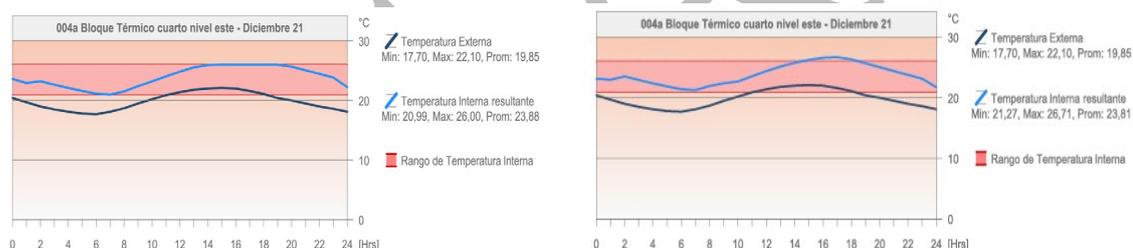
340 **21 de junio:** Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada este de
 341 la BIO en el cuarto nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de



342 23,15°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 343 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,07°C. Es decir,
 344 hay una diferencia de 0,92°C entre ambas soluciones (Figura 7).

345 **Figura 7.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 346 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes (izquierda)
 347 en el primer nivel el día 21 de junio.

348 **21 de diciembre:** Durante el solsticio de verano, los ambientes adyacentes a la fachada este
 349 de la BIO en el cuarto nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio
 350 de 23,88 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 351 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 23,81 °C. Es decir,
 352 hay una diferencia de 0,07 °C entre ambas soluciones (Figura 8).



353
 354 **Figura 8.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 355 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda)
 356 en el primer nivel el día 21 de diciembre.

357 **Balance Térmico en la Fachada Oeste**

358 **Primer Piso**

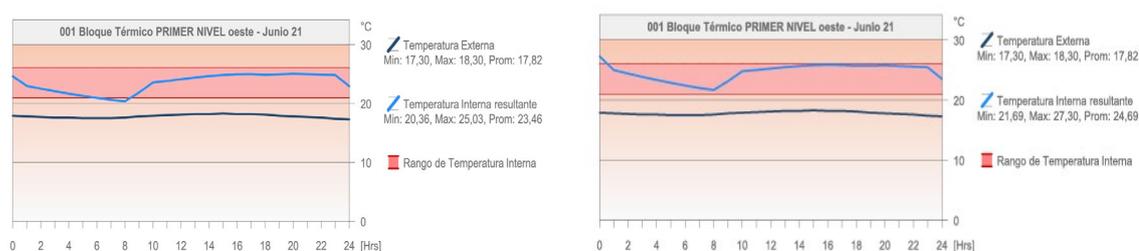
359 **21 de junio:** Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada oeste de
 360 la BIO en el primer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 361 23,46°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 362 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,69°C. Es decir,

363 hay una diferencia de $1,23^{\circ}\text{C}$ entre ambas soluciones (Figura 9).

364

365

366



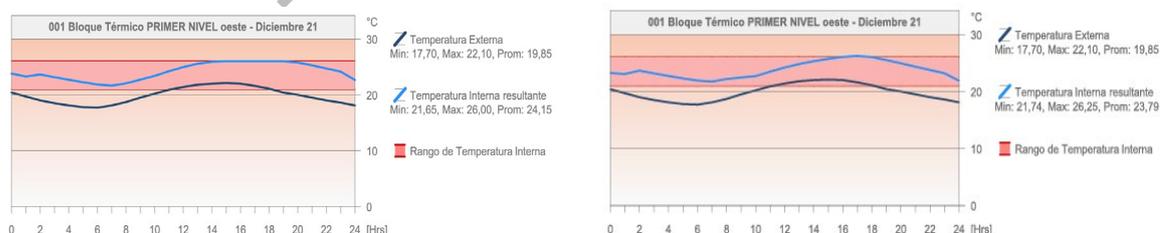
367

368 **Figura 9.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire
 369 acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda)
 370 en el primer nivel el día 21 de junio.

371

372 **21 de diciembre:** Durante el solsticio de verano, los ambientes adyacentes a la fachada oeste
 373 de la BIO en el primer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio
 374 de $24,15^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 375 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de $23,79^{\circ}\text{C}$. Es decir,
 376 hay una diferencia de $0,36^{\circ}\text{C}$ entre ambas soluciones (Figura 10).

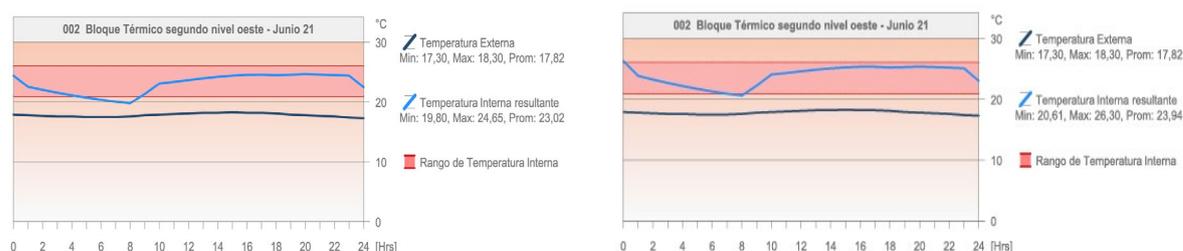
377



378 **Figura 10.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de
 379 aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros
 380 verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

381 **Segundo Piso**

382 **21 de junio:** Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada oeste de
 383 la BIO en el segundo nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 384 23,02°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 385 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 23,94°C. Es decir,



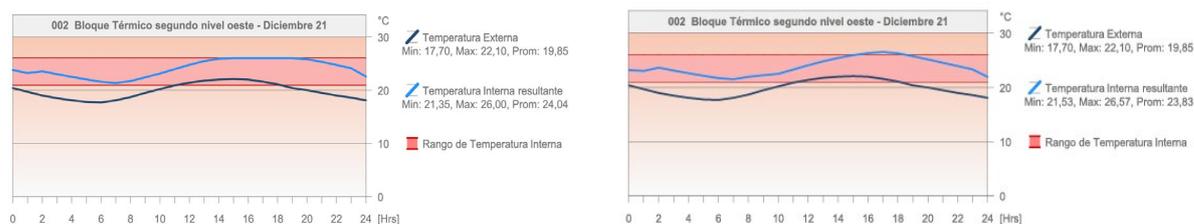
386 hay una diferencia de 0,92°C entre ambas soluciones (Figura 11).

