



## INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN APROBADO EN EL 2023

### 1.0 Título del proyecto:

Determinación del cálculo térmico de la Implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste y su impacto en los ambientes colindantes de la facultad de Ciencias Biológicas en la universidad Ricardo Palma (URP), Lima-Perú 2023.

### 2.0 Autor/es del proyecto:

**Responsable, Alejandro Gómez<sup>1</sup>**

**Colaborador(es)**, Doris Esenarro<sup>2</sup>, Pablo Cobeñas<sup>3</sup>, Walter Morales<sup>4</sup>, Emerson Porras<sup>5</sup>

### 3.0 Resumen

**Abstract:** This research aims to implement green walls as thermal insulators on the east and west facades of the adjacent areas of the School of Biological Sciences at Ricardo Palma University. The growth of urban cities causes an increase in CO<sub>2</sub> emissions and the loss of agricultural land. The methodology applied involves evaluating the thermal behavior, analyzing the local climate, and assessing plant species for implementation. As a result, the successful implementation of green walls on the east and west facades was achieved, which has proven to effectively reduce wall heating, decrease the temperature rise in nearby spaces, and minimize reliance on artificial ventilation systems. This has led to energy and cost savings, decreased CO<sub>2</sub> emissions, and increased oxygen production. By implementing green walls on the east facade, there has been an increase of 60.73% in comfort hours, while on the west facade, there has been an increase of 64.28% in comfort hours. In addition, a total of 977.50 kg of CO<sub>2</sub> has been absorbed, resulting in 722.50 kg of purified air. In conclusion, green walls have proven to be a viable solution to the problems faced in urban cities, helping to mitigate the internal temperature of indoor spaces.

**Keywords:** green walls; thermal calculation; thermal insulator; carbon dioxide

**Resumen:** Esta investigación tiene como objetivo implementar muros verdes como aislantes térmicos en las fachadas este y oeste de las áreas adyacentes de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma. El crecimiento de las ciudades urbanas provoca un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la pérdida de suelo agrícola. La metodología aplicada implica evaluar el comportamiento térmico, analizar el clima local y evaluar especies vegetales para su implementación. Como resultado, se logró la implementación exitosa de muros verdes en las fachadas este y oeste, lo que ha

---

<sup>1</sup> Facultad de Arquitectura y Urbanismo-Laboratorio de Acondicionamiento Ambiental. Código ORCID: 0000-0002-9883-3451. [agomez@urp.edu.pe](mailto:agomez@urp.edu.pe)

<sup>2</sup> Facultad de Arquitectura y Urbanismo-Laboratorio de Investigación para la Investigación Formativa y la Innovación Arquitectónica. Código ORCID: 0000-0002-7186-9614. [doris.esenarro@urp.edu.pe](mailto:doris.esenarro@urp.edu.pe)

<sup>3</sup> Facultad de Arquitectura y Urbanismo-Decano de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Código ORCID: 0000-0002-2674-4732. [pablo.cobenas@urp.edu.pe](mailto:pablo.cobenas@urp.edu.pe)

<sup>4</sup> Facultad de Arquitectura y Urbanismo- Biblioteca de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Código ORCID: 0000-0001-9028-0541. [walter.morales@urp.edu.pe](mailto:walter.morales@urp.edu.pe)

<sup>5</sup> Facultad de Arquitectura y Urbanismo- Laboratorio de Fabricación Digital de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Código ORCID: 0000-0002-3236-5202. [emerson.porras@urp.edu.pe](mailto:emerson.porras@urp.edu.pe)

demostrado reducir efectivamente el calentamiento de las paredes, disminuir el aumento de temperatura en los espacios cercanos y minimizar la dependencia de sistemas de ventilación artificial. Esto ha llevado a ahorros de energía y costos, disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y aumento de la producción de oxígeno. Al implementar muros verdes en la fachada este se ha logrado un aumento del 60.73% en las horas de confort, mientras que en la fachada oeste se ha registrado un aumento del 64.28% en las horas de confort. Además, se han absorbido un total de 977,50 kg de CO<sub>2</sub>, dando como resultado 722,50 kg de aire purificado. En conclusión, los muros verdes han demostrado ser una solución viable a los problemas que enfrentan las ciudades urbanas, ayudando a mitigar la temperatura interna de los espacios interiores.

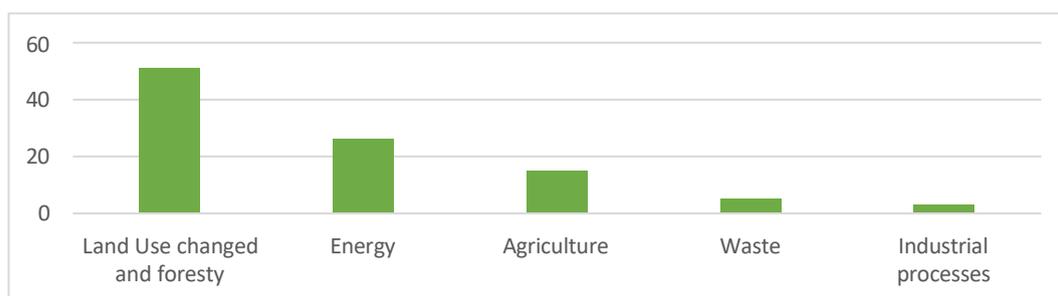
**Palabras clave:** muros verdes; cálculo térmico; aislante térmico; dióxido de carbono

#### 4.0 Introducción (ver citas en Referencias Bibliográficas)

La contaminación ambiental no sólo afecta negativamente a la calidad de vida de las personas, sino que también plantea riesgos para la salud [1]. Además, impacta directamente sobre el propio planeta, provocando eventos alarmantes como el cambio climático por la acumulación de gases de efecto invernadero [2] y la extinción de especies biológicas [3]. Para abordar los efectos negativos de la actividad económica humana, múltiples estudios científicos han explorado el uso de plantas. Estos esfuerzos de investigación han revelado múltiples posibilidades y aspectos positivos de la implementación de plantas. En particular, las plantas pueden funcionar como reguladores de temperatura [4], lo que resulta en una reducción de la temperatura de la superficie y del aire exterior alrededor de los edificios [5]. Esto contribuye a la optimización energética, reduciendo el consumo de energía interior [6,7]. Además, las plantas ofrecen beneficios funcionales al controlar las ganancias de calor [8]. Además, las plantas ayudan a reducir los niveles de ruido ya que absorben el sonido [9] y también desempeñan un papel importante en la gestión de las aguas pluviales [10].

En el año 2000, Perú sólo representó el 0,4% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) [11]. Sin embargo, para 2018, las emisiones del Perú habían aumentado significativamente, alcanzando hasta 218,70 millones de toneladas de dióxido de carbono [12] (Figura 1).

Figura 1. Registro Nacional de GEI por Sectores en Perú [13].



Los muros verdes en áreas urbanas representan puntos valiosos para la biodiversidad, contribuyendo a la conservación de especies, actuando como corredores urbanos de vida silvestre y apuntando a la sostenibilidad a través de una cuidadosa selección de materiales y estructuras [14]. Los muros verdes pueden mejorar las condiciones térmicas de los edificios [15]. Para ello se han realizado investigaciones sobre especies adecuadas y una gestión eficiente del agua. Estas áreas verdes desempeñan diversas

funciones, generando impactos sanitarios, psicosociales, recreativos, estéticos y ambientales [16]. Gracias a los beneficios que aportan al bienestar físico y emocional de las personas, la Organización Mundial de la Salud considera esenciales los muros verdes [17]. De hecho, contribuyen a hacer lugares más habitables, incluidos los campus universitarios, mejorando así su calidad ambiental. Se ha demostrado que diseñar las paredes de los edificios con cubiertas vegetales tiene un efecto beneficioso sobre la estabilidad térmica [18], ayudando a ahorrar energía y combatir el cambio climático [19]. Además, estos ecosistemas suelo-planta contienen microbios, insectos, aves, etc., que contribuyen a la biodiversidad urbana y al equilibrio ecológico [20]. Sin embargo, estas estructuras vivas también han generado preocupaciones sobre daños a largo plazo a los edificios, aumento de la humedad, liberación de alérgenos y presencia de insectos o reptiles no deseados [21].

Las universidades públicas y privadas, como instituciones de educación y formación de futuros profesionales, son espacios adecuados para promover y sensibilizar sobre la educación ambiental y, en consecuencia, el cuidado del medio ambiente [22,23]. Para esta investigación se seleccionó la Facultad de Biología de la Universidad Ricardo Palma, luego de haber evaluado adecuadamente sus condiciones espaciales, así como los problemas que enfrenta en verano, los cuales afectan significativamente el confort térmico, provocando que las lecciones sean incómodas tanto para profesores como para estudiantes. [24,25]. La implementación de muros verdes en ambas fachadas de la Facultad de Ciencias Biológicas se realizó desde febrero de 2022 hasta marzo de 2023. Específicamente, la implementación de la fachada este se inició en febrero de 2022 y finalizó en agosto de 2022. Por otro lado, la implementación La construcción de la fachada oeste se inició en noviembre de 2022 y finalizó en marzo de 2023.

El contexto urbano de los campus universitarios permite la implementación de estructuras arquitectónicas como aulas, laboratorios, bibliotecas, oficinas administrativas, cafeterías, restaurantes, áreas deportivas, zonas de mantenimiento, áreas abiertas de circulación, espacios de reunión de estudiantes y estacionamientos. Sin embargo, esto provoca una reducción de las áreas verdes debido a la prioridad que se le da a la superficie edificable [26,27]. Como consecuencia de no contar con un adecuado plan de manejo de áreas verdes, otro tipo de superficies como cemento, asfalto y concreto son más comunes que los espacios verdes [28]. Esto conduce a diversos problemas, como áreas excesivamente calentadas (como estacionamientos, pasillos, techos, etc.) que provocan el sobrecalentamiento del campus y la falta de recursos generadores de oxígeno [29].

El Proyecto Universidad Ecológica-URP contempla una propuesta de gestión de áreas verdes, que incluye la implementación de muros verdes para las fachadas este y oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas. Con ello se pretende reducir el calentamiento en las fachadas, mejorando así el confort térmico en los espacios adyacentes. Asimismo, se espera capturar CO<sub>2</sub> y producir oxígeno a través de los recubrimientos vegetales [30,31].

Esta propuesta consiste en dividir las paredes de los bloques de aulas de cuatro pisos en tres secciones, cada una diseñada con un tipo diferente de muro verde. La parte inferior contará con una planta trepadora que crecerá desde una jardinera construida en la base del muro, con tierra para cultivo. Este tramo contará con un sistema de riego por goteo tecnificado. La mitad del muro verde estará hecha de un marco de aluminio y geotextiles. Contará con vegetación resistente al sol y que ahorra agua en varios

colores. Uno de los bloques mostrará las letras “URP” y “BIO” a modo de panel informativo. Este tramo también contará con un sistema de riego con manguera automatizado y tecnificado. En la parte superior del muro, se plantarán plantas rastreras que crecerán hacia abajo, hasta llegar al límite del diseño medio. Los tres sistemas de muros verdes utilizarán eficientemente el agua con riego por goteo tecnificado. También proporcionarán aislamiento térmico para entornos cercanos y mejorarán el confort térmico dentro de esos espacios [32]. Además, los muros verdes no sólo conllevarán ventajas estéticas, sino que también proporcionarán los siguientes beneficios:

- Reducir el calentamiento de las paredes adyacentes.
- Minimizar el aumento de temperatura en áreas adyacentes.
- Disminuir la necesidad de equipos de ventilación eléctricos o mecánicos.
- Generar ahorro de energía y costos.
- Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es realizar un cálculo térmico para implementar muros verdes como aislantes térmicos en las fachadas este y oeste de las áreas adyacentes en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma. Esta investigación pretende proponer un cambio de paradigma y establecer la arquitectura bioclimática como base de la eficiencia energética.

## 5.0 Planteamiento del Problema

La expansión urbana que experimentan las ciudades, está asociada con numerosos problemas ambientales, uno de estos es el incremento térmico en la ciudad de Lima que obliga a los planificadores y diseñadores a encontrar soluciones en espacios cada vez más limitados. (Knausa & Haase, 2020) ya que alrededor de la mitad de la población del mundo vive en ciudades. Se espera que esta aumente al 61% para el 2030. Las ciudades, pese a su diversidad presentan características ambientales comunes en muchas partes del mundo, como por ejemplo la presencia de la Isla de Calor Urbana (Rosatto H., Botta G., Becerra A. Tardito H., Leveratto M., 2016).

