ISSN Versión impresa: 1992-2159; ISSN Versión electrónica: 2519-5697

Biotempo, 2024, 21(2), jul-dec: 219-237.

doi:10.31381/biotempo.v21i2.6680

Biotempo (Lima)

https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL

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 CO_2 EMISSION

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 CO_2

Alejandro Gómez-Rios[1], Doris Esenarro-Vargas[1*], Vanessa Raymundo-Martinez[1] & Stefany Vilchez-Yupanqui[1]

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

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

Alejandro Gómez-Rios: https://orcid.org/0000-0002-9883-3451
Doris Esenarro-Vargas: https://orcid.org/0000-0002-7186-9614
Vanessa Raymundo-Martinez: https://orcid.org/0000-0001-9264-0176
Stefany Vilchez-Yupanqui: https://orcid.org/0000-0003-1877-0508

ABSTRACT

The research aims to demonstrate the reduction in energy consumption in the adjacent environments of the east and west facades of the faculty of biological sciences of Ricardo Palma University, Lima-Peru through the implementation of green walls. The use of electrical lighting and artificial climate control systems has led to buildings with a high CO_2 emission index due to the large energy consumption required for their proper operation. The implementation of the three types of green walls, which prevent the heating of brick walls through their shade and thermal transmittance value, has allowed for an 80% reduction in energy consumption, due to the improved thermal performance of the adjacent environments. Additionally, this has reduced the building's CO_2 emissions to only 2 tons per year due to the decrease in conventional consumption that the adjacent environments of the brick walls previously had. This improvement in thermal comfort is promoted by the green wall proposal on the east and west facades. The work demonstrates that green walls are a solution that improves indoor environmental conditions, reduces energy consumption, and enhances the natural habitat by decreasing CO_2 emissions.

Keywords: carbon dioxide – energy consumption – energy efficiency – green walls

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.

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo demostrar la disminución del consumo energético en los ambientes colindantes de las fachadas este y oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú por la implementación de los muros verdes. El uso de sistemas eléctricos de iluminación y de climatización artificial ha promovido edificaciones con alto índice de emisión de CO_2 producto del gran consumo energético para su funcionamiento adecuado. La implementación de los tres tipos de muros verdes, que evitan el calentamiento de los muros de ladrillo, por su sombra y por su valor de transmitancia térmica, han permitido reducir en 80% el consumo energético, debido a la mejor performance térmica de los ambientes colindantes. Asimismo, reduciendo las emisiones de CO_2 del edificio a solo 2 Ton/a debido a la disminución del consumo convencional que tenían los ambientes colindantes a los muros de ladrillo, ello, por la mejora en el bienestar térmico promovido por la propuesta de los muros verdes en las fachadas este y oeste. El trabajo demuestra que los muros verdes, son una solución que permiten mejoras las condiciones de los ambientes interiores, reduce el consumo energético y además de mejorar el hábitat natural al disminuir las emisiones de CO_2.

Palabras claves: consumo energético – dióxido de carbono – eficiencia energética – muros verdes

INTRODUCCIÓN

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

La globalización ha acelerado el progreso económico mediante la interconexión de economías y la circulación de bienes, servicios, información y capitales. La Agencia Internacional de la Energía proyecta un aumento del 53% en la demanda energética para 2030, con China e India representando el 70% de este incremento. Junto a este desafío de demanda, surge el problema medioambiental de las emisiones de CO_2 derivadas del uso de energía eléctrica (Guerrero-Puerta, 2023; Hochstetter-Diez *et al.*, 2023).

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

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

Las instituciones de educación desempeñan un papel fundamental como centros de formación académica y profesional, ofreciendo un entorno propicio para la promoción y concientización en torno a la educación

ambiental y, por ende, la preservación del medio ambiente (Peñafiel, 2018; Pulido & Olivera, 2018). En el contexto de esta investigación, se eligió la Facultad de Ciencias Biológicas (BIO) de la Universidad Ricardo Palma (URP), Lima, Perú, tras una evaluación exhaustiva de sus condiciones espaciales y los desafíos que enfrenta durante el verano. Dichos desafíos impactan de manera significativa en el confort térmico, generando molestias tanto para los profesores como para los estudiantes (Ferrelli & Piccolo, 2016; Ministerio del Ambiente, 2022). La implementación de muros verdes en ambas fachadas de la BIO se llevó a cabo entre febrero de 2022 y marzo de 2023.

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

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

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

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

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

De igual manera, la apropiada climatización ejerce un impacto significativo en la vivencia de los estudiantes en los entornos educativos, por lo que es crucial abordar este elemento esencial del confort y el bienestar estudiantil. En primer lugar, se destaca como uno de los desafíos preeminentes en el ámbito de la arquitectura educativa la insuficiencia de calefacción pasiva (Chen *et al.*, 2023). La carencia de un diseño que optimice la captación del calor solar y minimice las pérdidas térmicas puede generar repercusiones notables. Este problema no solo implica consecuencias económicas, ya que la excesiva dependencia de sistemas de calefacción convencionales incrementa los costos operativos y el consumo energético, sino que también impacta la comodidad y el bienestar de los estudiantes (Torriani *et al.*, 2023). Las aulas con temperaturas bajas y una climatización deficiente pueden dificultar la concentración y el aprendizaje de los estudiantes, afectando negativamente su rendimiento académico (Abdallah, 2022).

En paralelo, en condiciones climáticas diferentes, la refrigeración pasiva se convierte en un desafío igualmente significativo. La falta de estrategias adecuadas para mantener un entorno fresco y confortable puede dar lugar al uso excesivo de sistemas de aire acondicionado (Givoni, 1979). Esto no solo implica un aumento en el consumo

de energía, sino que también eleva los costos operativos y contribuye a la huella de carbono del edificio. Además, la gestión inadecuada de la refrigeración puede resultar en ambientes interiores incómodos y sofocantes para los estudiantes, afectando adversamente su capacidad de concentración y su bienestar general en el entorno educativo (Díaz-Lopéz *et al.*, 2022).