387

388 **Figura 11.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de
 389 aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros
 390 verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

391

392 **21 de diciembre:** Durante el solsticio de verano, los ambientes adyacentes a la fachada oeste
 393 de la BIO en el segundo nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio
 394 de 24,04 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 395 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 23,83 °C. Es decir,
 396 hay una diferencia de 0,21 °C entre ambas soluciones (Figura 12).

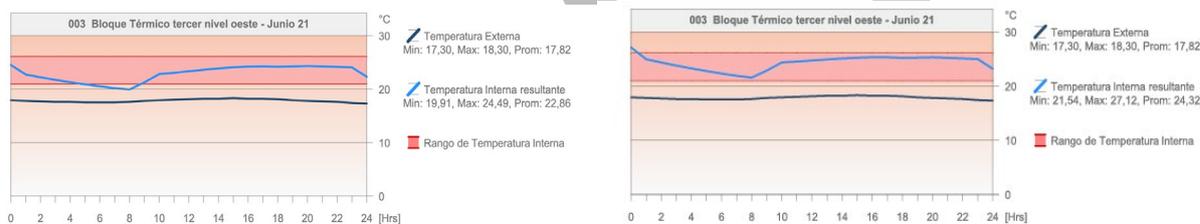


397

398 **Figura 12.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de
 399 aire acondicionado (derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros
 400 verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre

401 *Tercer Piso*

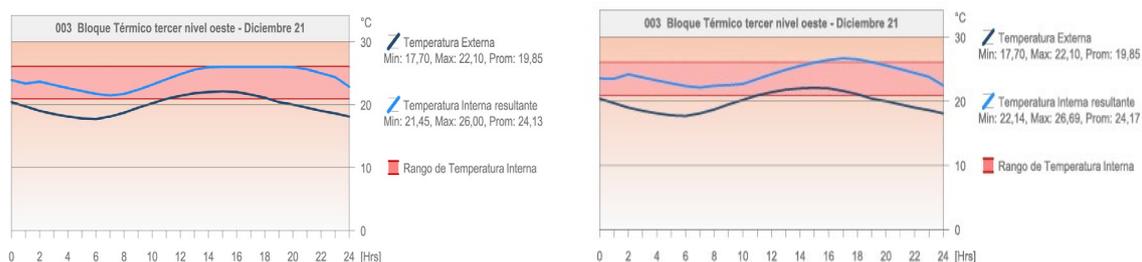
402 **21 de junio:** Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada oeste de
 403 la BIO en el tercer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 404 22,86 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 405 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,32 °C. Es decir,
 406 hay una diferencia de 1,46 °C entre ambas soluciones (Figura 13).



407

408 **Figura 13.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de
 409 aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros
 410 verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

411 **21 de diciembre:** Durante el solsticio de verano, los ambientes adyacentes a la fachada oeste
 412 de la BIO en el tercer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 413 24.13°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 414 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24.17°C. Es decir,
 415 hay una diferencia de 0.04°C entre ambas soluciones (Figura 14).

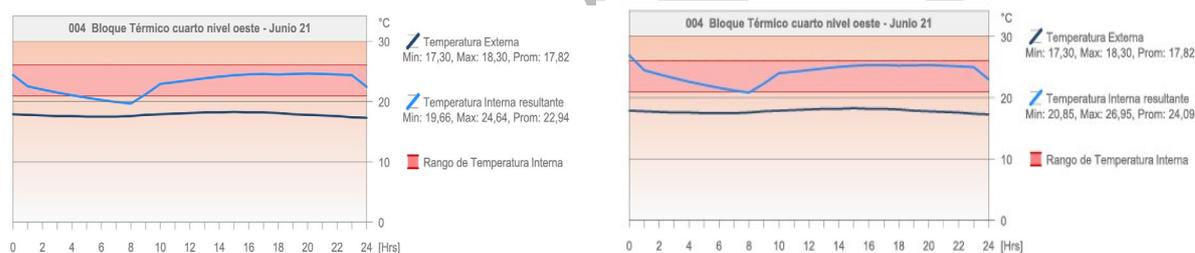


416

417 **Figura 14.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de
 418 aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros
 419 verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

420 **Cuarto Piso**

421 **21 de junio:** Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada oeste de
 422 la BIO en el cuarto nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 423 22,94 °C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 424 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,09°C. Es decir,
 425 hay una diferencia de 1,15°C entre ambas soluciones (Figura 14).



426

427 **Figura 15.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de
 428 aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros
 429 verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

430 **21 de junio:** Durante el solsticio de verano, los ambientes adyacentes a la fachada oeste de
 431 la BIO en el cuarto nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de
 432 24,04°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin
 433 instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,03°C. Es decir,
 434 hay una diferencia de 0,01°C entre ambas soluciones (Figura 16).

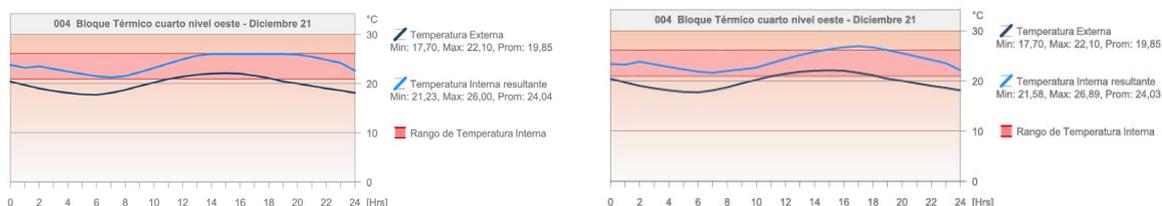
435

436

437

438

439



440

441 **Figura 16.** Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de
 442 aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros
 443 verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

444

445 Comparativa de temperaturas promedio

446 Mediante la tabla de comparativa de temperaturas promedio, se evidencia que la
 447 temperatura promedio de los ambientes donde se utiliza aire acondicionado, tiende a ser
 448 menor que el caso donde se utilizan muros verdes, sin embargo, la variación de temperaturas
 449 promedio entre ambos sistemas tiene a ser menor a 1,5°C (Tabla 1).