En el Perú según resultados de INEI en el año 2000 solo generaba el 0,4% de GEI (gases de efecto invernadero) como contribución a nivel universal (APONTE, 2017), en cambio en el 2018 Perú genera hasta 218.70 millones de toneladas de dióxido de carbono según (MINAM, 2018)

Lima no es la excepción ante dicho problema es por ello que la Municipalidad de Lima, mediante la ordenanza municipal N° 1852, sobre gestión de espacios verdes, se compromete a la creación, conservación, protección, mantenimiento y sostenibilidad de los espacios verdes, en razón a la importancia para el bienestar de las personas (Municipalidad Metropolitana de Lima (MML, 2014). Asimismo, el confort térmico dentro de las viviendas, centros de trabajos, y diferentes instituciones es problema que afecta no solo a la vida humana, sino también en la existencia de las especies ya que el incremento de la temperatura afecta significativamente en la temperatura interna, por lo que es necesario tomar medidas que permita disminuir las temperaturas internas, con estrategias que favorezcan al confort de los usuarios, y una de ellas es los muros verdes (Cascone, S. 2019).

Problema Principal

¿En qué medida la determinación del cálculo térmico de la Implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste permite evaluar su impacto en los ambientes colindantes de la facultad de Ciencias Biológicas en la universidad Ricardo Palma (URP), Lima-Perú 2023?

### Problemas Específicos

¿En qué medida las orientaciones de las fachadas implementadas con los muros verdes inciden en el confort térmico en los interiores de las aulas de la facultad de biología?

¿En qué medida el confort térmico incide en los interiores de las aulas de la facultad de biología?

## 6.0 Importancia

La investigación se justifica plenamente, porque el objeto de estudio se encuentra dentro de las líneas de investigación de la carrera de arquitectura (Ciudad, territorio y acondicionamiento ambiental), al mismo tiempo se señala que se encuentra dentro de las tendencias de la investigación actual. La investigación es un aporte porque contribuye al mejoramiento del confort térmico de la facultad de biología en la universidad Ricardo Palma - URP Lima-Perú 2022.

## 7.0 Antecedentes

Rodríguez A. et al (2021) "Cubierta Verde Extensivo Como Mejora Del Comportamiento De Temperatura" El objetivo del proyecto es describir el impacto que tiene el clima frente a los inmuebles en los diferentes estratos de la ciudad; realizando las variaciones de una cubierta convencional a una verde extensiva desarrollando dos prototipos, cada una con las distintas características que las delimita cada cubierta ya mencionada; observándose a la luz de un análisis el cual permite vincular teórica y metodológicamente la relación entre el cuidado del medio ambiente, construcción de viviendas y bienestar municipal. Por último, el desarrollo del proyecto comprende tres momentos: 1) elaboración del proyecto de investigación, 2) indagación bibliográfica y analítica, y 3) trabajo de campo, estadísticas de cuestionarios y resultados.

Tovar, E. (2018) "Evaluación del desempeño de los techos verdes como aislantes térmicos para edificaciones" tuvo como objetivo evaluar la propiedad aislante térmica en unidades experimentales dotadas de techos verdes operadas a condiciones climáticas no controladas, a partir del registro de las temperaturas internas alcanzadas. Se evaluó la propiedad aislante térmica de los techos verdes en comparación con techos testigos y se determinó la correlación existente entre la temperatura ambiente y las unidades experimentales. Para ello se analizó los datos de 19 días con intervalos de 15 minutos. Los resultados mostraron que existe una influencia directa de la temperatura ambiental sobre la registrada en el interior de las unidades experimentales. Por otra parte, se encontró que existe diferencias significativas entre las temperaturas internas de las unidades testigo y las unidades dotadas de techos verdes, así también entre el *Arachis pintoi* y el *Ophiopongo japonicus* utilizados para cobertura vegetal. Se registró un gradiente promedio de 2.24 °C entre la unidad testigo y la temperatura ambiente, mientras que en las unidades con techos verdes presentó un gradiente promedio de 4.09 - 4.22 °C. Finalmente, se registraron menores temperaturas internas en las unidades con mayor espesor de cobertura vegetal.

Cristobal, J. & Astete, P. (2019) "Techos Verdes Y Sus Beneficios" tuvo como objetivo recopilación de información sobre los techos verdes y los beneficios que brindan, dando unos ejemplos puntuales de datos que se han obtenido al ser implementados para el mejoramiento de la calidad de vida. Se evaluó los beneficios que van desde Aislamiento térmico, aislamiento del ruido, manejo del agua de lluvia, aumento en la calidad de aire, huertos familiares, entre otros. Tuvo como resultado que los techos verdes como

tecnología para contrarrestar varios problemas de las partes urbanas de países deberían ser más que suficientes para que estos sistemas sean implementados en más de las infraestructuras de las que se encuentran. Se pudo ver que los techos verdes o bióticos vienen desde épocas antiguas porque siempre han traído beneficios a los habitantes y la estructura.

## 8.0 Marco Conceptual

### **Sostenibilidad**

La sostenibilidad se define como la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades [33]. Esto implica el uso y gestión responsable de los recursos, la preservación del equilibrio ecológico y la promoción de la equidad social y el desarrollo económico que pueda perdurar en el largo plazo [34,35].

### **Pared verde**

Los muros verdes a menudo se denominan “muros vivos”, “biomuros” o “jardines verticales”. Incorporan vegetación, material de cultivo, riego y drenaje en un único sistema. Algunos beneficios de los muros verdes incluyen proporcionar un diseño atractivo y agregar aislamiento al edificio al dar sombra a la superficie de la pared. Crean un microclima más fresco, mejoran la calidad del aire local y permiten el cultivo de plantas en áreas que normalmente no albergarían vegetación [36].

### **Comodidad térmica**

El confort térmico se refiere a la sensación de bienestar y confort en un ambiente interior, caracterizado por la ausencia de irritación o malestar térmico. Esto implica experimentar condiciones climáticas aceptables, donde no se perciba ni calor ni frío excesivos [37-39].

### **Arquitectura Bioclimática**

La arquitectura bioclimática implica diseñar edificios que se adapten al clima local utilizando estrategias pasivas [40,41], con el objetivo de lograr una calidad ambiental interior favorable y minimizar el consumo energético [42,43]. Hay dos enfoques para la arquitectura bioclimática: diseño bioclimático analítico y diseño bioclimático sintomático. El primer enfoque se basa en analizar el clima local, identificar el potencial bioclimático y determinar las medidas bioclimáticas apropiadas [44].

### **Aislante térmico**

Un material o una combinación de materiales que, cuando se usa adecuadamente, tiene la capacidad de disminuir la tasa de transferencia de calor por conducción, convección y radiación se conoce como aislante térmico. El efecto de retardo en el flujo de calor gracias a la alta resistencia térmica da como resultado una menor transferencia de calor hacia o desde el edificio [45-47].

## 9.0 Objetivos

**Objetivo General:** Determinar del cálculo térmico de la Implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste permite evaluar y su impacto en los ambientes colindantes de la facultad de Ciencias Biológicas en la universidad Ricardo Palma (URP), Lima-Perú 2023.

### **Objetivos Específicos:**

Determinar en qué medida las orientaciones de las fachadas implementadas con los muros verdes inciden en el confort térmico en los interiores de las aulas de la facultad de biología

Determinar el confort térmico en los interiores de las aulas de la facultad de biología

## 10.0 Hipótesis

### Hipótesis Principal

La determinación del cálculo térmico de la Implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste permite evaluar su impacto en los ambientes colindantes de la facultad de Ciencias Biológicas en la universidad Ricardo Palma (URP), Lima-Perú 2023

### Hipótesis Específicos

- Las orientaciones de las fachadas implementadas con los muros verdes inciden significativamente en el confort térmico en los interiores de las aulas de la facultad de biología
- El confort térmico incide significativamente en los interiores de las aulas de la facultad de biología

## 11.0 Variables

### Calculo Térmico

- Orientación de la fachada
- Radiación solar
- Temperatura interna
- Incidencia solar mensual kW.mes/m<sup>2</sup>

### Muro Verde

- Diseño
- Superficie de m<sup>2</sup> de vegetación
- Cantidad de especies de vegetación

## 12.0 Método

### 12.1. Tipo de investigación

La investigación es de enfoque cuantitativo. El tipo de investigación es aplicada, porque se estudió los muros verdes en las instalaciones del proyecto universidad ecológica URP-Lima Perú.

### Ámbito temporal

La presente investigación se realizará en el período de 2023, en el cual se analizó el prototipo de muro verde, obteniéndose resultados de aislación térmico.

### 12.2. Método de investigación

La investigación fue de tipo aplicada enmarcada en los principios de la arquitectura bioclimática y la eficiencia energética.

### 12.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación será descriptivo. (Rodríguez, C. et al, 2020) La presente investigación se desarrollará en las instalaciones de la facultad de BIOLOGIA en la Universidad Ricardo Palma

### 12.4. Muestra / Participantes / Sujetos / Base(s) de datos

El muestreo es no probabilístico, por conveniencia



### **Unidad de análisis**

Facultad de Biología de la Universidad Ricardo Palma.

#### **12.5. Instrumento de recolección de datos**

Para la investigación se utilizarán los planos y modelos 3D de los planos existentes de la universidad, Asimismo se aplicarán encuestas a los estudiantes y profesores de la universidad, y se trabajarán datos climáticos con información de la radiación solar de Lima.

#### **12.6. Técnicas de procesamiento de datos**

Técnicas de procedimientos de datos:

Se utilizarán programas como:

- Excel 2016 (Matriz de Datos de resultados),
- Autodesk Autocad 2021
- Autodesk Revit 2020
- Arcgis 10.7
- Lumion 11

### **13.0 Resultados**

Se realizaron dos simulaciones para analizar el comportamiento térmico de los muros exteriores donde se instalaron los muros verdes, así como de las áreas interiores adyacentes a estos muros. La radiación recibida por los muros exteriores se obtuvo mediante simulación utilizando el software Autodesk Revit 2021. Para el estudio del balance térmico la simulación del comportamiento se realizó mediante el software Archicad21 (Figuras 2 y 3).



Figura 1. (a) Fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas sin intervención en enero de 2022. (b) Intervención propuesta para la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas.

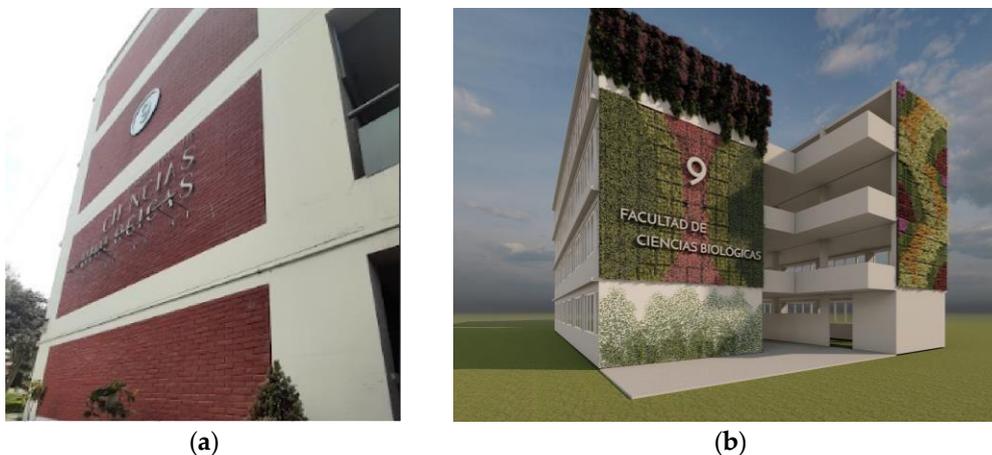


Figura 2. (a) Fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas sin intervención en enero de 2022. (b) Intervención propuesta para la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas.

### Cálculo de la Zona de Confort

Para calcular la zona de confort se ha utilizado el modelo de Neutralidad Térmica ( $T_n$ ), también conocido como termopreferencia, y se basa en una fórmula genérica propuesta por Au-liciemis & de Dear. Esta fórmula relaciona la sensación de confort con la temperatura exterior de bulbo seco, de la siguiente manera:

$$T_n = 17.6 + (T_{prom} \times 0.31)$$

En el cual:

$T_n$  = Temperatura de Neutralidad Térmica (termopreferencia);

$T_{prom}$  = Temperatura promedio de bulbo seco exterior.

Aplicando la fórmula para encontrar la temperatura de neutralidad térmica en la estación Santiago de Surco, podemos encontrar: [El valor de  $T_n$  se proporcionaría aquí con base en la fórmula específica y los datos ingresados].

$$T_{prom} = 20,56 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$T_n = 17,6 + (20,56 \times 0,31).$$

En el cual:  
 $T_n = 23,9^{\circ}\text{C}$

Aplicando la amplitud de la zona de confort con un rango de oscilación inferior a  $13^{\circ}\text{C}$ :  
 $\pm 2,50^{\circ}\text{C}$ , se produce el siguiente resultado:

$T_{\text{mín confort}}: 21,40^{\circ}\text{C}$ ;  
 $T_{\text{máx confort}}: 26,40^{\circ}\text{C}$ .