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

La propuesta consiste en implementar en las paredes de los bloques de aulas de cuatro pisos en tres secciones, cada una concebida con un tipo distinto de muro verde. La sección inferior albergará una planta trepadora que se desarrollará desde una jardinera construida en la base del muro, con sustrato para cultivo, y será irrigada mediante un sistema de riego por goteo tecnificado. La mitad central del muro verde estará conformada por un marco de aluminio y geotextiles, con vegetación resistente al sol y de bajo consumo de agua en distintos colores. En la parte superior del muro, se plantaron plantas enredaderas que se desarrollarán hacia abajo. Los tres tipos de muros verdes aprovecharán eficientemente el agua mediante riego por goteo tecnificado, ofreciendo también aislamiento térmico para áreas cercanas y mejorando el confort térmico interno de esos espacios (Mohajerani *et al.*, 2017). Además de las ventajas estéticas, los muros verdes brindarán una serie de beneficios, entre ellos: Un sistema verde se puede caracterizar como la vegetación que se desarrolla en las envolventes de los edificios, ya sea en muros o cubiertas, con su crecimiento orientado hacia el control y la eficiencia energética del edificio, aportando tanto a la estructura como a su entorno. La inclusión de vegetación en la envolvente de un edificio, especialmente en entornos urbanos, proporciona diversos beneficios ambientales, económicos y sociales. Algunos de los más reconocidos incluyen (Suárez *et al.*, 2020):

La disminución energética no solo tiene un impacto positivo en el entorno natural, sino que también brinda significativos beneficios económicos a nivel individual y global. En primer lugar, al disminuir el consumo de energía, se refleja en una reducción de las facturas energéticas. Esto implica un ahorro económico a corto y largo plazo, ya que los beneficios se mantienen a lo largo del tiempo. Además, al optimizar los procesos y equipos, se prolonga su vida útil, generando un ahorro adicional al evitar gastos de reemplazo prematuro. Desde una perspectiva medioambiental, la eficiencia energética desempeña un papel fundamental en la lucha contra el cambio climático. Al reducir el consumo de energía, se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero y se limita el impacto ambiental adverso. Esto contribuye a mitigar el cambio climático, preservar los recursos naturales y salvaguardar la salud de las personas. Además, la eficiencia energética promueve la adopción de fuentes de energía renovable. Al optimizar el uso de la energía, se reduce la dependencia de los combustibles fósiles y se impulsa la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible (Cabrera-Vallejo & Salazar, 2016; Mohajerani *et al.*, 2017; Esenarro *et al.*, 2023; Tafur *et al.*, 2024).

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

MATERIALES Y MÉTODOS

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

Lugar de Intervención

Este estudio se llevó a cabo en el Perú, específicamente en la región Lima, provincia de Lima, en el distrito de Santiago de Surco. Las coordenadas geográficas de la ubicación son 12°8′47″ de latitud sur y 77°0′24″ de longitud oeste, con una altitud de 107 msnm. Santiago de Surco se encuentra en la parte suroeste de Lima metropolitana, abarcando una superficie de 52 km². Es importante destacar que

existen controversias territoriales entre Santiago de Surco y los distritos de Chorrillos y San Juan de Miraflores (Gómez *et al.*, 2023). La implementación se llevará a cabo en la BIO de la URP, la cual se encuentra ubicada en una latitud de −12,13, una longitud de −76,97 y una elevación de 113 msnm.

Análisis Climático

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

Muros verdes

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

En la fachada oeste los bloques de aulas se distribuyen en tres o cuatro tramos, distribuidos de acuerdo con la altura del edificio, y muestran diseños para dos tipos de muros verdes. La sección intermedia, que representa aproximadamente un tercio de la altura del edificio, consiste en un muro verde con jardineras que exhibe un diseño vegetal de colores, caracterizado por su bajo consumo de agua y resistencia a la radiación solar. En la fachada oeste, presenta letras identificativas para la facultad: BIO y el número 9 de identificación del edificio. La impermeabilización del muro presenta una geomembrana de PEAD de 1 mm. La sección inferior alberga una planta trepadora, plantada en una jardinera en el suelo.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÒN

Se realizaron dos simulaciones para establecer las diferencias producto de la comparación de las temperaturas de los ambientes colindantes a las fachadas este y oeste de la BIO, así como el costo energético y emisión de CO_2 de cada caso. Para ello, se utilizó el software Archicad 21 bajo la aplicación de la metodología BEM (Building Energy Model) propia del software, el cual simula las condiciones de temperatura, emisión de CO_2 por consumo eléctrico (aire acondicionado) y costo energético (estimado basándose en el consumo y costo promedio).

Balance Térmico en la Fachada Este

Primer Piso

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

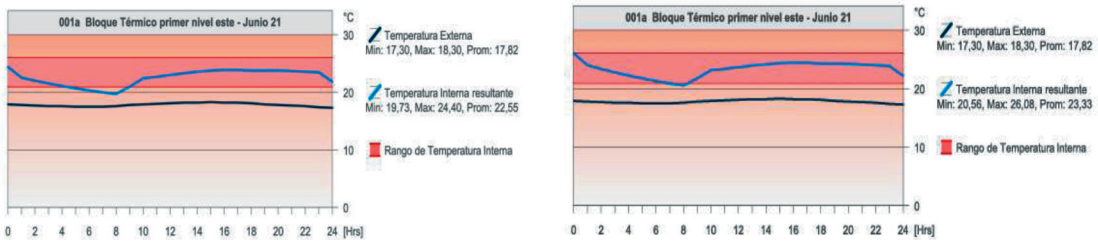

Figura 1. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes (izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

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

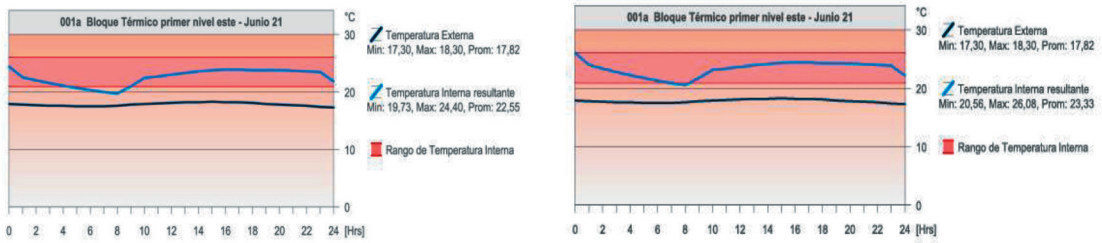

Figura 2. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes (izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

Segundo Piso

21 de junio: Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada este de la BIO en el segundo nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de 22,59 *°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin instalación de aire acondicionado, presenta* una temperatura promedio de 23,50 °C. Es decir, hay una diferencia de 0,91 *°C entre ambas soluciones* (Figura 3).

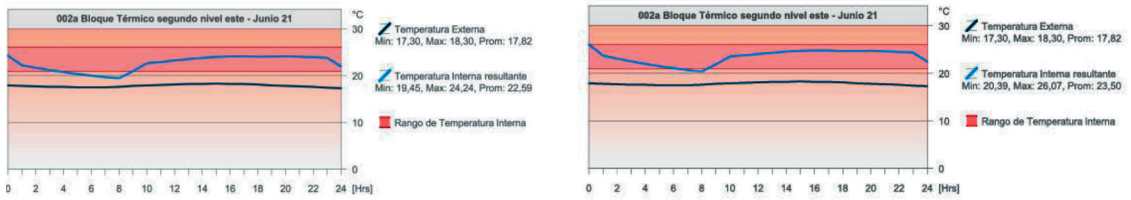

Figura 3. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

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

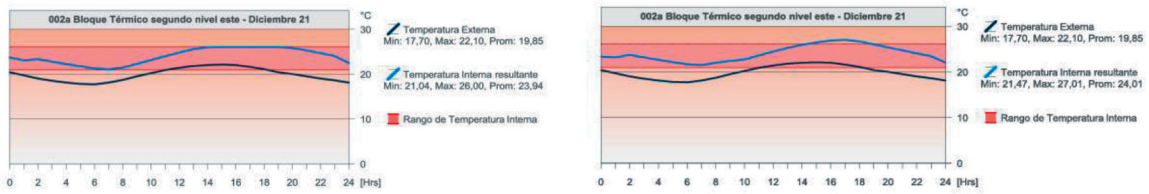

Figura 4. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre

Tercer Piso

21 de junio: Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada este de la BIO en el tercer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de 23,09 *°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin instalación de aire acondicionado, presenta* una temperatura promedio

de 24,19 *°C. Es decir, hay una dif*erencia de 1,10°C entre ambas soluciones (Figura 5).