450 **Tabla 1.** Comparación de temperaturas promedio entre fechas para cada nivel y fachada de
 451 la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Fachada	Nivel	Fecha	T° Promedio con aire acondicionado sin muros verdes	T° Promedio con muros verdes	ΔT° Promedio
Oeste	I	21 de junio	22,55	23,33	0,78
Oeste	I	21 de diciembre	24,07	23,88	0,19
Oeste	II	21 de junio	22,59	23,50	0,91
Oeste	II	21 de diciembre	23,94	24,01	0,07
Oeste	III	21 de junio	23,09	24,19	1,10
Oeste	III	21 de diciembre	23,89	23,85	0,04
Oeste	IV	21 de junio	23,15	24,07	0,92
Oeste	IV	21 de diciembre	23,88	23,81	0,07
Este	I	21 de junio	23,46	24,69	1,23

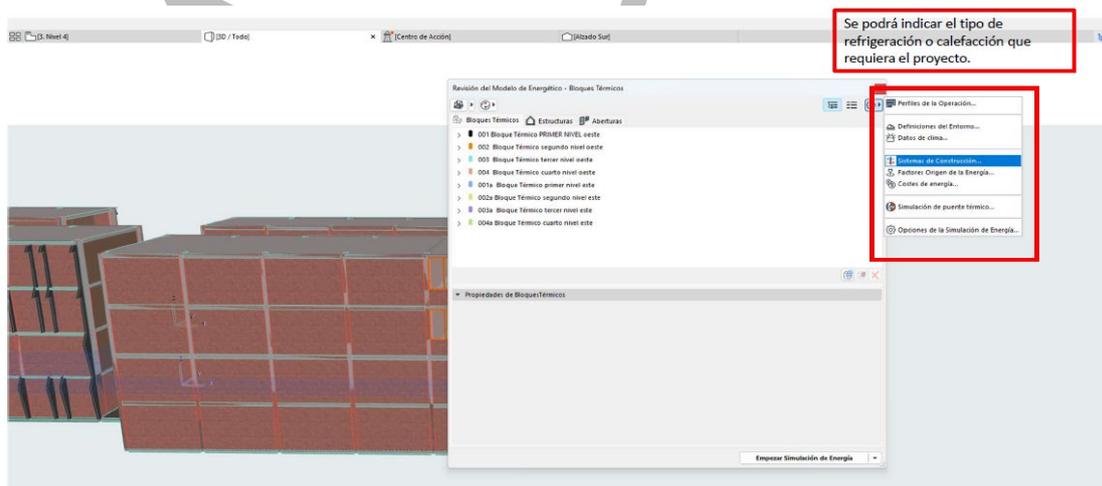
Este	I	21 de diciembre	24,15	23,79	0,36
Este	II	21 de junio	23,02	23,94	0,92
Este	II	21 de diciembre	24,04	23,83	0,21
Este	III	21 de junio	22,86	24,32	1,46
Este	III	21 de diciembre	24,13	24,17	0,04
Este	IV	21 de junio	22,94	24,09	1,15
Este	IV	21 de diciembre	24,04	24,03	0,01

452

453 **Análisis de Producción de CO₂ y Costo Energético por uso de aire acondicionado**

454 Para el desarrollo del análisis de producción de CO₂ y Costo Energético asociado se
 455 utilizó el modelo 3D del edificio de la Facultad de Ciencias Biológicas en el software
 456 Archicad 21, realizado bajo la metodología BEM (Building Energy Model).

457 Dentro del modelado, se realiza la división de los ambientes a estudiar lo que se
 458 determina como Bloques Térmicos; en el caso de la Facultad de Ciencias Biológicas se
 459 dividió los Bloques Térmicos en 8 sectores, según las fechas de estudio en solsticios y
 460 equinoccios: 21 de marzo, 21 de junio, 21 de septiembre y 21 de diciembre, por cada fachada:
 461 fachada este y fachada oeste. El aire acondicionado se configuró en la opción de “Sistemas
 462 de Calefacción” donde se indica el tipo de sistema que requiere el edificio (Figura 17).



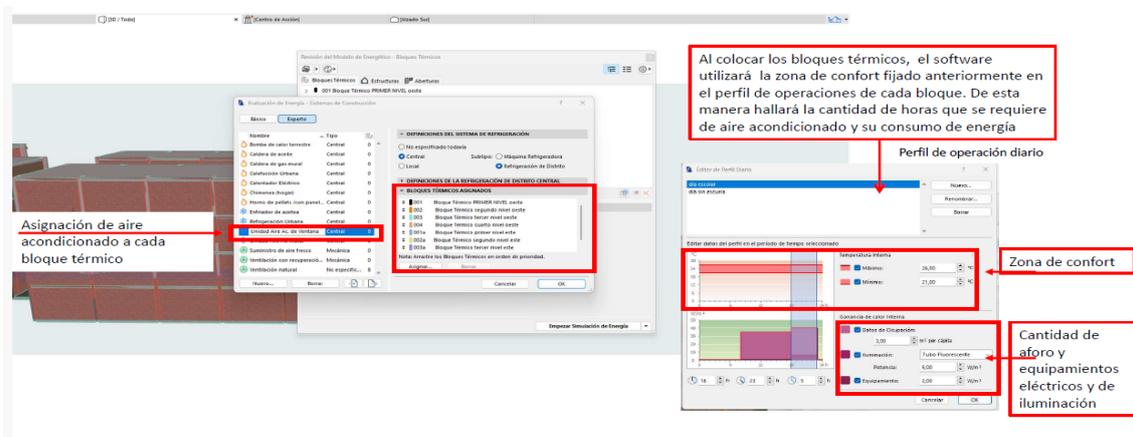
463

464 **Figura 17.** Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico. Software Archicad
 465 21.

466 Posterior a la selección de dicha opción, se asigna el uso de aire acondicionado a cada uno

467 de los ocho bloques térmicos. Se inserta el rango de temperaturas de confort, cantidad de
 468 aforo y equipamientos eléctricos (Figuras 18 y 19).