### Implementación del software Archicad en EcoDesigner Star

Para determinar el cálculo térmico debido a la implementación de muros verdes y jardines verticales, se empleó el software Archicad con EcoDesigner. EcoDesigner es una herramienta de análisis energético. El modelado de información de construcción (BIM) es el proceso holístico de creación y gestión de información sobre un activo construido. Un modelo BIM se puede utilizar en todas las disciplinas relacionadas con la edificación (construcción, arquitectura, estructuras, instalaciones eléctricas y de fontanería). También se puede utilizar para un Modelo Energético de Edificios (BEM) para obtener datos de eficiencia energética, como en el caso de este estudio. Para utilizarlo es necesario preconfigurar la información paramétrica en el modelo BIM. El BEM se puede emplear como una herramienta interactiva para lograr retroalimentación entre un proyecto y la eficiencia energética del edificio.

### Radiación Recibida por los Muros de las Fachadas Este y Oeste

#### Radiación recibida por los muros de la fachada este

Sin los muros verdes, la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas recibió una radiación solar total anual de 138.152 kWh en sus muros. Con los muros verdes, la radiación solar total anual recibida en la fachada este se redujo a 36.172 kWh. Esto representa una reducción del 74% en la radiación directa captada a través de los muros verdes. En los resultados obtenidos del análisis realizado durante solsticios y equinoccios en la fachada este, se observó lo siguiente (Tabla 1) (Figura 4).

Tabla 1. Radiación solar recibida en los muros de la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, expresada en kWh, como sigue.

Fecha	Sin Muros Verdes	Con Muros Verdes	Porcentaje de Reducción
21 Marzo	415	109	74%
21 Junio	270	79	71%
21 Diciembre	412	119	71%

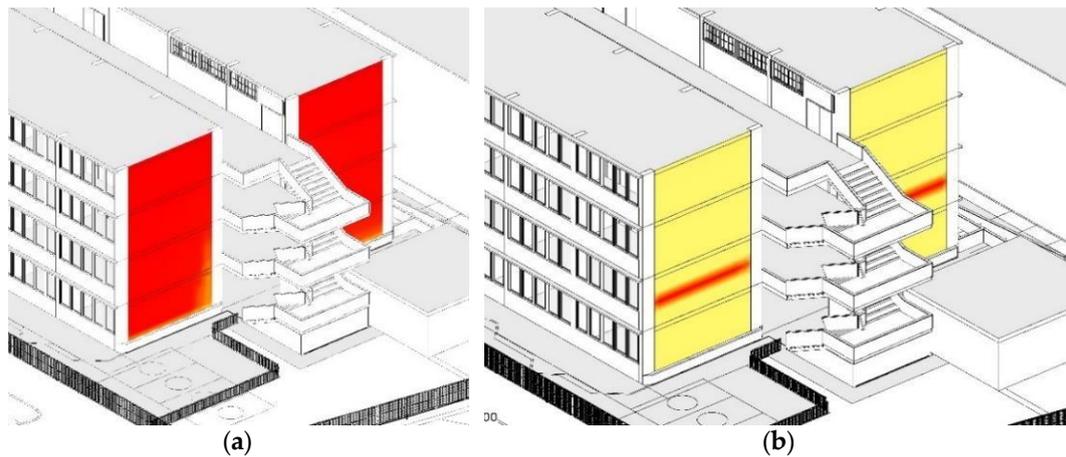


Figura 4. Comparación de resultados obtenidos para la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas. (a) Radiación solar anual recibida en la fachada este sin muros verdes. (b) Radiación solar anual recibida en la fachada este con muros verdes.

#### Radiación recibida por los muros de la fachada oeste

Sin los muros verdes, la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas recibió en sus muros una radiación solar total anual de 125.229 kWh. Con los muros verdes, la radiación solar total anual recibida en la fachada oeste se redujo a 37.420 kWh. Esto representa una reducción del 70% en la radiación directa captada a través de los muros verdes. En los resultados obtenidos del análisis realizado durante solsticios y equinoccios clave en la fachada oeste, se observó lo siguiente (Tabla 2) (Figura 5).

Tabla 2. Radiación solar recibida en los muros de la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, expresada en kWh, como sigue.

Fecha	Sin Muros Verdes	Con Muros Verdes	Porcentaje de Reducción
21 Marzo	277	102	63%
21 Junio	319	87	73%
21 Diciembre	414	124	70%

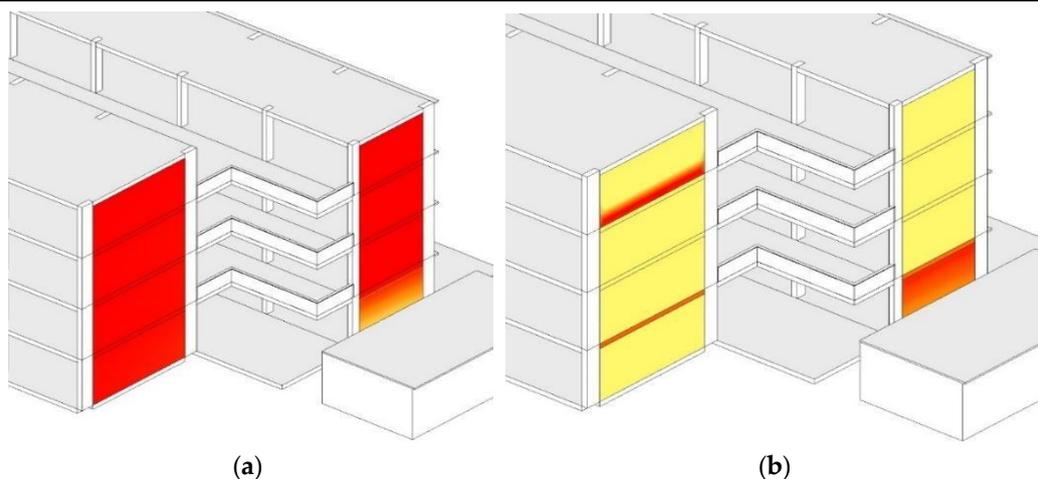


Figura 5. Comparación de resultados obtenidos en la fachada oeste de la Facultad de Biológicas. (a) Resultado de radiación anual obtenido en la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas sin muros verdes. (b) Resultado de radiación anual obtenido en la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas con muros verdes.

## Balance Térmico de las Áreas Adyacentes de los Muros Verdes

La incorporación de los valores U (valores de transmitancia) se toma en consideración para el cálculo del balance térmico de la siguiente manera:

Muro Ugreen = 0,91 w/m<sup>2</sup>k;

U muro de trepadoras = 1,59 w/m<sup>2</sup>k;

U muro de enredaderas = 2,01 w/m<sup>2</sup>k;

En el cual:

U: Coeficiente de Transmitancia Térmica.

Muro Ugreen: Coeficiente de transmitancia térmica para la sección de muro que contiene muro verde.

Muro de trepadoras: Coeficiente de Transmitancia Térmica para el tramo de muro que contiene plantas trepadoras.

Muro de enredaderas: Coeficiente de Transmitancia Térmica para la sección de muro que contiene enredadera.

Para el distrito de Santiago de Surco, ubicado en el Área Metropolitana de Lima, la zona de confort se encuentra en el rango de temperatura entre 21,4 °C de mínima y 26,4 °C de máxima. Este rango se encuentra dentro de la zona de color rosa en los gráficos a continuación.

### Balance Térmico en la Fachada Este

#### Primer piso

- 21 marzo

Durante el equinoccio de otoño, las áreas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 28.84 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 24,33 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 4,51 °C. Además, es evidente que, sin muros verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante 5 h diarias. En cambio, con las paredes verdes, este periodo de confort se extiende hasta las 24 h diarias, lo que representa un aumento del 380% en el porcentaje de tiempo pasado en un estado confortable. Estos resultados demuestran que la implementación de muros verdes en la fachada este tiene un impacto significativo en la mejora del confort térmico, ya que reduce la temperatura promedio y proporciona un ambiente más consistente y confortable durante todo el día (Figura 6).

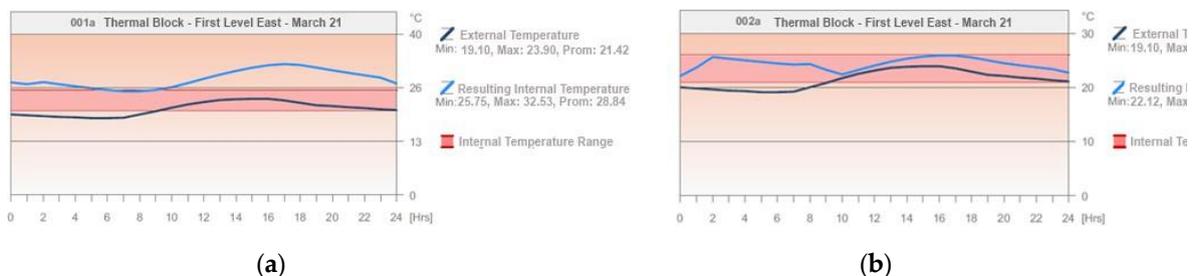


Figura 6. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el primer piso el 21 de marzo. (b) Resultado del balance térmico en zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el primer piso el 21 de marzo

- 21 de junio

Durante el solsticio de invierno, las zonas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 23,97 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio se reduce a 23,36 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 0,61 °C. Además, es evidente que, sin los muros verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante las 22 horas diarias. En cambio, con las paredes verdes, este periodo de confort se mantiene constante en las 24 h diarias, lo que representa un aumento del 9,09% en el porcentaje de tiempo pasado en un estado confortable. Estos resultados muestran que la implementación de muros verdes en la fachada Este tiene un impacto positivo en el confort térmico durante el solsticio de invierno, ya que proporciona una ligera reducción de la temperatura promedio y asegura un mayor porcentaje de tiempo pasado en un estado confortable a lo largo del día (Figura 7).

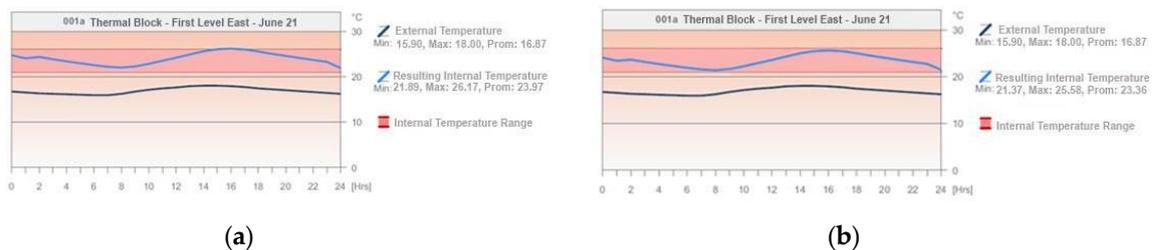
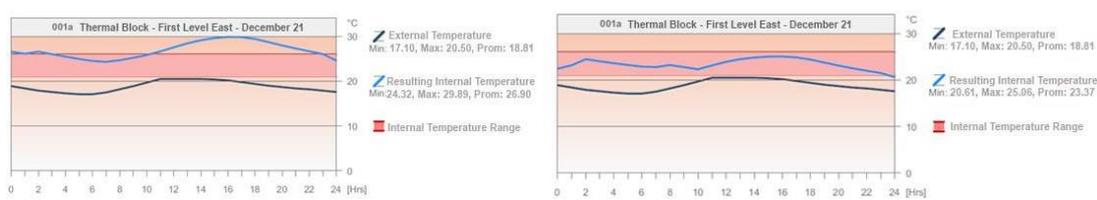


Figura 7. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el primer piso el 21 de junio. (b) Resultado del equilibrio térmico en zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el primer piso el 21 de junio.

- 21 de diciembre

Durante el solsticio de verano, las áreas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 26,90 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio se reduce a 23,37 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 3,53 °C. Además, es evidente que, sin los muros verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante 11 h diarias. En cambio, con las paredes verdes, este periodo de confort aumenta hasta las 22 h diarias, lo que representa un aumento del 100,00% en el porcentaje de tiempo pasado en estado de confort. Estos resultados demuestran que la implementación de muros verdes en la fachada Este tiene un importante impacto positivo en el confort térmico durante el solsticio de verano, ya que proporciona una reducción considerable de la temperatura media y un aumento sustancial del porcentaje de tiempo pasado en un estado confortable durante todo el día (Figuras 8 y 9).



(a)

(b)

Figura 8. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el primer piso el 21 de diciembre. (b) Resultado del balance térmico en zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el primer piso el 21 de diciembre.