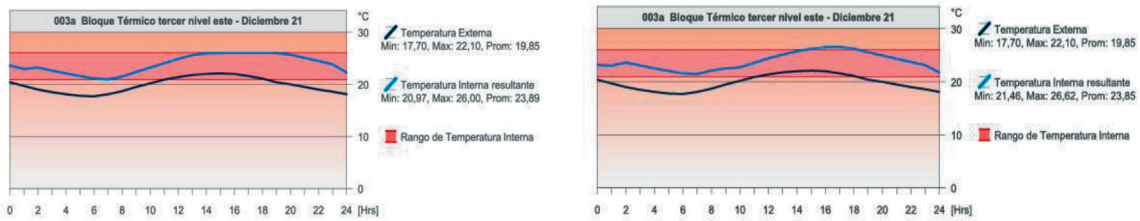

Figura 5. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes (izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

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

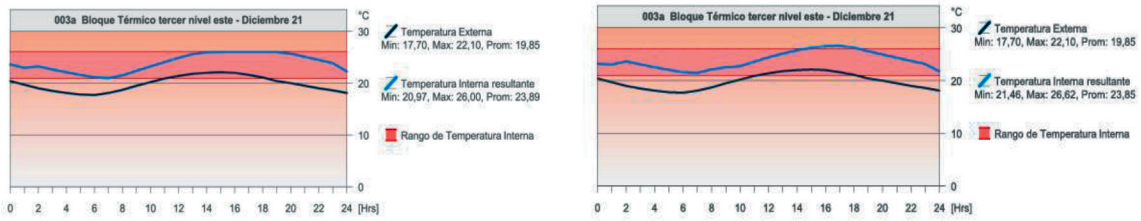

Figura 6. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

Cuarto Piso

21 de junio: Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada este de la BIO en el cuarto nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de 23,15°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,07°C. Es decir, hay una diferencia de 0,92°C entre ambas soluciones (Figura 7).

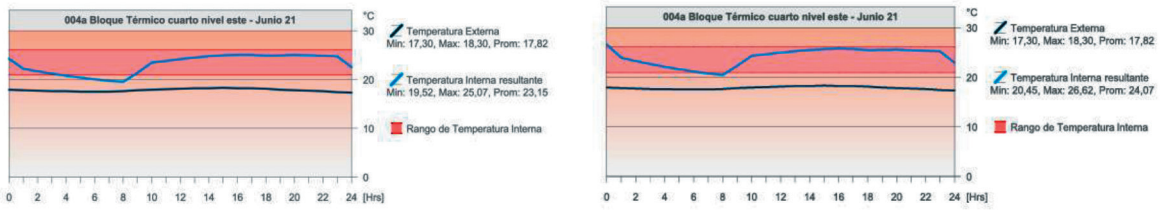

Figura 7. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes (izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

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

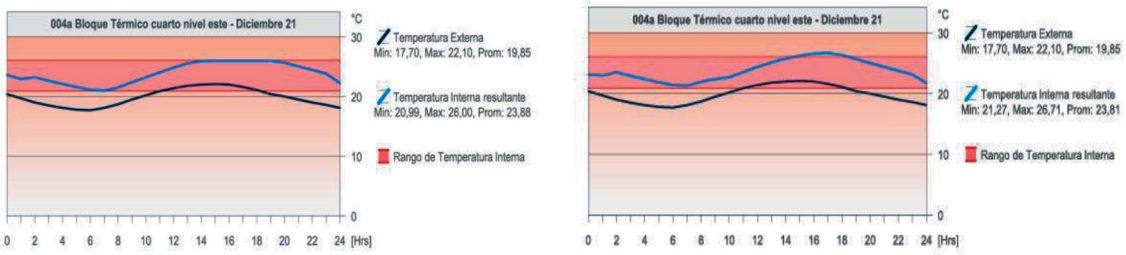

Figura 8. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

Balance Térmico en la Fachada Oeste

Primer Piso

21 de junio: Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada oeste de la BIO en el primer nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de 23,46°C. Sin embargo, al considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 24,69°C. Es decir, hay una diferencia de 1,23°C entre ambas soluciones (Figura 9).

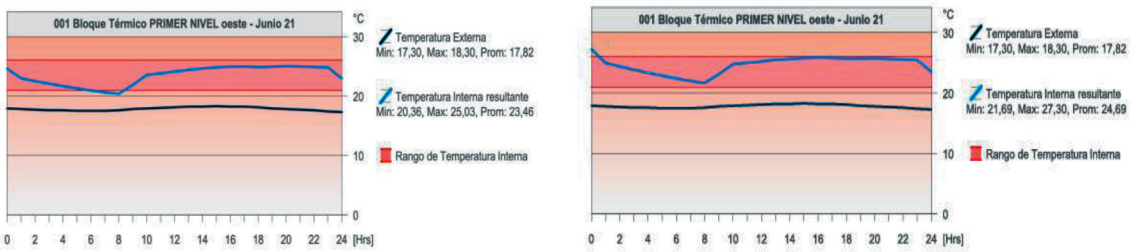

Figura 9. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

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

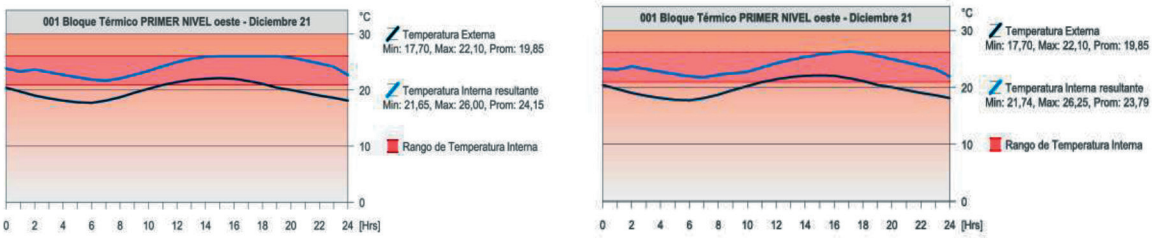

Figura 10. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

Segundo Piso

21 de junio: Durante el solsticio de invierno, los ambientes adyacentes a la fachada oeste de la BIO en el segundo nivel, con aire acondicionado, presentan una temperatura promedio de 23,02°C. Sin embargo, al

considerar un ambiente con muros verdes colindantes y sin instalación de aire acondicionado, presenta una temperatura promedio de 23,94°C. Es decir, hay una diferencia de 0,92°C entre ambas soluciones (Figura 11).