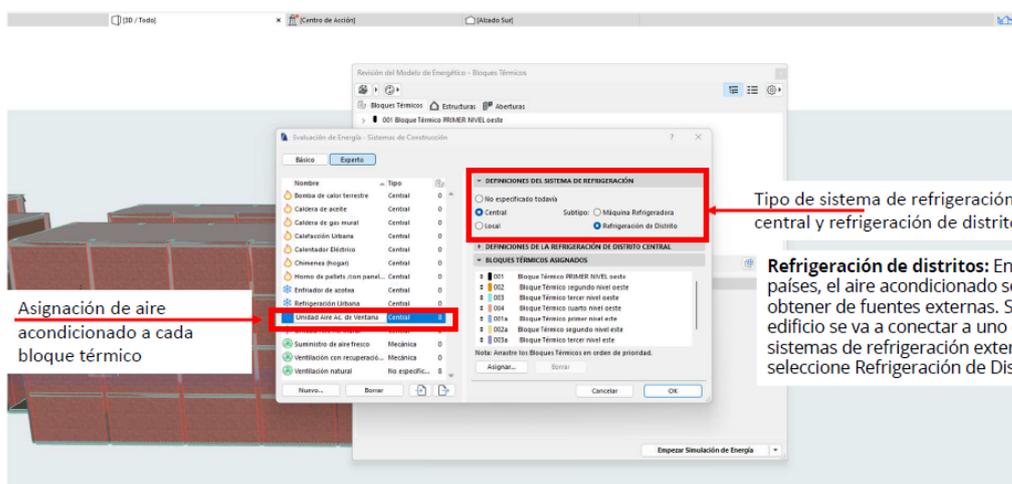
469



470

471 **Figura 18.** Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico. Software Archicad

472 21.



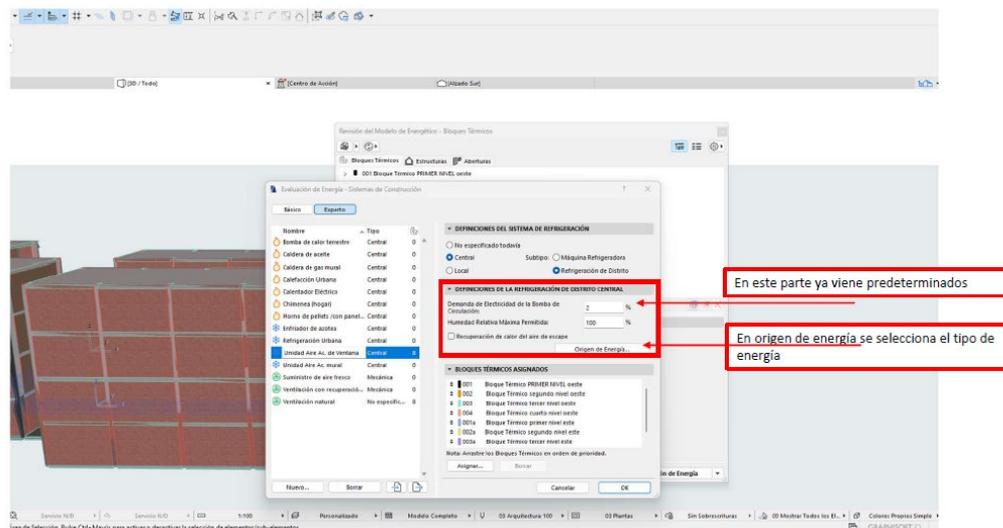
473

474 **Figura 19.** Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico. Software Archicad

475 21.

476 Algunos de los parámetros como Demanda de Electricidad de la Bomba de Circulación,
 477 ubicado en la sección Central Definiciones de la Refrigeración de Distrito Central se
 478 encuentra predeterminado, posterior a ello se configura el origen de la energía En el caso de

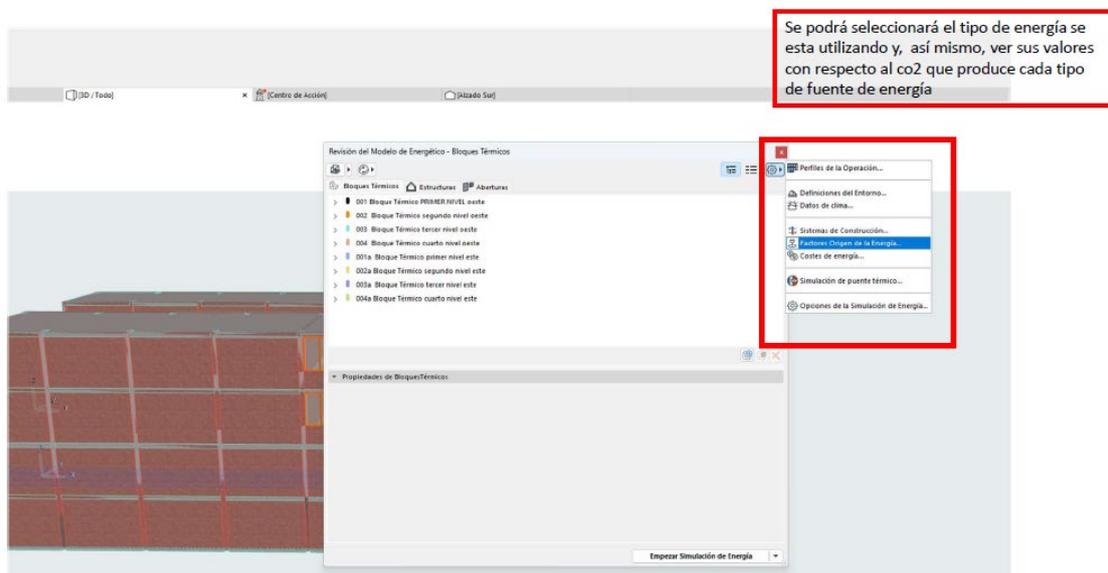
479 la BIO de la URP, se trabajó con una fuente de Electricidad al 100%, por lo que se configura
 480 de tal forma en el software, de haber sido un sistema de alimentación eléctrico mixto se
 481 añadiría este en proporción (Figuras 20 al 22).