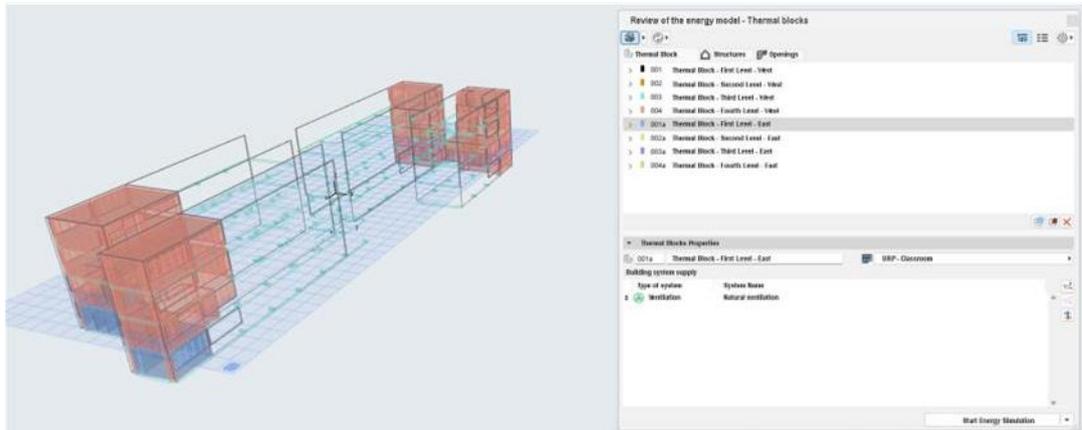
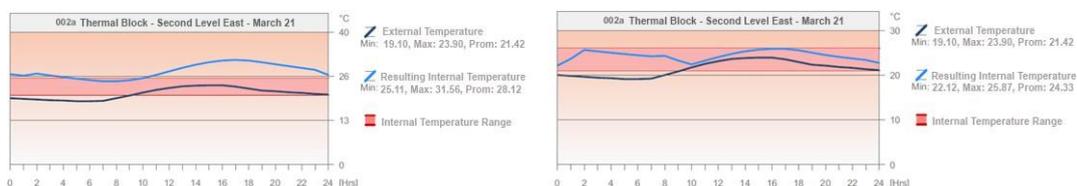


Figura 9. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico del primer piso hacia el lado este del edificio para su análisis.

### Segundo piso

- 21 marzo

Durante el equinoccio de otoño, las áreas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 28.12 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio se reduce a 24,33 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 3,79 °C. Además, es evidente que, sin los muros verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante 16 h diarias. En cambio, con las paredes verdes, este periodo de confort se extiende hasta las 24 h diarias, lo que supone un aumento del 50,00% en el porcentaje de tiempo pasado en estado de confort. Estos resultados demuestran que la implementación de muros verdes en la fachada Este tiene un impacto significativo en la mejora del confort térmico durante el equinoccio de otoño. Proporciona una reducción considerable de la temperatura promedio y permite pasar un período más prolongado en un estado confortable durante todo el día (Figura 10).



(a)

(b)

Figura 10. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado de balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el segundo piso el 21 de marzo. (b) Resultado del equilibrio térmico en zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el segundo piso el 21 de marzo.

- 21 de junio

Durante el solsticio de invierno, las zonas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 23,32 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio se reduce ligeramente a 23,25 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 0,07 °C. Además, es evidente que, sin los muros verdes, las áreas

adyacentes experimentan comodidad durante las 24 horas del día. En contraste, con las paredes verdes, este período de comodidad permanece igual las 24 h diarias, lo que indica un cambio del 0,00 % en el porcentaje de tiempo pasado en un estado cómodo. Estos resultados muestran que la implementación de muros verdes en la fachada Este tiene un impacto menor en el confort térmico durante el solsticio de invierno. Si bien hay una ligera reducción en la temperatura promedio, el nivel de confort se mantiene constante, sin una mejora significativa en el porcentaje de tiempo pasado en un estado cómodo a lo largo del día (Figura 11).

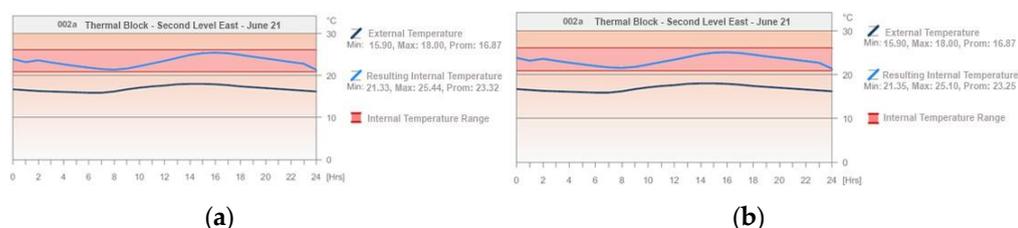


Figura 11. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado de balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el segundo piso el 21 de junio. (b) Resultado del equilibrio térmico en zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el segundo piso el 21 de junio.

- 21 de diciembre

Durante el solsticio de verano, las áreas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas tienen una temperatura promedio de 26.27 °C sin muros verdes. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 23,08 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 3,19 °C. Además, se evidencia que, sin los muros verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante 14 h diarias, mientras que, con los muros verdes, este período de confort aumenta a 23 h diarias, lo que representa un aumento del 64,28% en el porcentaje de tiempo pasado en un ambiente confortable. estado. La implementación de muros verdes en la fachada Este tiene un impacto significativo en la mejora del confort térmico durante el solsticio de verano, proporcionando una reducción sustancial de la temperatura promedio y un período prolongado de tiempo en un estado confortable durante todo el día (Figuras 12 y 13).

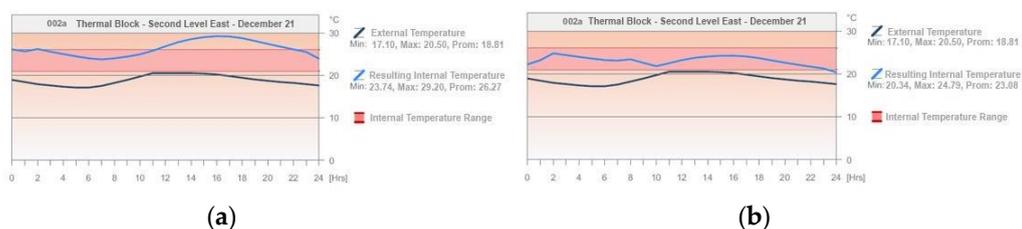


Figura 12. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el segundo piso el 21 de diciembre. (b) Resultado del equilibrio térmico en las zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el segundo piso el 21 de diciembre.

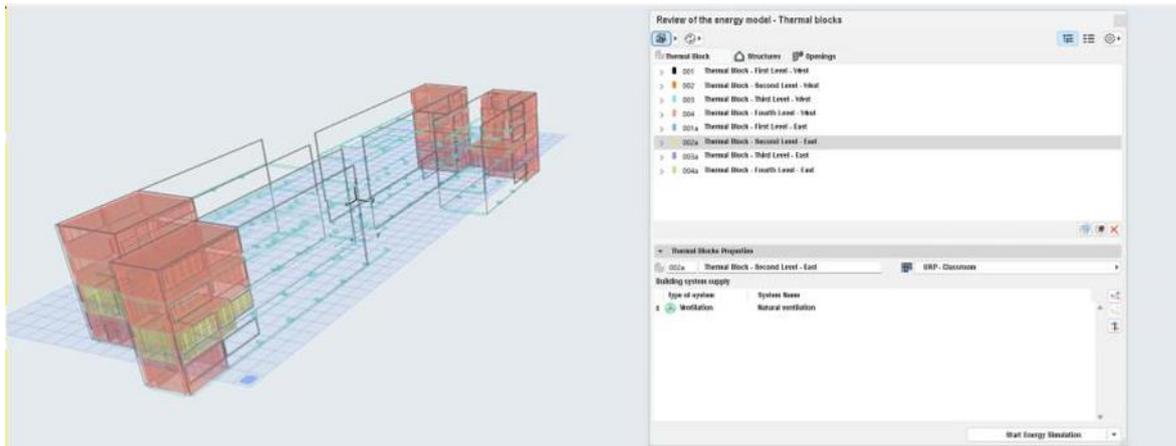


Figura 13. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico del segundo piso hacia el lado este del edificio para su análisis.

- 21 marzo

Durante el equinoccio de otoño, las áreas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 28.52 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio se reduce a 24,41 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 4,11 °C. Además, es evidente que, sin los muros verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante 10 h diarias. En cambio, con las paredes verdes, este periodo de confort aumenta hasta las 24 h diarias, lo que representa un aumento del 140,00% en el porcentaje de tiempo pasado en estado de confort. Estos resultados demuestran que la implementación de muros verdes en la fachada Este tiene un impacto significativo en la mejora del confort térmico durante el equinoccio de otoño. Proporciona una reducción considerable de la temperatura promedio y permite pasar un período más prolongado en un estado confortable durante todo el día (Figura 14).

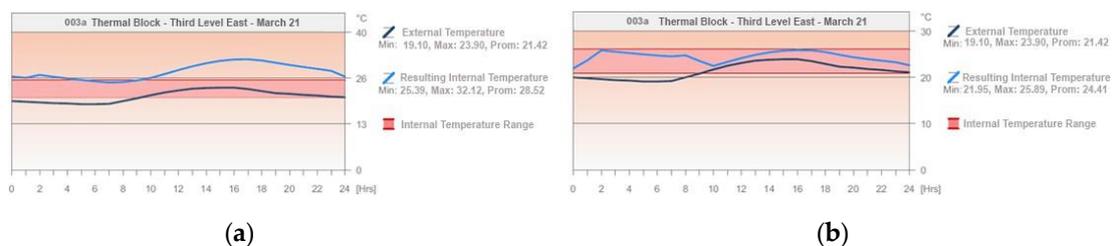


Figura 14. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado de balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el tercer piso el 21 de marzo. (b) Resultado del balance térmico en zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el tercer piso el 21 de marzo.

- 21 de junio

Durante el solsticio de invierno, las zonas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 23,87 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio sigue siendo la misma en 23,87 °C, lo que no produce ninguna reducción en la temperatura promedio. Además, es evidente que, sin las paredes verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante 20 h diarias. En cambio, con las paredes verdes, este periodo de confort aumenta hasta las 22 h diarias, lo que representa un aumento del 10,00% en el porcentaje de tiempo pasado en estado de confort. Estos resultados indican que la implementación de muros verdes en la fachada Este tiene un impacto

limitado en el confort térmico durante el solsticio de invierno, ya que la temperatura promedio permanece sin cambios, pero extiende ligeramente la duración del confort a lo largo del día (Figura 15).

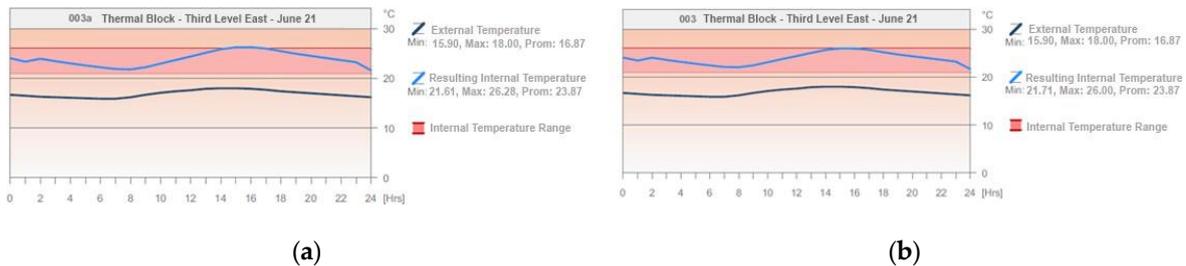


Figura 15. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado de balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el tercer piso el 21 de junio. (b) Resultado del balance térmico en zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el tercer piso el 21 de junio.

- 21 de diciembre

Durante el solsticio de verano, las zonas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 26,73 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio se reduce a 23,21 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 3,52 °C. Además, es evidente que, sin los muros verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante 12 h diarias. En cambio, con las paredes verdes, este periodo de confort aumenta hasta las 22 h diarias, lo que supone un aumento del 83,33% en el porcentaje de tiempo pasado en estado de confort. Estos resultados demuestran que la implementación de muros verdes en la fachada Este mejora significativamente el confort térmico durante el solsticio de verano, ya que conlleva una notable reducción de la temperatura media y un periodo más prolongado de estancia en un estado confortable durante todo el día (Figuras 16 y 17).