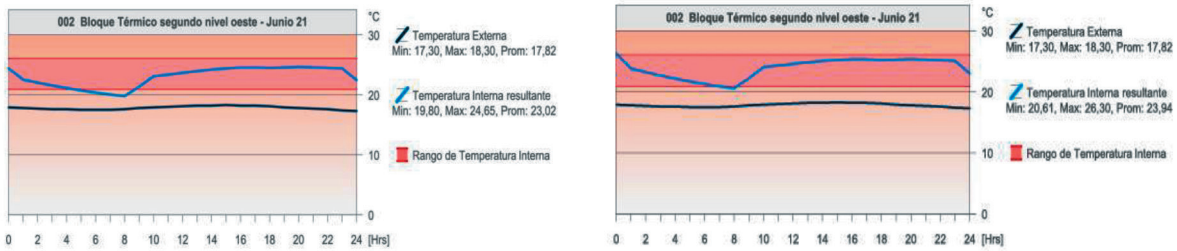

Figura 11. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

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

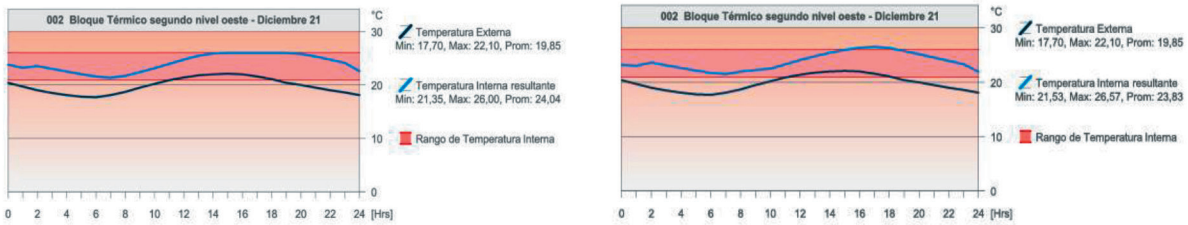

Figura 12. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado (derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre

Tercer Piso

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

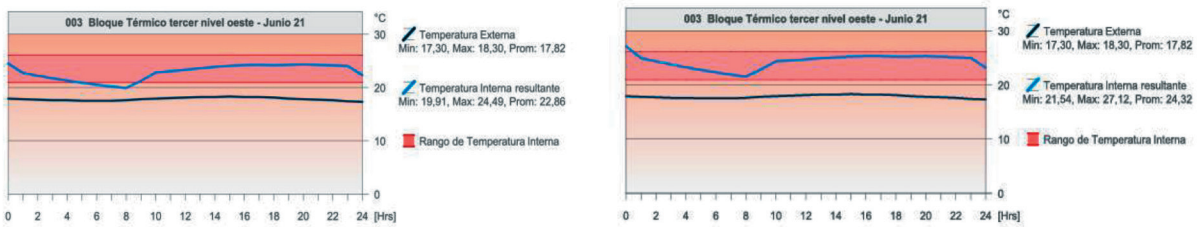

Figura 13. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de junio.

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

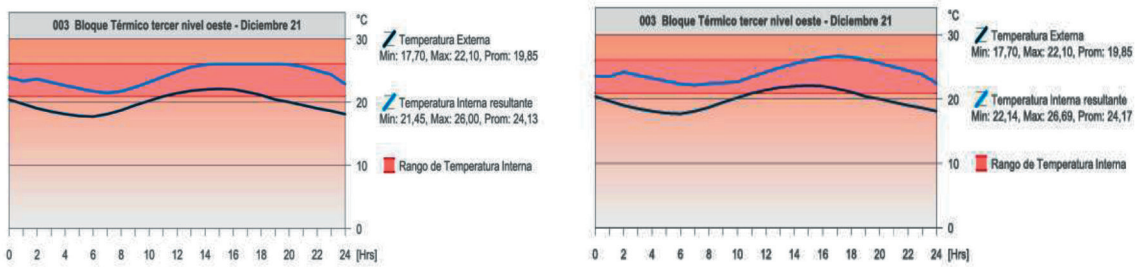

Figura 14. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

Cuarto Piso

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

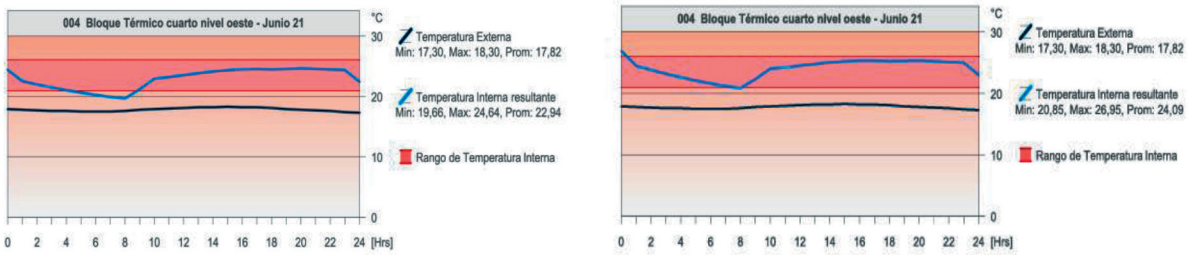

Figura 15. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

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

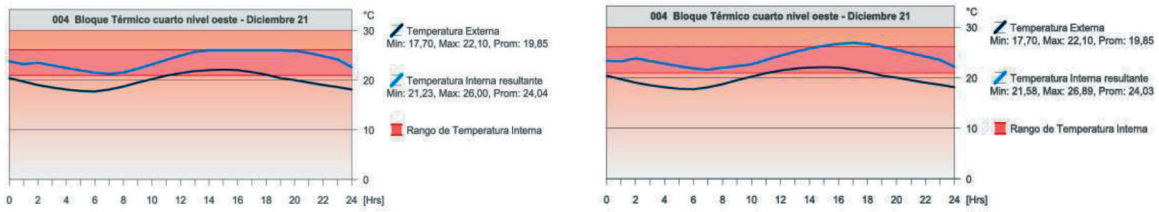

Figura 16. Balance Térmico en ambientes adyacentes a la fachada este con instalación de aire acondicionado(derecha) y sin instalación de aire acondicionado y muros verdes(izquierda) en el primer nivel el día 21 de diciembre.

Comparativa de temperaturas promedio

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

Tabla 1. Comparación de temperaturas promedio entre fechas para cada nivel y fachada de 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	Δ T° 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

Análisis de Producción de CO_2 y Costo Energético por uso de aire acondicionado

Para el desarrollo del análisis de producción de CO_2 y Costo Energético asociado se utilizó el modelo 3D del edificio de la Facultad de Ciencias Biológicas en el software Archicad 21, realizado bajo la metodología BEM (Building Energy Model).