482

483 **Figura 20.** Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico. Software Archicad

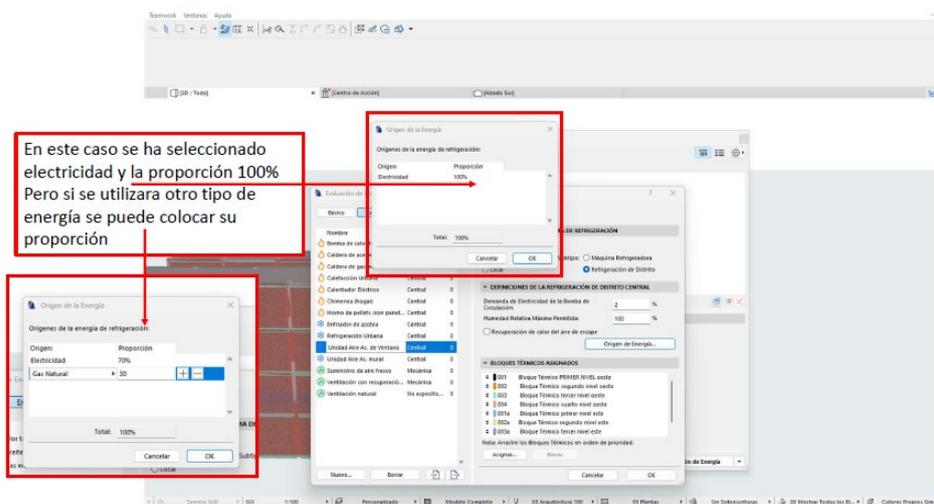
484 21.



485

486 **Figura 21.** Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico.

487



En este caso se ha seleccionado electricidad y la proporción 100% Pero si se utilizara otro tipo de energía se puede colocar su proporción

488 **Figura 22.** Factores de Origen de la Energía. Software Archicad 21.

489

490 **Configuración del software para análisis de costo energético**

491 Para el análisis de costos energéticos, se configuran los Factores de Origen de la
 492 Energía, el cual se basa en el tipo energía configurada para el modelo BEM (Building Energy
 493 Model) mencionado con anterioridad y utilizado para el cálculo de emisiones de CO₂, los
 494 valores resultantes de este análisis se encuentran relacionados con la proporción de cada tipo
 495 de energía utilizado y su emisión (Figura 23).

496

497

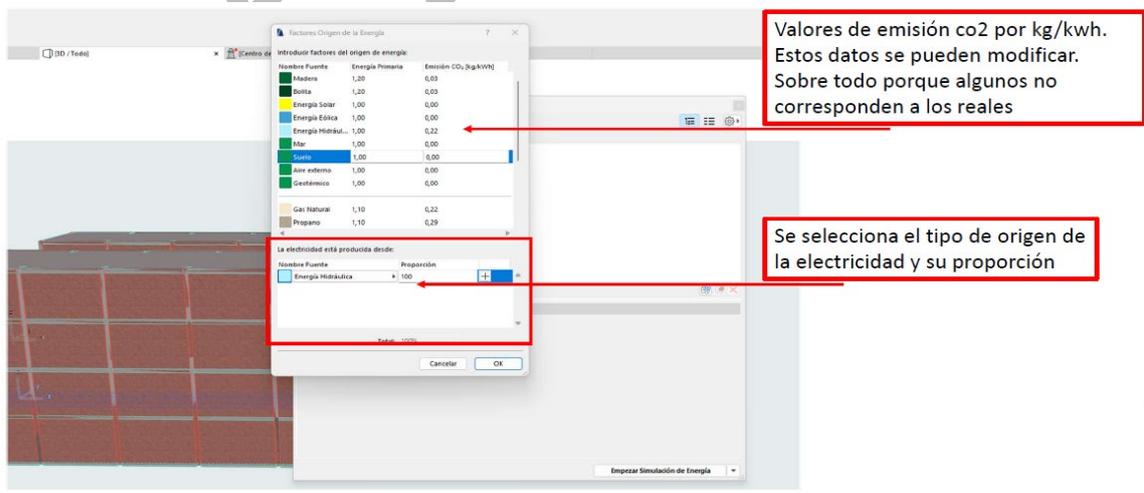
498

499

500

501

502

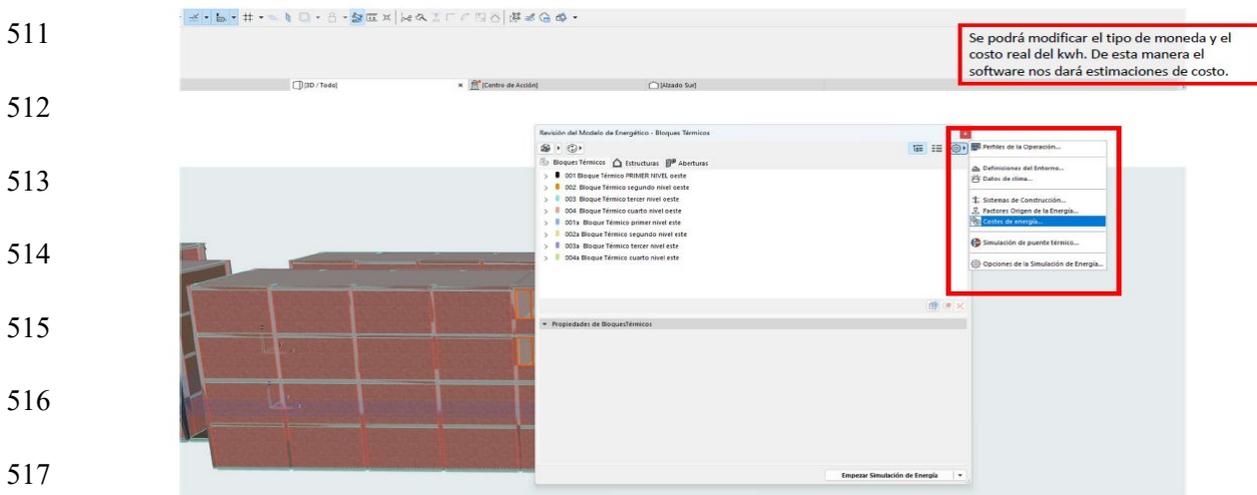


Valores de emisión co2 por kg/kwh. Estos datos se pueden modificar. Sobre todo porque algunos no corresponden a los reales