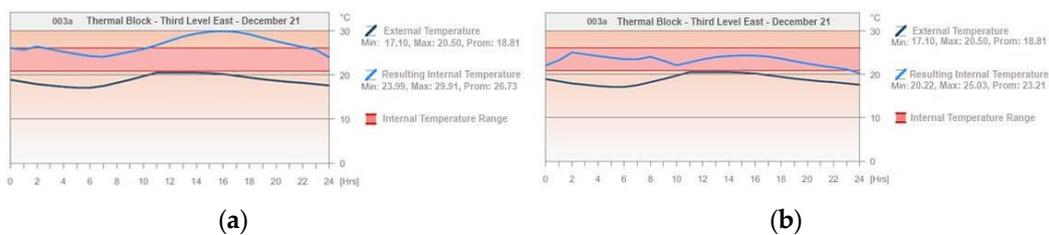


Figura 16. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado de balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el tercer piso el 21 de diciembre. (b) Resultado del balance térmico en zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el tercer piso el 21 de diciembre.

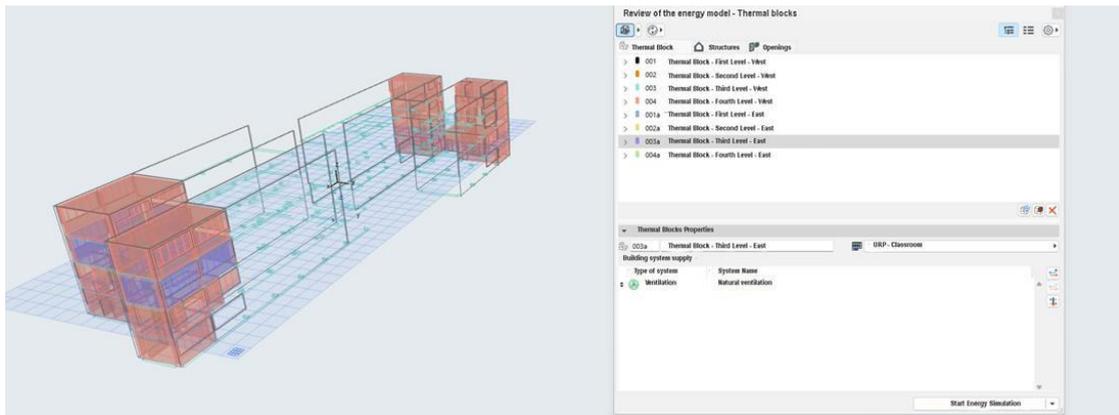


Figura 17. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico del tercer piso hacia el lado este del edificio para su análisis.

#### Cuarto piso

- 21 marzo

Durante el equinoccio de otoño, las zonas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin los muros verdes, tienen una temperatura promedio de 28,59 °C. Sin embargo, después de instalar los muros verdes, la temperatura promedio se reduce a 24,37 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura promedio de 4,22 °C. Además, es evidente que, sin los muros verdes, las áreas adyacentes experimentan comodidad durante 10 h diarias. En cambio, con las paredes verdes, este periodo de confort se extiende hasta las 24 h diarias, lo que supone un aumento del 140,00% en el porcentaje de tiempo pasado en estado de confort. Estos resultados indican que la implementación de muros verdes en la fachada Este mejora significativamente el confort térmico durante el equinoccio de otoño, ya que conlleva una reducción considerable de la temperatura media y un período más prolongado de estancia en un estado confortable. durante todo el día (Figura 18).

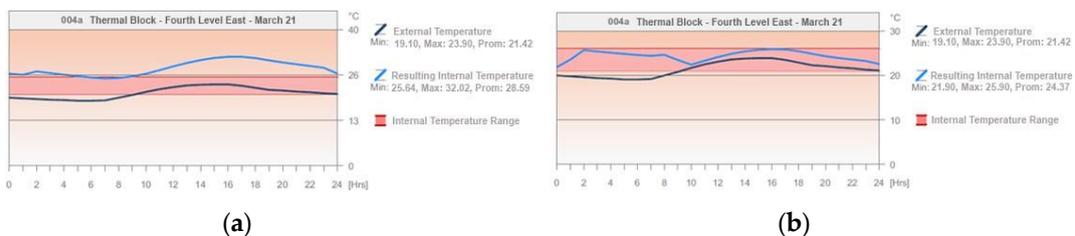


Figura 18. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado de balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el cuarto piso el 21 de marzo. (b) Balance térmico.

- 21 de junio

Las áreas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas sin muros verdes en el solsticio de invierno tienen una temperatura promedio de 24.12 °C, mientras que con muros verdes la temperatura promedio es de 23.81 °C, resultando en una reducción de 0.31 °C. en temperatura promedio. Además, es evidente que sin muros verdes el confort se logra durante 20 h diarias, mientras que con muros verdes esta cifra aumenta a 24 h diarias, representando un incremento del 20,00% en el nivel de confort (Figura 19).

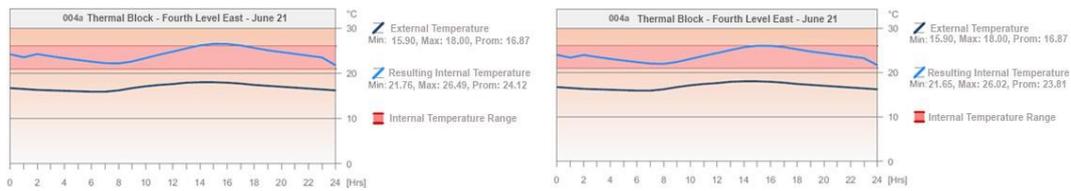
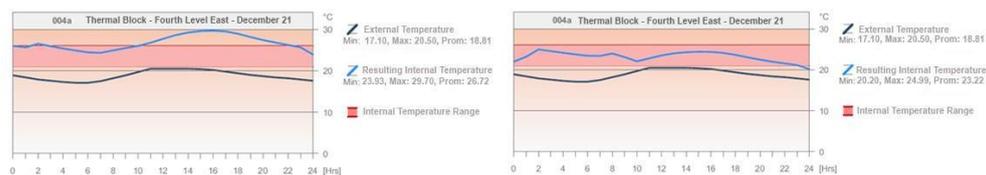


Figura 19. Resultados comparativos en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas adyacentes a la fachada este sin muros verdes en el cuarto piso el 21 de junio; (b) Resultado del equilibrio térmico en las zonas adyacentes a la fachada este con muros verdes en el cuarto piso el 21 de junio.

- 21 de diciembre

Las áreas adyacentes a la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas sin muros verdes en el solsticio de verano tienen una temperatura promedio de 26.72 °C, mientras que con muros verdes la temperatura promedio se reduce a 23.22 °C, resultando en una temperatura reducción de 3,50 °C. Además, es evidente que sin muros verdes el confort se logra durante 12 h diarias, mientras que con muros verdes el confort se extiende a 22 h diarias, lo que representa un aumento del 83,33% en el estado de confort (Figuras 20- 23).



(a)

(b)

Figura 20. Resultados comparativos del balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas adyacentes de la fachada este sin muros verdes en el cuarto piso el 21 de diciembre; (b) Resultado del equilibrio térmico en las zonas adyacentes de la fachada este con muros verdes en el cuarto piso el 21 de diciembre.

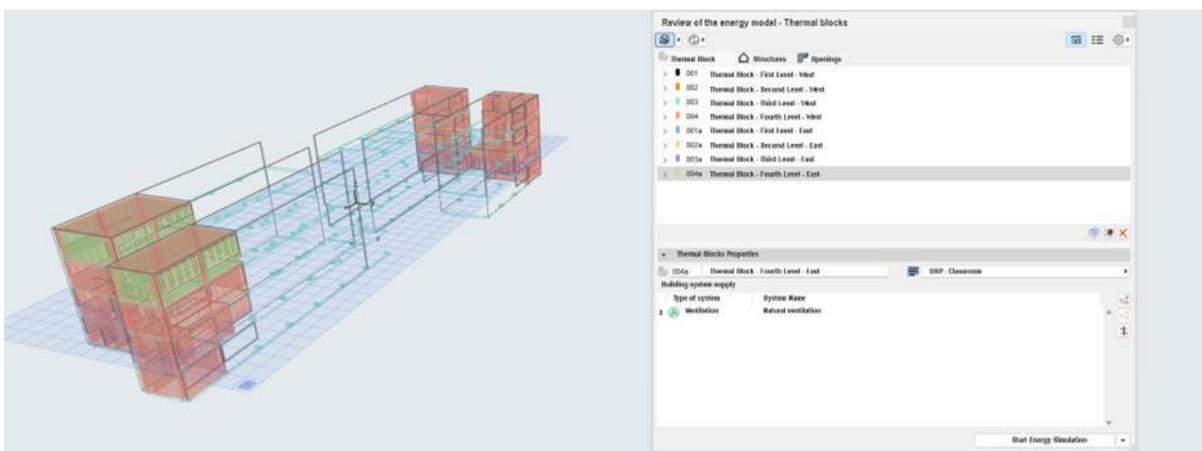


Figura 21. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico del cuarto piso hacia el lado este del edificio para su análisis.

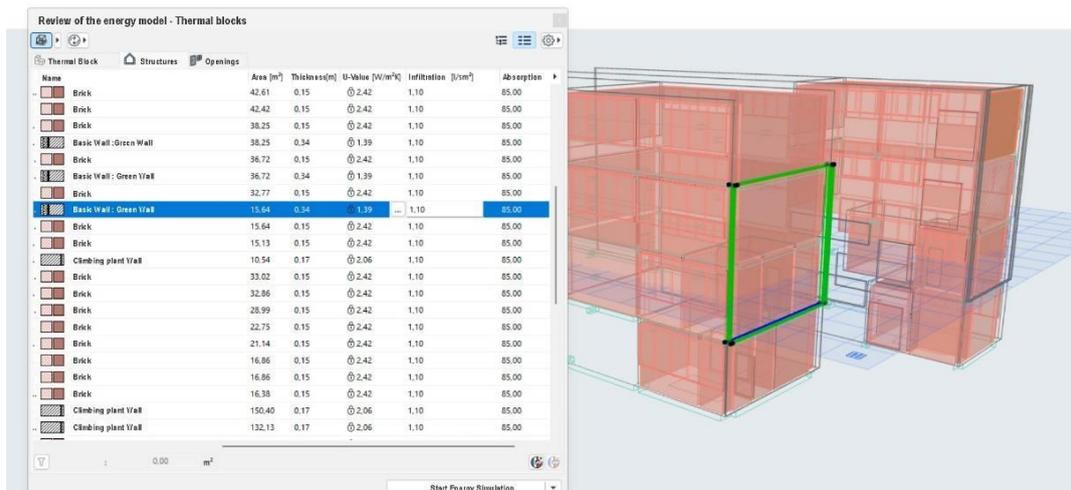


Figura 22. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico hacia el lado oeste del edificio para su análisis.

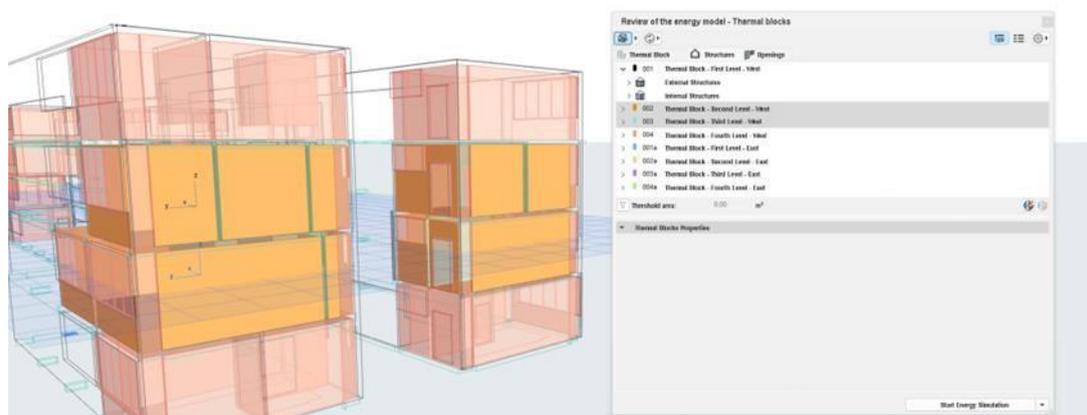


Figura 23. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico del segundo y tercer piso hacia el lado este del edificio para su análisis.

## Balance Térmico en la Fachada Oeste

### Primer piso

- 21 marzo

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 29.12 °C durante el equinoccio de otoño. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuyó a 24,40 °C, lo que resultó en una reducción de temperatura de 4,72 °C. Además, es evidente que sin los muros verdes el nivel de confort se mantiene durante 4 h por día, mientras que con los muros verdes Oeste aumenta a 24 h por día, representando un aumento del 500,00% en las horas de confort (Figura 24).