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

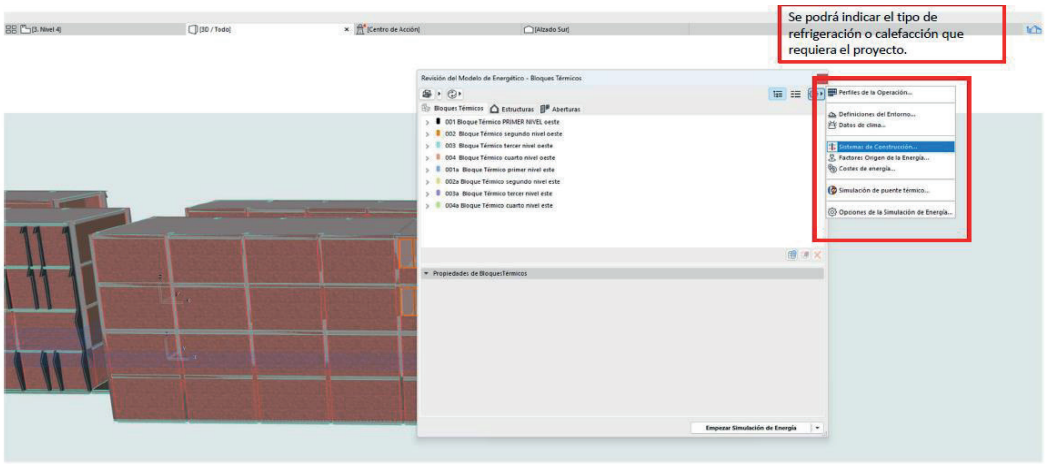

Figura 17. Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico. Software Archicad 21.

Posterior a la selección de dicha opción, se asigna el uso de aire acondicionado a cada uno de los ocho bloques térmicos. Se inserta el rango de temperaturas de confort, cantidad de aforo y equipamientos eléctricos (Figuras 18 y 19).

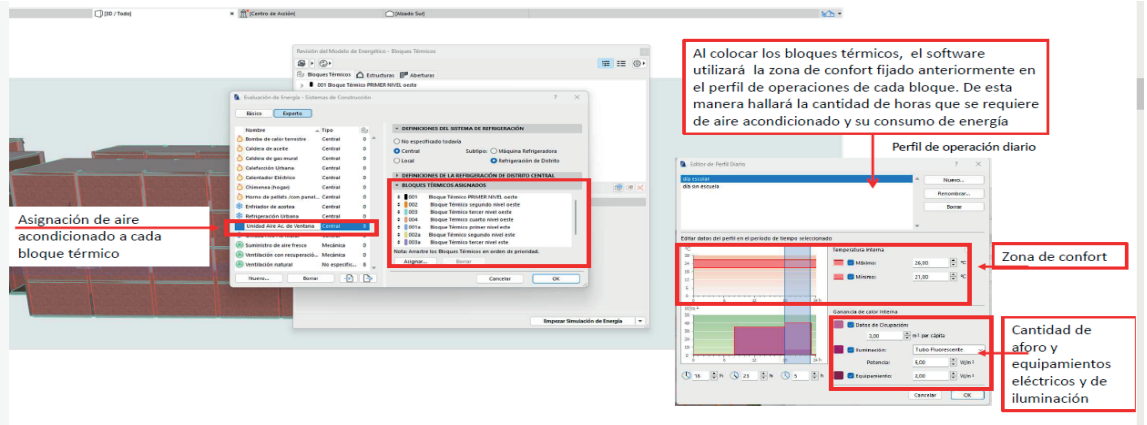

Figura 18. Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico. Software Archicad 21.

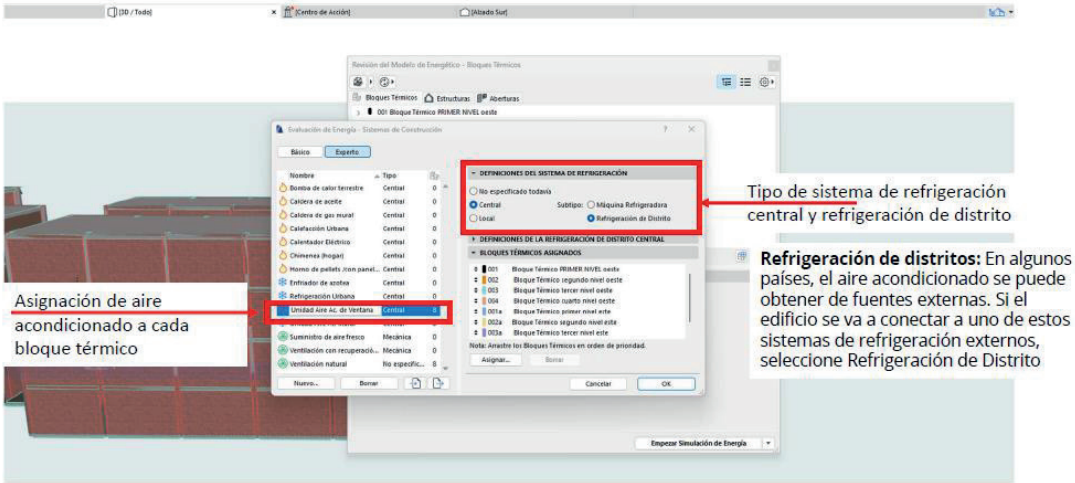

Figura 19. Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico. Software Archicad 21.

Algunos de los parámetros como Demanda de Electricidad de la Bomba de Circulación, ubicado en la sección Central Definiciones de la Refrigeración de Distrito Central se encuentra predeterminado, posterior a ello se configura el origen de la energía En el caso de la BIO de la URP, se trabajó con una fuente de Electricidad al 100%, por lo que se configura de tal forma en el software, de haber sido un sistema de alimentación eléctrico mixto se añadiría este en proporción (Figuras 20 al 22).

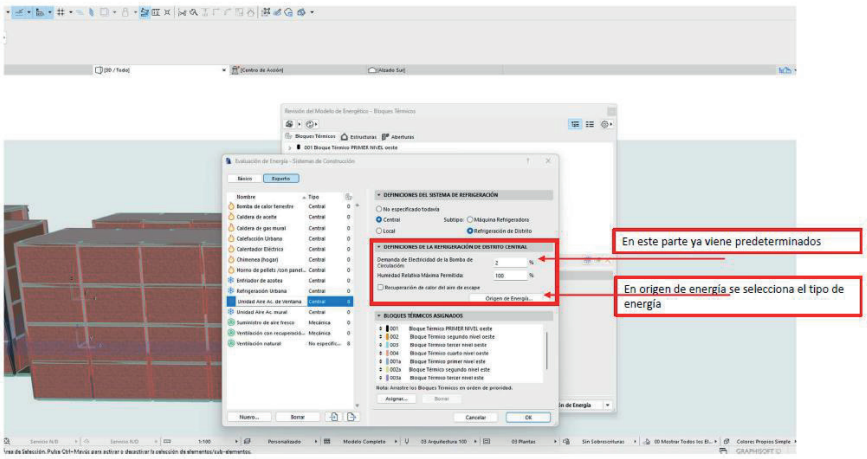

Figura 20. Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico. Software Archicad 21.