Se selecciona el tipo de origen de la electricidad y su proporción

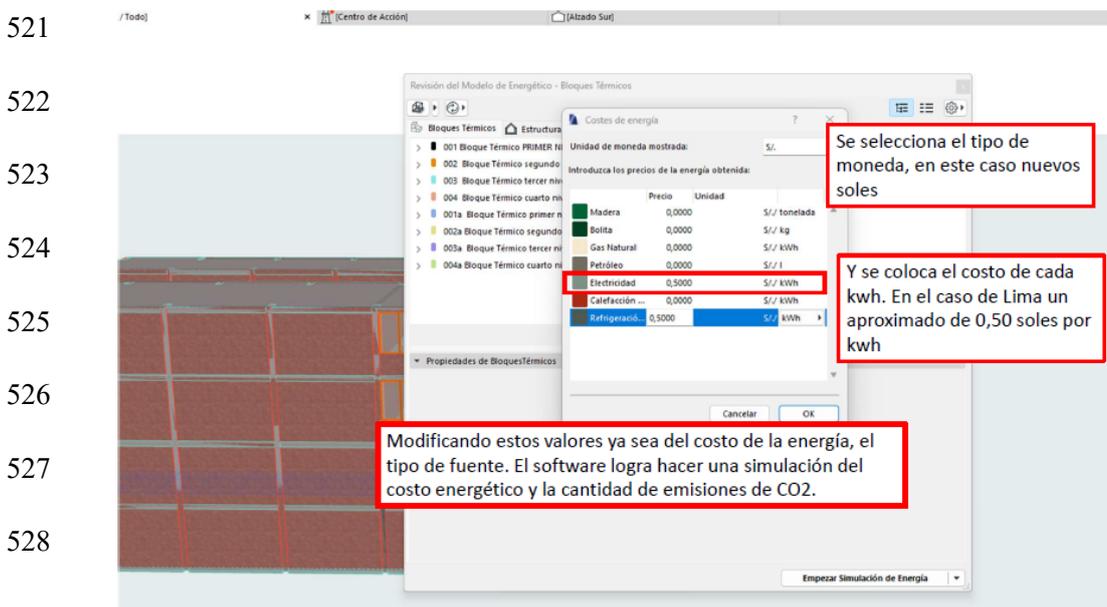
503 **Figura 23.** Factores de Origen de la Energía.

504 En el software se encuentran valores predeterminados de emisión de CO₂ por
 505 kg/Kwh, sin embargo, estos pueden ser modificados debido a que no siempre corresponden
 506 a los valores reales. Posterior a ello, se selecciona el tipo de origen de la electricidad y su
 507 proporción en el uso. Posterior a ello, a través de la configuración se seleccionó la opción
 508 Costos de Energía, en el cual se coloca la moneda local, en el caso de esta investigación se
 509 colocó como moneda el sol peruano, y el costo del Kwh para obtener estimaciones de costos
 510 a través de este (Figura 24).



518 **Figura 24.** Inserción del valor de la energía. Software Archicad 21.

519 Para el caso de Lima, se insertó el valor aproximado de 0.50 soles por Kwh en el tipo
 520 de energía Electricidad (Figura 25).



529 **Figura 25.** Colocar el valor de la energía.

530 **Comparativa de Gasto Energético con el uso de aire acondicionado**

531 Se obtuvo como resultados del análisis los siguientes consumos eléctricos y costos
532 asociados, donde se aprecia en la imagen que, para el caso del uso de Muros Verdes en las
533 fachadas se mantiene un consumo de luminarias y equipos anual de 9 293,8 kWh, el cual no
534 se ve incrementado por otro tipo de necesidades de consumo de equipos de refrigeración ya
535 que existe confort térmico al interior de los espacios adyacentes. Sin embargo, el caso del
536 edificio sin muros verdes requeriría integrar un sistema de aire acondicionado, el cual
537 incrementaría el consumo energético por equipos de refrigeración por 36 954,5 kWh
538 adicionales para alcanzar el confort térmico. Esto en costos se traduciría en un costo con uso
539 de muros verdes de S/. 4,646,9, y con uso de aire acondicionado de S/. 23.124,15, es decir
540 un incremento en el costo de 397,62% más y una diferencia de costo de S/. 18.477,25 anuales
541 para este muro.

542 En el caso de las emisiones de CO₂, se determinó una emisión de 2.044,636 kg/añual
543 por consumo eléctrico, es importante señalar que este dato no toma en cuenta la absorción
544 de CO₂ producida por la vegetación de los muros verdes, que contrarrestaría y, por lo tan-to,
545 disminuiría este valor de emisión. Para el caso del edificio con aire acondicionado en sus
546 ambientes adyacentes, la emisión de CO₂ se incrementa a 10, 174,626 kg/añual, en
547 comparativa se demuestra que los muros verdes tienen valores similares de control de
548 ganancia térmica frente a la aplicación de un sistema de aire acondicionado con una
549 diferencia máxima de 1,5°C, pero manteniéndose en la zona de confort, además de prevenir
550 el incremento de emisiones de CO₂, frente a un sistema de aire acondicionado.

551

552

553

554 **Tabla 2.** Cuadro resumen de resultados de análisis de emisión de CO₂ anual y costo
555 energético.

556

	FACULTAD DE BIOLOGÍA FACHADA ESTE Y OESTE CON MUROS VERDES		FACULTAD DE BIOLOGÍA FACHADA ESTE Y OESTE CON MUROS DE ALBAÑILERÍA SIMPLE	
T° interior promedio anual	24.5 °C		28.7°C	
Gasto energético luminarias y equipos anual	9 293.8 kWh/a		9 293.8 kWh/a	
Gasto energético de equipos electromecánicos anual para adquirir la temperatura en confort térmico (21°C-26°C)	No necesita, ya que la temperatura promedio anual interior esta dentro de la zona de confort	0.00 kWh/a	Requiere equipos electromecánicos para poder conseguir el confort térmico	36954.5 kWh/a
Consumo de energía consumida anual	9 293.8 kWh/a		46 248,3KWh/a	
Costo de la energía consumida anual (costo S/. 0.50 x kWh)	S/. 4 646.9		S/. 23 124.15	
Emisión de CO2 anual (0.22kg x cada Kwh)	2 044.636 kg/añual		10 174.626kg/añual	

557

558 La implementación de muros verdes en las fachadas de edificios presenta beneficios
559 significativos en términos de consumo energético y costos asociados (Ordóñez & Pérez,
560 2015; Psillaki *et al.*, 2023). Los resultados del análisis muestran que el uso de muros verdes
561 permite mantener un consumo eléctrico anual más bajo en comparación con edificios que
562 requieren sistemas de aire acondicionado para alcanzar el confort térmico (Gómez *et al.*,
563 2023). Esto se traduce en un ahorro económico considerable, con una diferencia de costo
564 significativa a favor de los muros verdes (Pichlhofer *et al.*, 2023; Ruiz-Valero *et al.*, 2023).