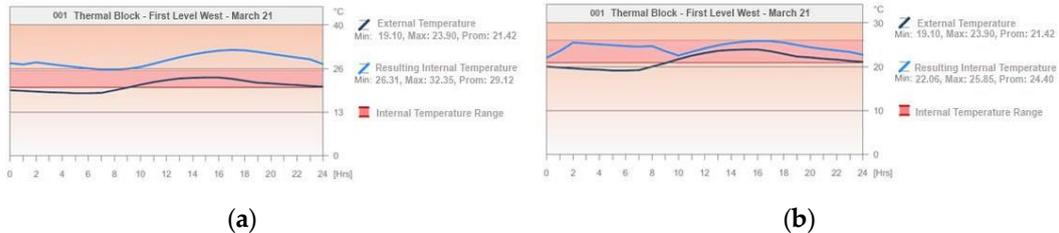


Figura 24. (a) Resultado del balance térmico en espacios adyacentes a la fachada oeste sin muros verdes en el primer piso el día 21 de marzo; (b) resultado del balance térmico en espacios adyacentes a la fachada oeste con muros verdes en el primer piso el día 21 de marzo.

- 21 de junio

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 24,32 °C durante el solsticio de invierno. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio aumentó ligeramente a 24,42 °C, lo que resultó en un incremento de temperatura de 0,10 °C. Además, es evidente que sin los muros verdes el nivel de confort se logra durante 20 h por día, y con los muros verdes esta cifra se mantiene igual, a las 20 h por día, lo que representa un aumento del 0,00% en las horas de confort (Figura 25).

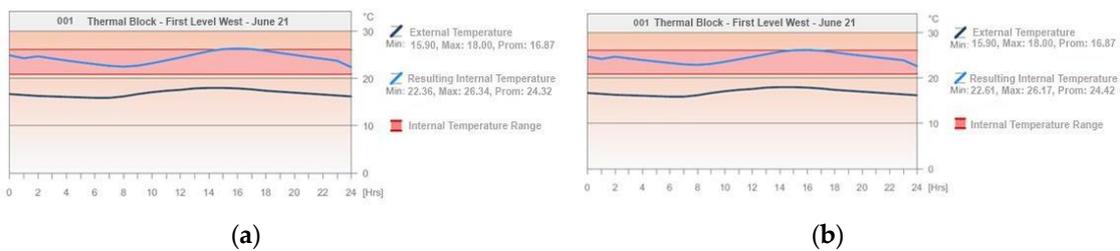


Figura 25. Comparación de resultados del balance térmico: (a) resultado del balance térmico en espacios adyacentes a la fachada oeste sin muros verdes en el primer piso el día 21 de junio; b) resultado del balance térmico en espacios adyacentes a la fachada oeste con muros verdes en el primer piso el día 21 de junio.

- 21 de diciembre

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 27,67 °C durante el solsticio de verano. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 23,68 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 3,99 °C. Además, se evidencia que sin los muros verdes el nivel de confort se logra durante 7 h diarias, mientras que con los muros verdes esta cifra aumenta a 24 h diarias, lo que representa un aumento del 242,85% en las horas de confort (Figuras 26 y 27).

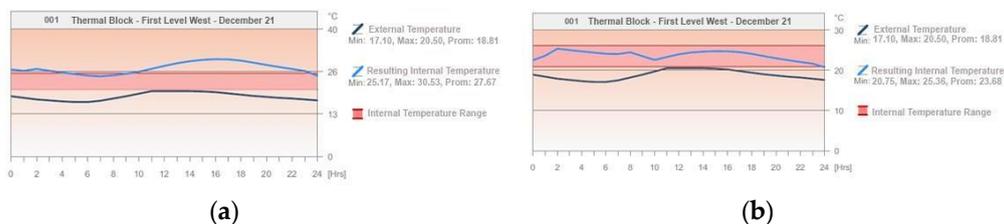


Figura 26. Al 21 de diciembre, una comparación de los resultados del balance térmico en espacios adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas muestra lo siguiente: (a) sin muros verdes, la temperatura promedio es de 27.67 °C durante el solsticio de verano. (b) Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 23,68 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 3,99 °C. Además, sin muros verdes el nivel de confort se consigue durante 7 h diarias

mientras que con muros verdes esta cifra aumenta hasta las 24 h diarias, lo que supone un aumento del 242,85% en las horas de confort.

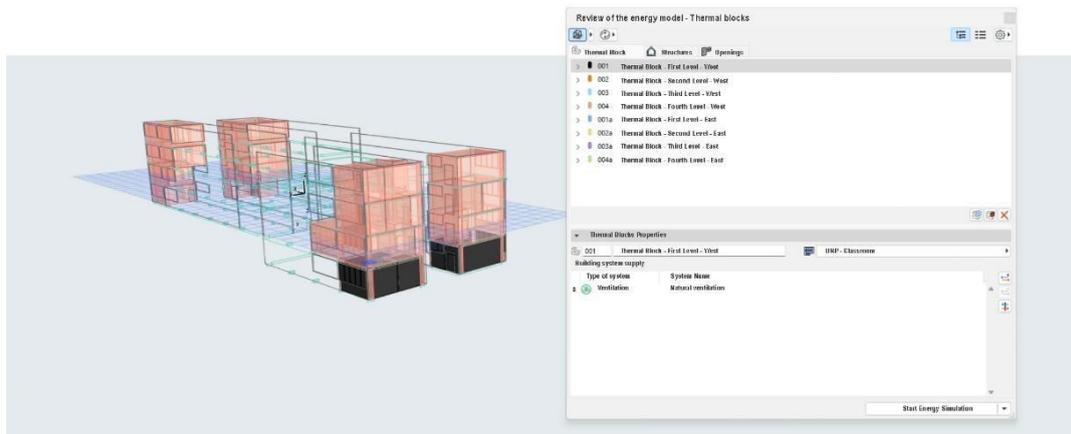


Figura 27. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico del primer piso hacia el lado oeste del edificio para su análisis.

### Segundo piso

- 21 marzo

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 28.42 °C durante el equinoccio de otoño. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 24,22 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 4,20 °C. Además, es evidente que sin los muros verdes el nivel de confort se mantiene durante 6 h diarias, mientras que con los muros verdes esta cifra aumenta a 24 h diarias, representando un aumento del 300,00% en las horas de confort (Figura 28).

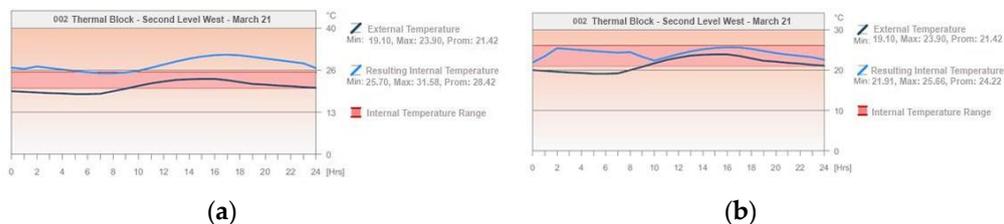


Figura 28. Una comparación de los resultados del balance térmico del día 21 de marzo en espacios adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas muestra lo siguiente: (a) sin muros verdes en el segundo piso, la temperatura promedio es de 28.42 °C. (b) Después de instalar paredes verdes en el segundo piso, la temperatura promedio disminuye a 24,22 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 4,20 °C. Además, sin muros verdes el nivel de confort se logra durante 4 h diarias, mientras que con muros verdes esta cifra aumenta a 24 h diarias, lo que representa un aumento del 300,00% en las horas de confort.

- 21 de junio

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 23,76 °C durante el solsticio de invierno. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 23,38 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 0,38 °C. Además, sin muros verdes, el nivel de confort se logra durante las 24 h del día, y con muros verdes, esta cifra se mantiene las 24 h del día, lo que representa un aumento del 0,00% en las horas de confort (Figura 29).

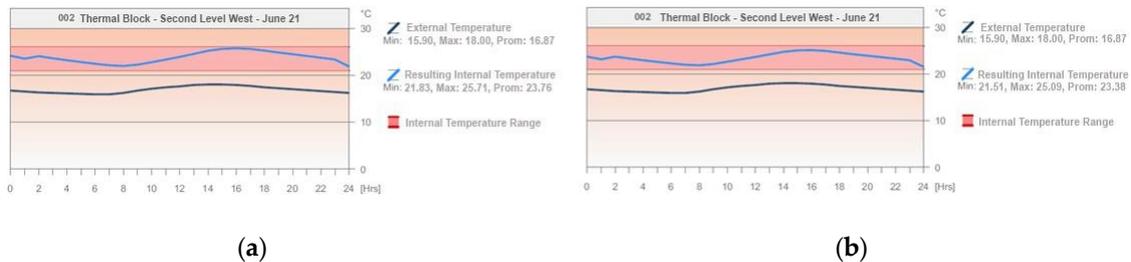


Figura 29. Una comparación de los resultados del balance térmico del día 21 de junio en espacios adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas muestra lo siguiente: (a) sin muros verdes en el segundo piso, la temperatura promedio es de 23,76 °C. (b) Después de instalar paredes verdes en el segundo piso, la temperatura promedio disminuye a 23,68 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 0,38 °C. Además, sin muros verdes el nivel de confort se alcanza durante 24 h diarias, mientras que con muros verdes se mantiene las 24 h diarias, lo que representa un aumento del 0,00% en las horas de confort.

- 21 de diciembre

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 26,94 °C durante el solsticio de verano. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 23,07 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 3,87 °C. Además, sin muros verdes el nivel de confort se alcanza durante 9 h diarias, mientras que con muros verdes esta cifra aumenta a 22 h diarias, lo que representa un aumento del 144,44% en las horas de confort (Figuras 30 y 31).

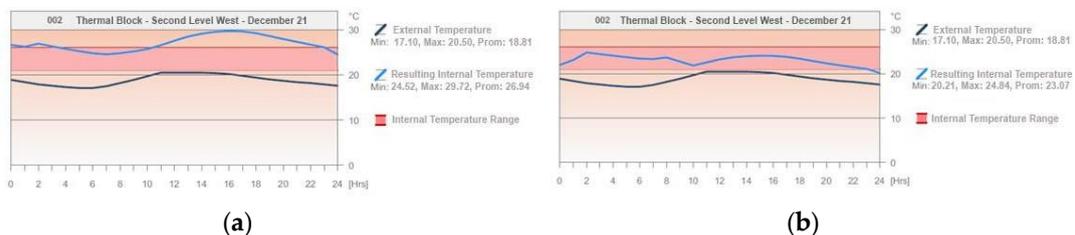


Figura 30. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas contiguas a la fachada oeste sin muros verdes en el segundo piso el 21 de diciembre; (b) resultado del balance térmico en las zonas contiguas a la fachada oeste con muros verdes en el segundo piso el 21 de diciembre.

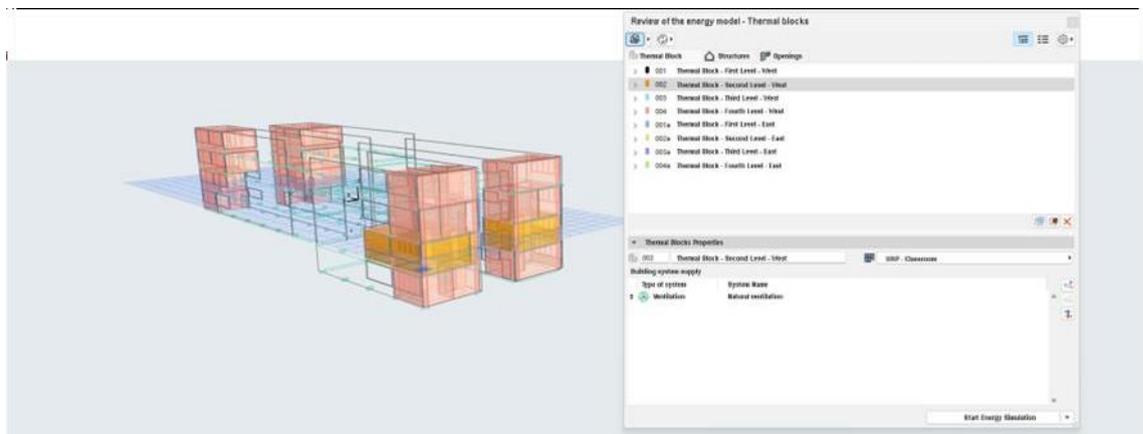


Figura 31. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico del segundo piso hacia el lado oeste del edificio para su análisis.

### Tercer piso

- 21 marzo

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 28.70 °C durante el equinoccio de otoño. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 24,39 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 4,31 °C. Además, sin muros verdes, el nivel de confort se alcanza durante 5 h por día, mientras que, con muros verdes, esta cifra aumenta a 24 h por día, lo que representa un aumento del 380% en las horas de confort (Figura 32).