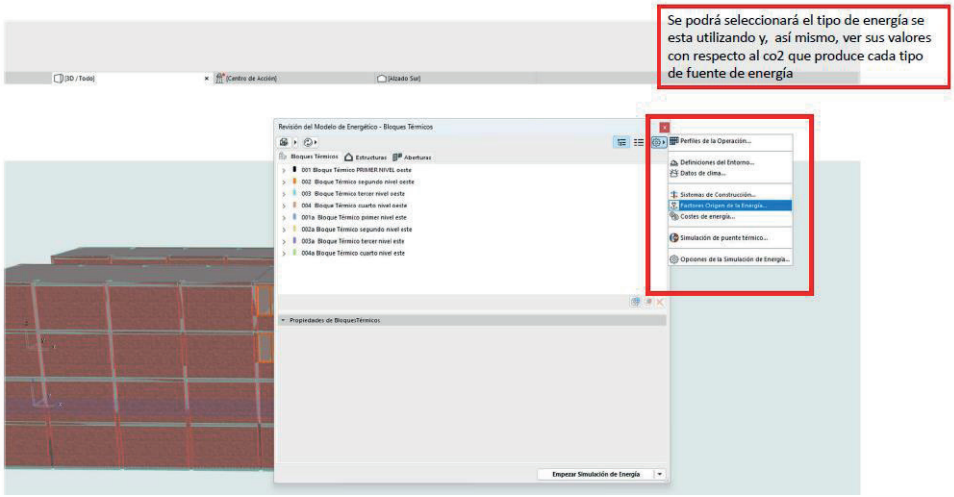

Figura 21. Asignación de Aire Acondicionado a cada bloque térmico.

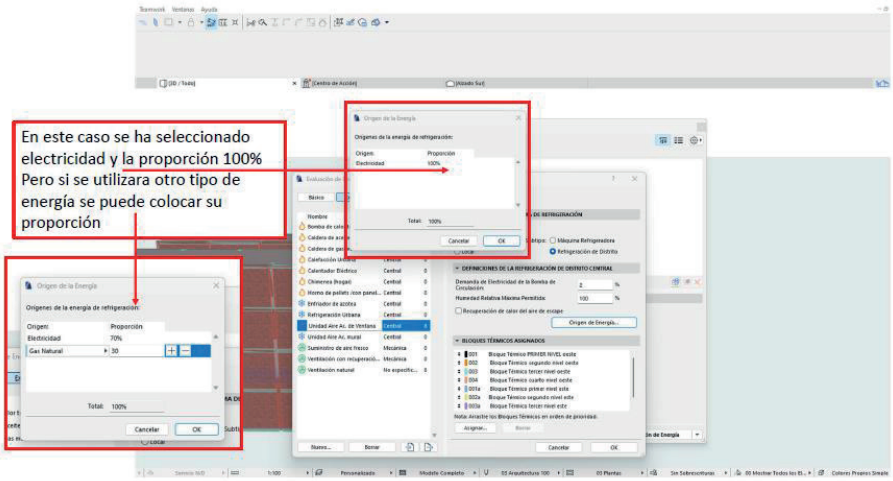

Figura 22. Factores de Origen de la Energía. Software Archicad 21.

Configuración del software para análisis de costo energético

Para el análisis de costos energéticos, se configuran los Factores de Origen de la Energía, el cual se basa en el tipo energía configurada para el modelo BEM (Building Energy Model) mencionado con anterioridad y utilizado para el cálculo de emisiones de CO_2, los valores resultantes de este análisis se encuentran relacionados con la proporción de cada tipo de energía utilizado y su emisión (Figura 23).

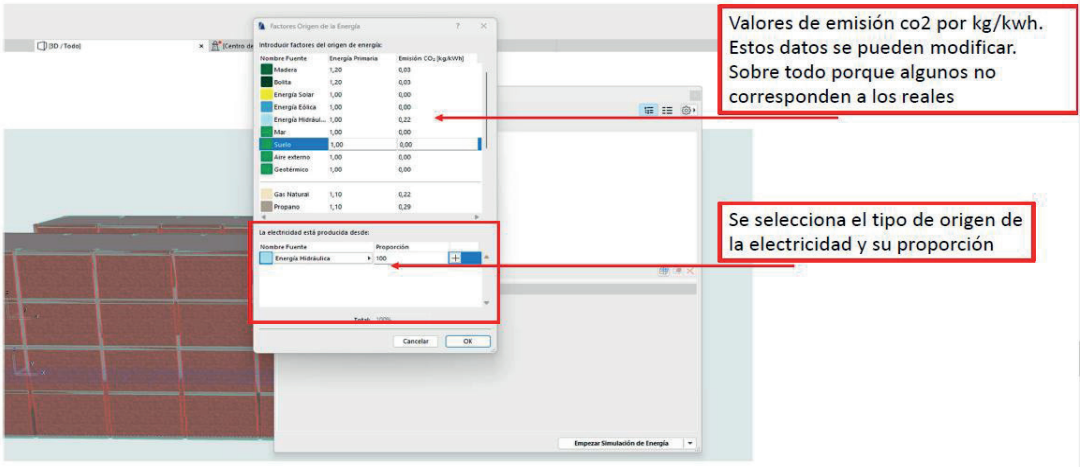

Figura 23. Factores de Origen de la Energía.

En el software se encuentran valores predeterminados de emisión de CO_2 por kg/Kwh, sin embargo, estos pueden ser modificados debido a que no siempre corresponden a los valores reales. Posterior a ello, se selecciona el tipo de origen de la electricidad y su proporción en el uso.Posterior a ello, a través de la configuración se seleccionó la opción Costos de Energía, en el cual se coloca la moneda local, en el caso de esta investigación se colocó como moneda el sol peruano, y el costo del Kwh para obtener estimaciones de costos a través de este (Figura 24).

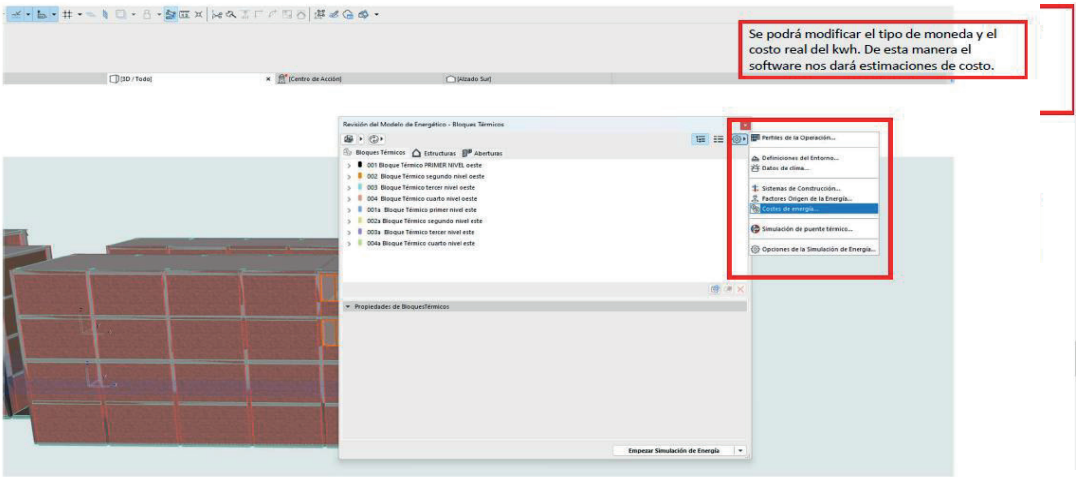

Figura 24. Inserción del valor de la energía. Software Archicad 21.