565 Además de los beneficios económicos, los muros verdes también tienen un impacto
566 positivo en la reducción de emisiones de CO₂. Aunque se identificó una emisión de CO₂ por
567 el consumo eléctrico asociado con los muros verdes, esta cantidad es considerablemente
568 menor que la generada por el uso de sistemas de aire acondicionado. La vegetación de los
569 muros verdes contribuye a contrarrestar las emisiones de CO₂, lo que resulta en una menor
570 huella de carbono en comparación con los edificios que dependen exclusivamente de

571 sistemas de refrigeración convencionales (Gómez *et al.*, 2023).

572 Los resultados destacan la eficacia de los muros verdes como una estrategia
573 sostenible para el control de la ganancia térmica en los edificios (Esenarro *et al.*, 2023), al
574 tiempo que se promueve la mitigación de los impactos ambientales asociados con el
575 consumo energético (Hochstetter-Diez *et al.*, 2023; Guerrero-Puerta, 2023). Además, se
576 resalta su capacidad para mantener un nivel de confort térmico adecuado, lo que sugiere que
577 los muros verdes no solo son una alternativa económica y ecológica, sino también una
578 solución viable para mejorar la habitabilidad de los espacios interiores sin comprometer la
579 calidad ambiental.

580 En conclusión, este estudio ha demostrado de manera contundente los beneficios
581 significativos de la implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste de los
582 edificios en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones de CO₂. La
583 investigación ha evidenciado una disminución del consumo energético en los ambientes
584 colindantes en un 80%, gracias a la capacidad de los muros verdes para proporcionar sombra
585 y mejorar la transmitancia térmica, lo que ha contribuido a reducir las emisiones de CO₂ del
586 edificio en un 90%, alcanzando solo 2 Ton/a. Estos resultados subrayan el papel crucial de
587 los muros verdes como una solución efectiva para mejorar las condiciones ambientales de
588 los espacios interiores, al tiempo que se promueve la sostenibilidad ambiental al reducir
589 significativamente la huella de carbono de los edificios. En resumen, los muros verdes
590 emergen como una estrategia viable y prometedora para promover la eficiencia energética y
591 el bienestar tanto en el entorno construido como en el medio ambiente circundante.

592

593 **Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)**

594 **AEGR** = Alejandro Enrique Gomez-Rios

595 **DEV** = Doris Esenarro-Vargas

596 **VORM** = Vanessa Oshin Raymundo-Martinez

597 **SMVY** = Stefany Marjorie Vilchez-Yupanqui

598

599 **Conceptualization:** AEGR

600 **Data curation:** DEV

601 **Formal Analysis:** VORM

602 **Funding acquisition:** AEGR, DEV, VORM, SMVY

603 **Investigation:** AEGR, DEV, VORM, SMVY

604 **Methodology:** DEV, VORM

605 **Project administration:** AEGR, DEV, VORM, SMVY

606 **Resources:** AEGR, DEV, VORM, SMVY

607 **Software:** SMVY

608 **Supervision:** AEGR

609 **Validation:** VORM

610 **Visualization:** SMVY

611 **Writing – original draft:** AEGR, DEV, VORM, SMVY

612 **Writing – review & editing:** AEGR, DEV, VORM, SMVY

613

614 **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

615 Abdallah, A.S.H. (2022). Passive design strategies to improve student thermal comfort in

616 Assiut University: A field study in the Faculty of Physical Education in hot season.

617 *Sustainable Cities and Society*, 86, 104110.

618 Cabrera-Vallejo, M., & Salazar, W. (2016). Construcción experimental de jardines verticales

619 y su relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados. *Industrial*

620 *Data*, 19, 78-90.

621 Chen, Z., Cui, Y., Zheng, H., Wei, R., & Zhao, S. (2023). A Case Study on Multi-Objective

622 Optimization Design of College Teaching Building Atrium in Cold Regions Based

623 on Passive Concept. *Buildings*, 21, 2391.

624 Cubilla, A., & Estenssoro, F. (2011). Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para

625 América Latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio

- 626 climático.<https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/engov/20130827052932/engMAalC>
- 627 [ubillosEstensoro.pdf](#)
- 628 Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2013). Energía: una visión sobre los
- 629 retos y oportunidades en américa latina y el caribe.
- 630 [https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a8616620-057c-4ffa-9866-](https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a8616620-057c-4ffa-9866-1dba21a020d6/content)
- 631 [1dba21a020d6/content](https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a8616620-057c-4ffa-9866-1dba21a020d6/content)
- 632 Díaz-López, C., Serrano-Jiménez, A., Verichev, K., & Barrios-Padura, Á. (2022). Passive
- 633 cooling strategies to optimise sustainability and environmental ergonomics in
- 634 Mediterranean schools based on a critical review. *Building and Environment*, 221,
- 635 109297.
- 636 Esenarro, D., Herrera, P., Hidalgo, Y., Izquierdo, K., & Reyes, M. (2023). Palafitic Housing
- 637 Prototype in Belén and environmental sustainability. *International Conference on*
- 638 *Innovations in Energy Engineering & Cleaner Production (IEECP)*. pp. 1-7.
- 639 Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2016). Propuesta sostenible para mitigar los efectos climáticos
- 640 adversos en una ciudad costera de Argentina. *Anales de Geografía de la Universidad*
- 641 *Complutense*, 36, 281-306.
- 642 Gómez, A., Esenarro, D., Martínez, P., Vilchez, S., & Raymundo, V. (2023). Thermal
- 643 Calculation for the Implementation of Green Walls as Thermal Insulators on the East
- 644 and West Facades in the Adjacent Areas of the School of Biological Sciences,
- 645 Ricardo Palma University (URP) at Lima, Peru 2023. *Buildings*, 13, 2301.
- 646 Guo, T.; Zhao, Y.; Yang, J.; Zhong, Z.; Ji, K.; Zhong, Z.; & Luo, X. (2023) Effects of Tree
- 647 Arrangement and Leaf Area Index on the Thermal Comfort of Outdoor Children's
- 648 Activity Space in Hot-Humid Areas. *Buildings*, 13, 214.
- 649 Guerrero, L. (2023). A Review of Evolving Paradigms in Youth Studies. *Societies*, 13, 136.
- 650 Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. (1988a). El cambio