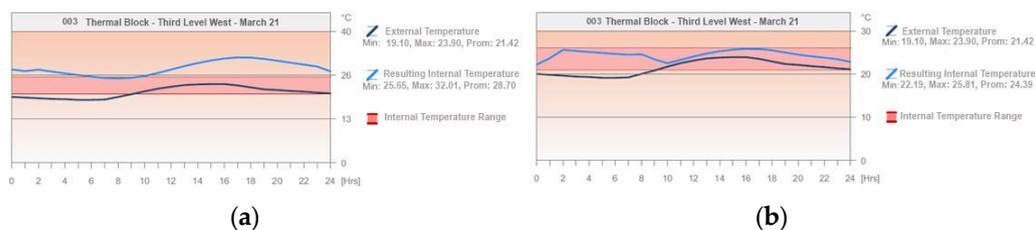


Figura 32. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas contiguas a la fachada oeste sin muros verdes en el tercer piso el día 21 de marzo; b) resultado del balance térmico en las zonas contiguas a la fachada oeste con muros verdes del tercer piso el día 21 de marzo.

- 21 de junio

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 23,54 °C durante el solsticio de invierno. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio aumenta a 23,66 °C, lo que resulta en un incremento de temperatura de 0,12 °C. Además, sin muros verdes, el nivel de confort se logra durante las 24 h del día, y con muros verdes, esta cifra se mantiene igual las 24 h del día, lo que representa un aumento del 0,00% en las horas de confort (Figura 33).

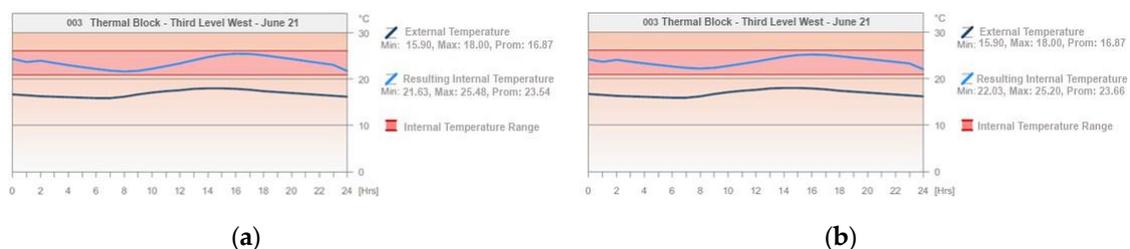


Figura 33. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas contiguas a la fachada oeste sin muros verdes en el tercer piso el día 21 de junio; b) resultado del balance térmico en las zonas contiguas a la fachada oeste con muros verdes del tercer piso el día 21 de junio.

- 21 de diciembre

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 27,02 °C durante el solsticio de verano. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 23,59 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 3,43 °C. Además, sin muros verdes el nivel de confort se logra durante 8 h diarias, mientras que con muros verdes esta cifra aumenta a 24 h diarias, lo que representa un aumento del 200,00% en las horas de confort (Figuras 34 y 35).

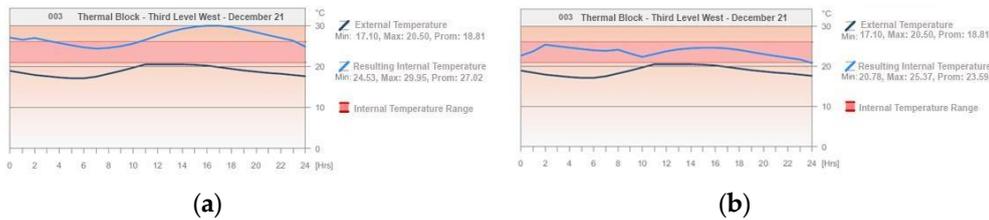


Figura 34. Comparación de resultados en balance térmico: (a) resultado del balance térmico en áreas contiguas a la fachada oeste sin muros verdes en el tercer piso el 21 de diciembre; (b) resultado del balance térmico en las zonas contiguas a la fachada oeste con muros verdes en el tercer piso el día 21 de diciembre.

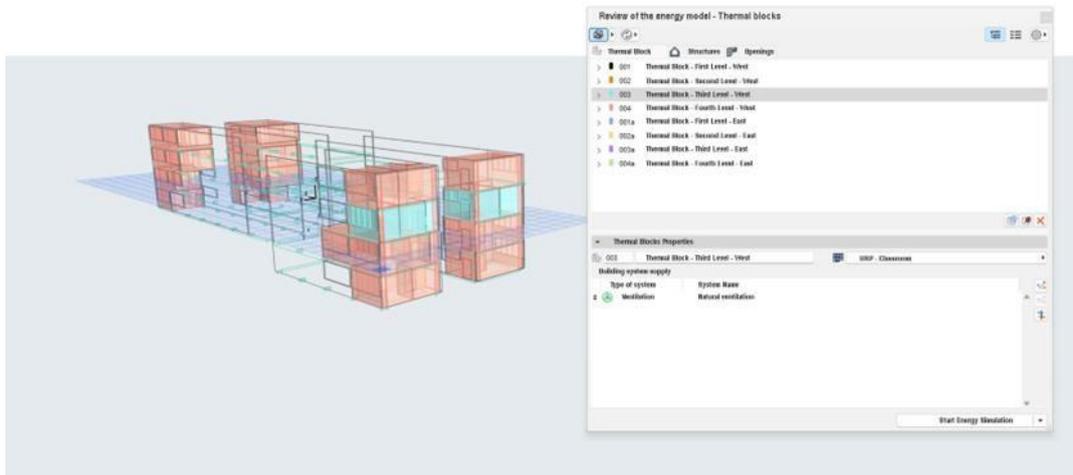


Figura 35. Modelo Energético del Edificio simplificado: análisis de zonas térmicas e identificación del bloque térmico del tercer piso hacia el lado oeste del edificio para su análisis.

#### Cuarto piso

- 21 marzo

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 28.59 °C durante el equinoccio de otoño. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 24,43 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 4,16 °C. Además, sin muros verdes el nivel de confort se alcanza durante 5 h diarias, mientras que con muros verdes esta cifra aumenta a 24 h diarias, lo que representa un aumento del 380,00% en las horas de confort (Figura 36).

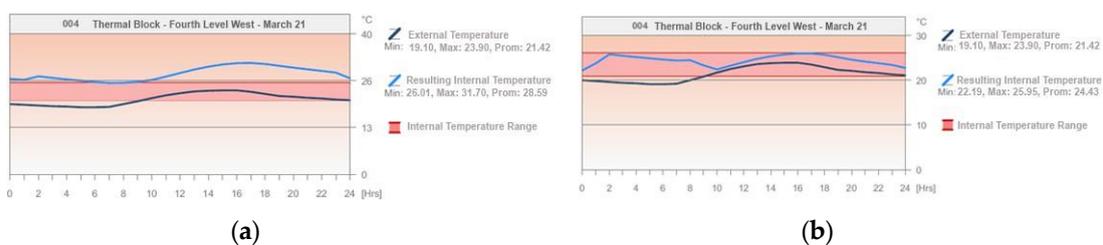


Figura 36. Comparación de los resultados del balance térmico: (a) resultado del balance térmico en espacios adyacentes a la fachada oeste sin muros verdes en el cuarto piso el 21 de marzo; (b) resultado del equilibrio térmico en los espacios adyacentes a la fachada oeste con muros verdes en el cuarto piso el 21 de marzo.

- 21 de junio

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 24,26 °C durante el solsticio de invierno. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 23,63 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 0,63 °C. Además, sin muros verdes el nivel de confort se alcanza durante 20 h al día, mientras que con muros verdes esta cifra se mantiene las 24 h del día, lo que representa un aumento del 20,00% en las horas de confort (Figura 37).

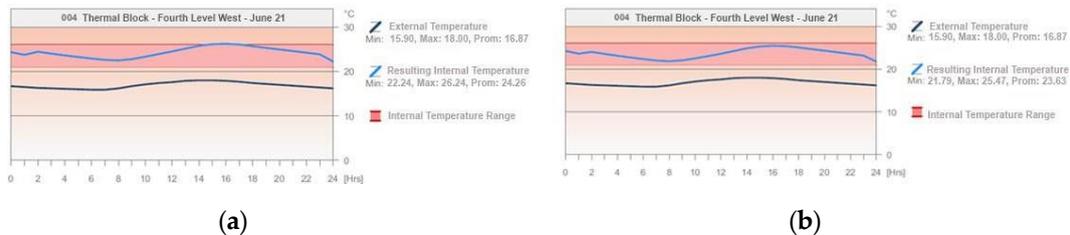


Figura 37. Comparación de los resultados del balance térmico: (a) resultado del balance térmico en espacios adyacentes a la fachada oeste sin muros verdes en el cuarto piso el 21 de junio; (b) resultado del equilibrio térmico en los espacios adyacentes a la fachada oeste con muros verdes en el cuarto piso el 21 de junio.

- 21 de diciembre

Las áreas adyacentes a la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas, sin muros verdes, experimentan una temperatura promedio de 27,42 °C durante el solsticio de verano. Después de instalar muros verdes, la temperatura promedio disminuye a 23,32 °C, lo que resulta en una reducción de temperatura de 4,10 °C. Además, sin muros verdes el nivel de confort se alcanza durante 8 h diarias, mientras que con muros verdes esta cifra aumenta a 23 h diarias, lo que representa un aumento del 187,50% en las horas de confort (Figuras 38 y 39).

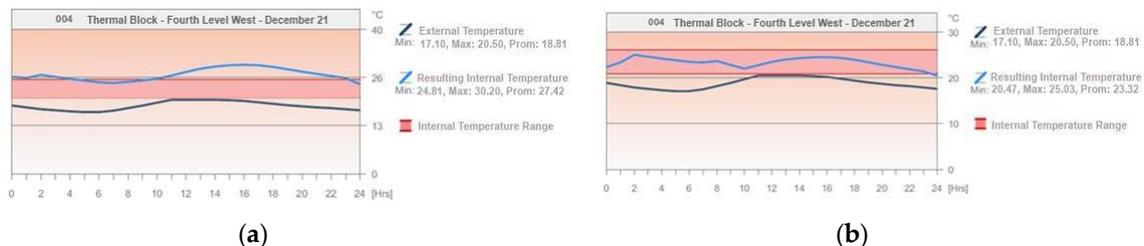


Figura 38. Comparación de los resultados del balance térmico: (a) resultado del balance térmico en espacios adyacentes a la fachada oeste sin muros verdes en el cuarto piso el 21 de diciembre; (b) resultado del equilibrio térmico en los espacios adyacentes a la fachada oeste con muros verdes en el cuarto piso el 21 de diciembre.



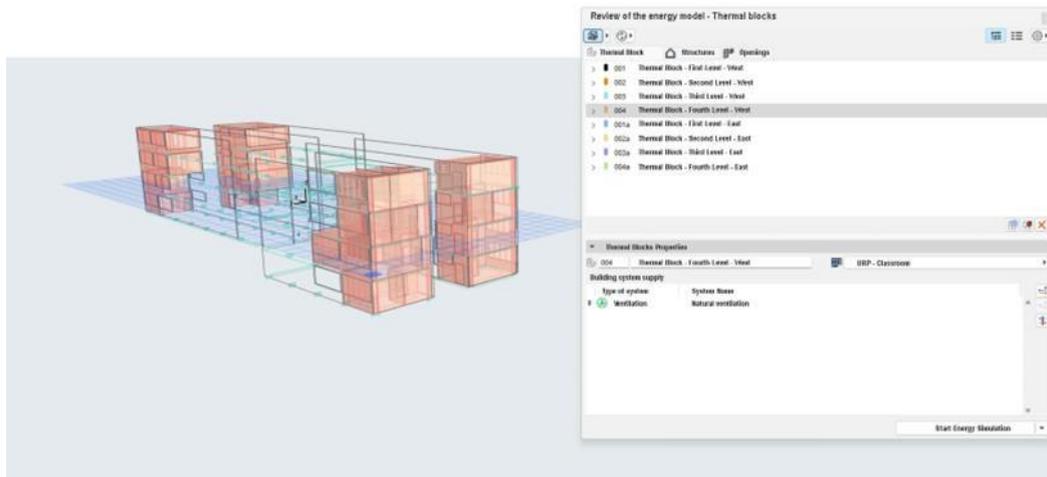


Figura 42. Modelo energético simplificado de un edificio, que incluye zonas térmicas e identifica el bloque térmico en el primer y cuarto piso del lado oeste del edificio.