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

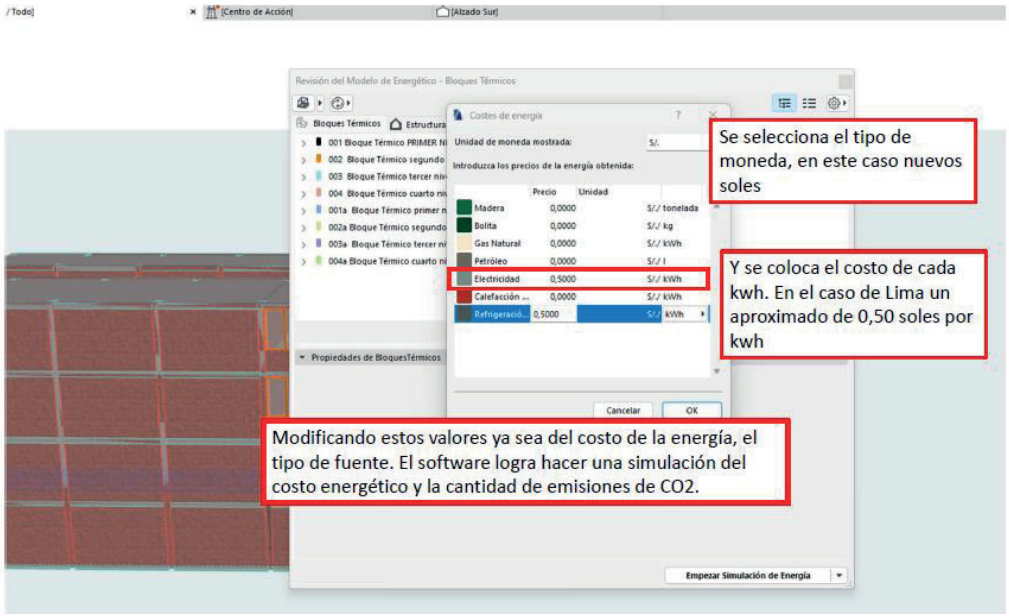

Figura 25. Colocar el valor de la energía.

Comparativa de Gasto Energético con el uso de aire acondicionado

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

En el caso de las emisiones de CO_2, se determinó una emisión de 2.044,636 kg/anual por consumo eléctrico, es importante señalar que este dato no toma en cuenta la absorción de CO_2 producida por la vegetación de los muros verdes, que contrarrestaría y, por lo tan-to, disminuiría este valor de emisión. Para el caso del edificio con aire acondicionado en sus ambientes adyacentes, la emisión de CO_2 se incrementa a 10, 174,626 kg/anual, en comparativa se demuestra que los muros verdes tienen valores similares de control de ganancia térmica frente a la aplicación de un sistema de aire acondicionado con una diferencia máxima de 1,5°C, pero manteniéndose en la zona de confort, además de prevenir el incremento de emisiones de CO_2, frente a un sistema de aire acondicionado.

Tabla 2. Cuadro resumen de resultados de análisis de emisión de CO_2 anual y costo energético.

	FACULTAD DE BIOLOGÍA FACHADA ESTE Y OESTE CON MUROS VERDES		FACULTAD DE BIOLOGÍA FACHADA ESTE Y OESTE CON MUROS DE ALBAÑILERIA 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/anual**		**10 174.626kg/anual**	

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

Además de los beneficios económicos, los muros verdes también tienen un impacto positivo en la reducción de emisiones de CO_2. Aunque se identificó una emisión de CO_2 por el consumo eléctrico asociado con los muros verdes, esta cantidad es considerablemente menor que la generada por el uso de sistemas de aire acondicionado. La vegetación de los muros verdes contribuye a contrarrestar las emisiones de CO_2, lo que resulta en una menor huella de carbono en comparación con los edificios que dependen exclusivamente de sistemas de refrigeración convencionales (Gómez *et al.*, 2023).

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

En conclusión, este estudio ha demostrado de manera contundente los beneficios significativos de la implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste de los edificios en términos de eficiencia energética y reducción de emisiones de CO_2. La investigación ha evidenciado una disminución del consumo energético en los ambientes colindantes en un 80%, gracias a la capacidad de los muros verdes para proporcionar sombra y mejorar la transmitancia térmica, lo que ha contribuido a reducir las emisiones de CO_2 del edificio en un 90%, alcanzando solo 2 Ton/a. Estos resultados subrayan el papel crucial de los muros verdes como una solución efectiva para mejorar las condiciones ambientales de los espacios interiores, al tiempo que se promueve la sostenibilidad ambiental al reducir significativamente la huella de carbono de los edificios. En resumen, los muros verdes emergen como una estrategia viable y prometedora para promover la eficiencia energética y el bienestar tanto en el entorno construido como en el medio ambiente circundante.

Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)

AEGR = Alejandro Enrique Gomez-Rios
DEV = Doris Esenarro-Vargas
VORM = Vanessa Oshin Raymundo-Martinez
SMVY = Stefany Marjorie Vilchez-Yupanqui

Conceptualization: AEGR
Data curation: DEV
Formal Analysis: VORM
Funding acquisition: AEGR, DEV, VORM, SMVY
Investigation: AEGR, DEV, VORM, SMVY
Methodology: DEV, VORM
Project administration: AEGR, DEV, VORM, SMVY
Resources: AEGR, DEV, VORM, SMVY
Software: SMVY
Supervision: AEGR
Validation: VORM
Visualization: SMVY
Writing – original draft: AEGR, DEV, VORM, SMVY
Writing – review & editing: AEGR, DEV, VORM, SMVY

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdallah, A.S.H. (2022). Passive design strategies to improve student thermal comfort in Assiut University: A field study in the Faculty of Physical Education in hot season. *Sustainable Cities and Society, 86*, 104110.

Cabrera-Vallejo, M., & Salazar, W. (2016). Construcción experimental de jardines verticales y su relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados. *Industrial Data, 19*, 78-90.

Chen, Z., Cui, Y., Zheng, H., Wei, R., & Zhao, S. (2023). A case study on multi-objective optimization design of College Teaching Building Atrium in cold regions based on passive concept. *Buildings*, *21*, 2391.