- 651 climático y la tierra.
652 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- 653 Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (1988b). El IPCC y el
654 sexto ciclo de evaluación.
655 https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/AC6_brochure_es.pdf
- 656 Givoni, B. (1979). Passive cooling of buildings by natural energies. *Energy Building*, 2(4),
657 279–85.
- 658 Hochstetter-Diez, J., Negrier-Seguel, M., Diéguez-Rebolledo, M., Vásquez-Morales, F., &
659 Sancho-Chavarría, L. (2023). Governance Democratic and Big Data: A Systematic
660 Mapping Review. *Sustainability*, 15, 12630.
- 661 Kundzewicz, Z.W., Choryński, A., Olejnik, J., Schellnhuber, H.J., Urbaniak, M., &
662 Ziemblińska, K. (2023). Climate Change Science and Policy—A Guided Tour across
663 the Space of Attitudes and Outcomes. *Sustainability*, 15, 5411.
- 664 Kim, Y. (2021). Technological Innovation, the Kyoto Protocol, and Open Innovation.
665 *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7, 198.
- 666 Kristoferson, L. A., & Bokalders, V. (1986). Passive heating & cooling of buildings. En:
667 Renewable Energy Technologies. *Elsevier*; pp. 232–247.
- 668 Ministerio de Educación. (2021). Los Factores que Limitan la Transición a la Educación
669 Superior Situación Actual y Recomendaciones de Política Pública:
670 <https://repositorio.minedu.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12799/7741/Los%20factores%20que%20limitan%20la%20transici%C3%B3n%20a%20la%20educaci%C3%B3n%20superior%20situaci%C3%B3n%20actual%20y%20recomendaciones%20de%20pol%C3%ADtica%20p%C3%BAblica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 671
672
673
- 674 Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its
675 causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete.

- 676 *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538.
- 677 Nederhand, J., Avelino, F., Awad, I., De Jong, P., Duijn, M., Edelenbos, J., Engelbert, J.,
678 Fransen, J., Schiller, M., & Van Staple, N. (2023). Reclaiming the city from an
679 urban vitalism perspective: critically reflecting smart, inclusive, resilient and
680 sustainable just city labels. *Cities*, 137, 104257.
- 681 Ministerio del Ambiente (2022). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2012*.
682 <https://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/inventario-nacional->
683 [de-gases-efectos-invernaderos-2010-2/](https://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/inventario-nacional-de-gases-efectos-invernaderos-2010-2/)
- 684 Ordóñez, E., & Pérez, M. (2015). Comparación del desempeño térmico de techos verdes y
685 techos blancos mediante técnicas IR. *Acta universitaria*, 25(5), 11-19.
- 686 Psillaki, M., Apostolopoulos, N., Makris, I., Liargovas, P., Apostolopoulos, S.,
687 Dimitrakopoulos, P., & Sklias, G. (2023). Hospitals' Energy Efficiency in the
688 Perspective of Saving Resources and Providing Quality Services through
689 Technological Options: A Systematic Literature Review. *Energies*, 16, 755.
- 690 Pichlhofer, A., Korjenic, A., Sulejmanovski, A., & Streit, E. (2023). Influence of Facade
691 Greening with Ivy on Thermal Performance of Masonry Walls. *Sustainability*, 15,
692 9546.
- 693 Pulido, V., & Olivera, E. (2018). Aportes Pedagógicos a la Educación Ambiental: Una
694 Perspectiva Teórica. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20, 333-346.
- 695 Peñafiel, M.E., & Vallejo, A.B. (2018). Educación Ambiental en las Universidades, Retos y
696 Desafíos Ambientales, *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible*, 11,
697 <https://www.eumed.net/rev/delos/32/magaly.html>
- 698 Quintana, F. (2017). Dinámica, escalas y dimensiones del cambio climático. *Tla-melaua*,
699 10(41), 180-200.
- 700 Ruiz-Valero, L., Arranz, B., Faxas-Guzmán, J., Flores-Sasso, V., Medina-Lagrange, O., &

- 701 Ferreira, J. (2023). Monitoring of a Living Wall System in Santo Domingo,
702 Dominican Republic, as a Strategy to Reduce the Urban Heat Island. *Buildings*, *13*,
703 1222.
- 704 Ren, J., Shi, K., Li, Z., Kong, X., & Zhou, H. (2023). A Review on the Impacts of Urban
705 Heat Islands on Outdoor Thermal Comfort. *Buildings*, *13*, 1368.
706 <https://doi.org/10.3390/buildings13061368>.
- 707 Suárez, P., Cantón, M., & Correa, É. (2020). Desempeño térmico de fachadas verdes
708 tradicionales de orientación este en viviendas seriadas emplazadas en climas áridos.
709 *Revista hábitat sustentable*, *10*, 82-93.
- 710 Tafur, V., Aguirre, F., Vega-Guevara, M., Esenarro, D., & Vilchez, J. (2024). Causes and
711 Effects of Climate Change 2001 to 2021, Peru. *Sustainability*, *16*, 2863.
- 712 Torriani, G., Lamberti, G., Salvadori, G., Fantozzi, F., & Babich, F. (2023). Thermal comfort
713 and adaptive capacities: Differences among students at various school stages.
714 *Building and Environment*, *237*, 110340.
- 715 Voinea, G.D., Gîrbacia, F., Duguleană, M., Boboc, R.G., & Gheorghe, C. (2023). Mapping
716 the Emergent Trends in Industrial Augmented Reality. *Electronics*, *12*, 1719.
- 717 Velázquez de Castro-González, F. (2005) Cambio climático y protocolo de Kioto. Ciencia y
718 estrategias: Compromisos para España. *Revista Española de Salud Pública*, *79*, 191-
719 201.
- 720 Vanaga, R., Narbutis, J., Freimanis, R., Zundāns, Z., & Blumberga, A. (2023). Performance
721 assessment of two different phase change materials for thermal energy storage in
722 building envelopes. *Energies*, *16*, 5236.
- 723 Villanueva, J., Ranfla, A., & Quintanilla, A. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación
724 Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido
725 Extremo. *Información Tecnológica*, *24*, 25–26.

726 Wang, C.H., Ko, M.H., & Chen, W.J. (2019). Effects of Kyoto Protocol on CO₂ Emissions:
727 A Five-Country Rolling Regression Analysis. *Sustainability*, *11*, 744.

728 Zúñiga, S. &, Hincapié, O. (2021). Barreras físicas percibidas por estudiantes de una
729 institución universitaria de la ciudad de Cali-Colombia frente a la discapacidad.
730 *Rehabilitación*, *55*, 22–29.

731 Received July 6, 2024.

732 Accepted November 11, 2024.

733

ASAP