Cubilla, A., & Estenssoro, F. (2011). *Energía y medio ambiente. Una ecuación difícil para América Latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático.*https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/engov/20130827052932/engMAalCubillosEstenssoro.pdf

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2013). Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en américa latina y el caribe. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a8616620-057c-4ffa-9866-1dba21a020d6/content

Díaz-López, C., Serrano-Jiménez, A., Verichev, K., & Barrios-Padura, Á. (2022). Passive cooling strategies to optimise sustainability and environmental ergonomics in Mediterranean schools based on a critical review. *Building and Environment, 221*, 109297.

Esenarro, D., Herrera, P., Hidalgo, Y., Izquierdo, K., & Reyes, M. (2023). Palafitic Housing Prototype in Belén and environmental sustainability. *International Conference on Innovations in Energy Engineering & Cleaner Production (IEECP).* pp. 1-7.

Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2016). Propuesta sostenible para mitigar los efectos climáticos adversos en una ciudad costera de Argentina. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 36*, 281-306.

Gómez, A., Esenarro, D., Martinez, P., Vilchez, S., & Raymundo, V. (2023). Thermal Calculation for the Implementation of Green Walls as Thermal Insulators on the East and West Facades in the Adjacent Areas of the School of Biological Sciences, Ricardo Palma University (URP) at Lima, Peru 2023. *Buildings*, *13*, 2301.

Guo, T.; Zhao, Y.; Yang, J.; Zhong, Z.; Ji, K.; Zhong, Z.; & Luo, X. (2023) Effects of Tree Arrangement and Leaf Area Index on the Thermal Comfort of Outdoor Children's Activity Space in Hot-Humid Areas. *Buildings*, *13*, 214.

Guerrero-Puerta, L. (2023). A Review of Evolving Paradigms in Youth Studies. *Societies*, 13, 136.

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. (1988a). *El cambio climático y la tierra.* https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (1988b). *El IPCC y el sexto ciclo de evaluación.* https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/09/AC6_brochure_es.pdf

Givoni, B. (1979). Passive cooling of buildings by natural energies. *Energy Building*, 2(4), 279–85.

Hochstetter-Diez, J., Negrier-Seguel, M., Diéguez-Rebolledo, M., Vásquez-Morales, F., & Sancho-Chavarría, L. (2023). Governance Democratic and Big Data: A Systematic Mapping Review. *Sustainability*, *15*, 12630.

Kundzewicz, Z.W., Choryński, A., Olejnik, J., Schellnhuber, H.J., Urbaniak, M., & Ziemblińska, K. (2023). Climate Change Science and Policy—A Guided Tour across the Space of Attitudes and Outcomes. *Sustainability*, *15*, 5411.

Kim, Y. (2021). Technological Innovation, the Kyoto Protocol, and Open Innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *7*, 198.

Kristoferson, L. A., & Bokalders, V. (1986). Passive heating & cooling of buildings. En: *Renewable Energy Technologies. Elsevier*; pp. 232–247.

Ministerio de Educación. (2021). Los Factores que Limitan la Transición a la Educación Superior Situación Actual y Recomendaciones de Política Pública: 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

Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management, 197*, 522–538.

Nederhand, J., Avelino, F., Awad, I., De Jong, P., Duijn, M., Edelenbos, J., Engelbert, J., Fransen, J., Schiller, M., & Van Stapele, N. (2023). Reclaiming the city from an urban vitalism perspective: critically reflecting smart, inclusive, resilient and sustainable just city labels. *Cities*, *137*, 104257.

Ministerio del Ambiente (2022). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2012*. https://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/inventario-nacional-de-gases-efectos-invernaderos-2010-2/

Ordóñez, E., & Pérez, M. (2015). Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR. *Acta universitaria, 25*, 11-19.

Psillaki, M., Apostolopoulos, N., Makris, I., Liargovas, P., Apostolopoulos, S., Dimitrakopoulos, P., & Sklias, G. (2023). Hospitals' Energy Efficiency in the Perspective of Saving Resources and Providing Quality Services through Technological Options: A Systematic Literature Review. *Energies*, *16*, 755.

Pichlhofer, A., Korjenic, A., Sulejmanovski, A., & Streit, E. (2023). Influence of Facade Greening with Ivy on Thermal Performance of Masonry Walls. *Sustainability*, *15*, 9546.

Pulido, V., & Olivera, E. (2018). Aportes Pedagógicos a la Educación Ambiental: Una Perspectiva Teórica. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, *20*, 333-346.

Peñafiel, M.E., & Vallejo, A.B. (2018). Educación Ambiental en las Universidades, Retos y Desafíos Ambientales, *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible*, 11, https://www.eumed.net/rev/delos/32/magaly.html

Quintana, F. (2017). Dinámica, escalas y dimensiones del cambio climático. *Tla-melaua, 10*(41), 180-200.

Ruiz-Valero, L., Arranz, B., Faxas-Guzmán, J., Flores-Sasso, V., Medina-Lagrange, O., & Ferreira, J. (2023). Monitoring of a living wall system in Santo Domingo, Dominican Republic, as a Strategy to Reduce the Urban Heat Island. *Buildings, 13*, 1222.

Ren, J., Shi, K., Li, Z., Kong, X., & Zhou, H. (2023). A Review on the Impacts of Urban Heat Islands on Outdoor Thermal Comfort. *Buildings*, *13*, 1368. https://doi.org/10.3390/buildings13061368.

Suárez, P., Cantón, M., & Correa, É. (2020). Desempeño térmico de fachadas verdes tradicionales de orientación este en viviendas seriadas emplazadas en climas áridos. *Revista hábitat sustentable, 10*, 82-93.

Tafur, V., Aguirre, F., Vega-Guevara, M., Esenarro, D., & Vilchez, J. (2024). Causes and Effects of Climate Change 2001 to 2021, Peru. *Sustainability*, *16*, 2863.

Torriani, G., Lamberti, G., Salvadori, G., Fantozzi, F., & Babich, F. (2023). Thermal comfort and adaptive

capacities: Differences among students at various school stages. *Building and Environment, 237*, 110340.

Voinea, G.D., Gîrbacia, F., Duguleană, M., Boboc, R.G., & Gheorghe, C. (2023). Mapping the Emergent Trends in Industrial Augmented Reality. *Electronics*, *12*, 1719.

Velázquez de Castro-González, F. (2005) Cambio climático y protocolo de Kioto. Ciencia y estrategias: Compromisos para España. *Revista Española de Salud Pública*, *79*, 191-201.

Vanaga, R., Narbuts, J., Freimanis, R., Zundāns, Z., & Blumberga, A. (2023). Performance assessment of two different phase change materials for thermal energy storage in building envelopes. *Energies*, *16*, 5236.

Villanueva, J., Ranfla, A., & Quintanilla, A. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información Tecnológica, 24*, 25–26.

Wang, C.H., Ko, M.H., & Chen, W.J. (2019). Effects of Kyoto Protocol on CO_2 Emissions: A Five-Country Rolling Regression Analysis. *Sustainability*, *11*, 744.

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

Received July 6, 2024.

Accepted November 11, 2024.