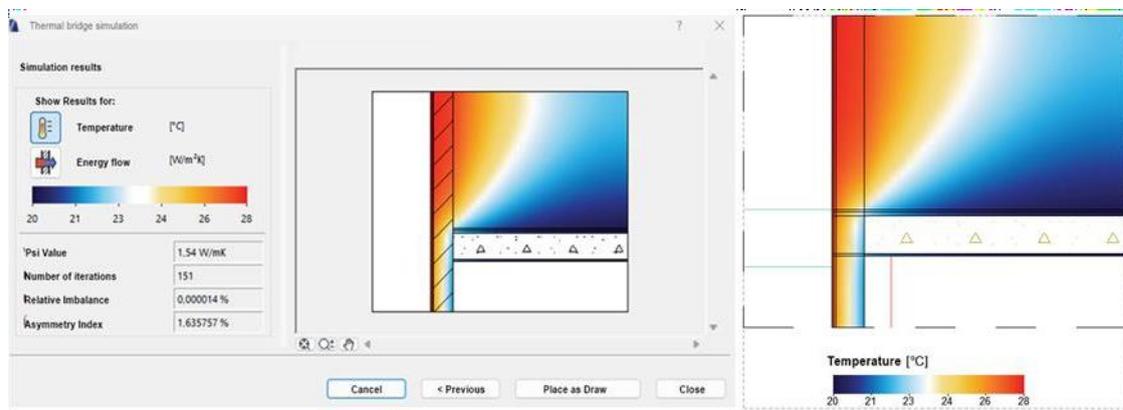


Figura 43. Simulación térmica del rocódromo (temperatura). Archicad EcoDesigner STAR: revisión del modelo energético.

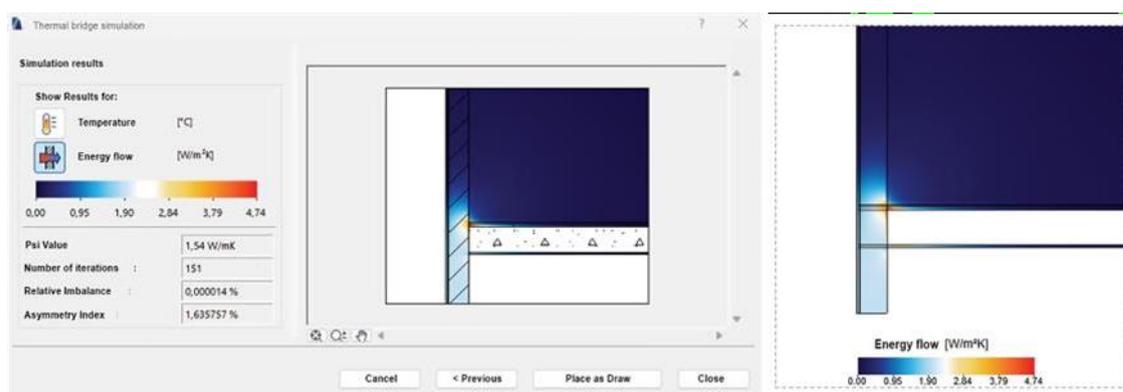


Figura 44. Simulación térmica del rocódromo (flujo de energía). Archicad EcoDesigner STAR: revisión del modelo energético.

En la simulación térmica de los muros verdes y muro de plantas trepadoras se observa una reducción de la temperatura, dando como resultado un ambiente interior que logra un estado de confort. Existe una variación de temperatura de 26 °C en el exterior y 20 °C en el interior del edificio. Además, se observa una variación en el flujo de energía, que oscila entre 0,00 W/m<sup>2</sup>K y 22,40 W/m<sup>2</sup>K (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Número de horas en estado de confort en la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas.

Piso	Fecha	Sin Muro Verdes (h)	Con Muros Verdes (h)	Incremento (%)
1	21 Marzo	5	24	380
	21 Junio	22	24	9.09
	21 Diciembre	11	22	100
2	21 Marzo	16	24	50
	21 Junio	24	24	0
	21 Diciembre	14	23	64.28
3	21 Marzo	10	24	140
	21 Junio	20	22	10
	21 Diciembre	12	22	83.35
4	21 Marzo	10	24	140
	21 Junio	20	24	20
	21 Diciembre	12	22	83.33
Total		219	352	60.73

Tabla 3. Número de horas en estado de confort en la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas.

Piso	Fecha	Sin Muro Verdes (h)	Con Muros Verdes (h)	Incremento (%)
1	21 Marzo	4	24	500
	21 Junio	20	20	0
	21 Diciembre	7	24	242.85
2	21 Marzo	6	24	300
	21 Junio	24	24	0
	21 Diciembre	9	22	144.44
3	21 Marzo	5	24	380
	21 Junio	24	24	0
	21 Diciembre	8	24	200
4	21 Marzo	5	24	380
	21 Junio	20	24	20
	21 Diciembre	8	23	187.50
Total		210	345	64.28

### Absorción de CO<sub>2</sub> y producción de aire fresco mediante el aumento de áreas verdes

El incremento de áreas verdes producto de la implementación de muros verdes en la Fachada de Ciencias Biológicas brinda resultados consistentes en la absorción de CO<sub>2</sub> y producción de aire limpio. Estos resultados se determinaron utilizando factores de conversión proporcionados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde

$$a = 2,3 \text{ kg por año,}$$

En el cual:

a = CO<sub>2</sub> absorbido anualmente (kg por año);

b = Área verde estudiada, expresada en metros cuadrados.

$$c = 1,7 \text{ kg por un año, (1)}$$

En el cual:

c = Aire fresco producido anualmente (kg. año);

b = Área verde analizada, expresada en metros cuadrados.

Por lo tanto, al calcular los resultados utilizando estos factores, se obtuvo lo siguiente

(Tablas 4-6)

Tabla 4. CO<sub>2</sub> absorbido y aire fresco producido, anualmente, en la fachada este de la Facultad de Ciencias Biológicas

Piso	Muro Verde (m <sup>2</sup> )	Absorción CO <sub>2</sub> (kg)	Producción Aire Puro (kg)
1	73.38	168.77	124.75
2			
3	85.30	196.19	145.01
4	53.82	123.79	91.49
Total	212.50	488.75	361.25

Tabla 5. CO<sub>2</sub> absorbido y aire fresco producido, anualmente, en la fachada oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas

Piso	Muro Verde (m <sup>2</sup> )	Absorción CO <sub>2</sub> (kg)	Producción Aire Puro (kg)
1	73.38	168.77	124.75
2			
3	85.30	196.19	145.01
4	53.82	123.79	91.49
Total	212.50	488.75	361.25

Tabla 7. CO<sub>2</sub> absorbido y aire fresco producido, anualmente, en las fachadas este y oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas.

Piso	Muro Verde (m <sup>2</sup> )	Absorción CO <sub>2</sub> (kg)	Producción Aire Puro (kg)
1	146.76	337.54	249.50
2			
3	170.60	392.38	290.02
4	107.64	247.58	182.98
Total	425.00	977.50	722.50

## 14.0 Discusión

Con base en la investigación realizada, se ha demostrado de manera concluyente que la incorporación de muros verdes en ambas fachadas tiene un impacto positivo independientemente de la temporada de invierno y verano. En invierno, ayuda a reducir la demanda de calefacción al disminuir el coeficiente de transferencia de calor. Por otro lado, durante el verano se consigue una reducción de las temperaturas en el interior del edificio.

Además, la instalación de muros verdes y jardines verticales ayuda a evitar importantes fluctuaciones de temperatura y temperaturas máximas elevadas en la superficie exterior del edificio que se transmiten al interior. Esto da como resultado una reducción de la tensión sobre los materiales de construcción debido a los cambios de temperatura. También reduce parcialmente el enfriamiento de la fachada durante las noches de verano, lo que provoca temperaturas superficiales más altas durante la noche.

Sin embargo, es fundamental mencionar que, durante el período de transición entre estaciones, la implementación de muros verdes tiene un efecto menos significativo. Esto se debe a que la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es baja en comparación con los meses de verano e invierno, y la densidad del flujo de calor no se ve tan afectada en esa época.

Los muros verdes implementados en esta investigación son parte de un plan del Proyecto Universitario Ecológico de la Universidad Ricardo Palma ubicada en Santiago de Surco, Lima, Perú. La propuesta general incluye la implementación de parasoles para evitar por completo el uso de equipos de aire acondicionado, ya que los espacios adyacentes logran confort térmico durante todo el año gracias a la implementación de muros verdes. Las paredes verdes, tiene como objetivo garantizar un confort adecuado (Tabla 8).

Tabla 8. Porcentaje de reducción en las fachadas poniente de las facultades de Biología, Arquitectura e Ingeniería.

	Fecha	Sin Muros Verdes	Con Muros Verdes	Porcentaje de Reducción
Facultad de Biología	21 Marzo	277	102	63%
	21 Junio	319	87	73%
	21 Diciembre	414	124	70%
Facultad de Arquitectura	21 Marzo	277	-	0%
	21 Junio	319	-	0%
	21 Diciembre	414	-	0%
Facultad de Ingeniería	21 Marzo	277	-	0%
	21 Junio	319	-	0%
	21 Diciembre	414	-	0%

Al comparar los datos sobre la reducción del confort en los otros dos edificios, se puede observar que el efecto es significativamente mayor que en las otras dos facultades. Esto se debe a la implementación de plantas que consumen poco agua y especies trepadoras. Para utilizar las plantas trepadoras de forma específica se deben definir parámetros y valores de referencia; por ejemplo, se necesitan herramientas de planificación para comparar fácilmente las plantas trepadoras y estimar sus efectos [34]. Sin duda, el jardín vertical juega un papel fundamental en la reducción de la temperatura de las estructuras, manteniendo una diferencia promedio de aproximadamente 4 °C respecto al ladrillo. Actúa como aislante térmico natural, protegiendo el material de construcción de la radiación. Esta diferencia térmica es más evidente durante la tarde, donde se pueden alcanzar variaciones de hasta 7 °C entre la temperatura registrada en el ladrillo y la temperatura en el jardín vertical. Durante la estación seca, la importancia del jardín vertical se intensifica aún más, ya que se observan diferencias de temperatura de hasta 2 °C para la misma hora pero en diferentes estaciones. Esto se debe a que el jardín vertical refleja una mayor cantidad de radiación en esos meses específicos [49]. Los sistemas de muros verdes, como tecnologías clave en la construcción ecológica, ofrecen una variedad de beneficios a los espacios urbanos [50].

Además, la investigación es parte de una propuesta integral que incluye dispositivos innovadores como sistemas fotovoltaicos y protectores solares para diferentes condiciones climáticas, lo que amplifica los beneficios de las tecnologías verdes [51,52]. La novedad de este trabajo radica en la implementación de un sistema de muro verde y un jardín vertical mediante un sistema de riego por goteo y cinco especies vegetales. Ambos sistemas han permitido aumentar el estándar de confort en los espacios adyacentes a las fachadas este y oeste. Se utilizaron plantas como *Aptenia cordifolia* o

Rocío y Soleirolia soleirolia, especies resistentes a las altas temperaturas, que pueden reducir eficazmente los contaminantes. Además, las características físicas de estas dos plantas les permiten naturalmente reducir aún más los contaminantes.

## 15.0 Conclusiones

Como parte del Proyecto Universidad Ecológica de la URP, se implementaron muros verdes en la Facultad de Ciencias Biológicas. Estos muros verdes se instalaron en las fachadas este y oeste del edificio, con el propósito de controlar la radiación solar incidente y mejorar las condiciones térmicas de los espacios cercanos a las fachadas tratadas.

Para las fachadas este y oeste, el diseño propuesto dividió los muros del edificio en cuatro pisos y tres secciones, cada una con un tipo diferente de muro verde. En la parte inferior se plantaron trepadoras, que crecen desde la base y se adhieren a la pared. La sección media presenta muros verdes construidos con bolsas textiles y tierra, diseñados con vegetación que requiere bajo consumo de agua y es resistente a la radiación solar. En la parte superior se colocaron trepadores, guiados adecuadamente para crecer hacia abajo hasta llegar al límite del diseño del área media.

El diseño se realizó de manera similar para la fachada oeste. Las fachadas seleccionadas para la intervención reciben una alta incidencia solar durante todo el año, lo que aumenta la temperatura del muro y en consecuencia calienta los espacios interiores. Los muros verdes no sólo demostraron ofrecer ventajas estéticas, sino que también redujeron el calentamiento de las paredes, disminuyendo el aumento de temperatura en los espacios adyacentes y reduciendo el uso de sistemas de ventilación artificial, logrando ahorros energéticos y económicos, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub> y produciendo oxígeno. Mediante análisis térmico se han obtenido datos cuantitativos tanto del estado sin muros verdes como de las mejoras térmicas conseguidas con su implantación.

## 16.0 Referencias

1. Shushunova, N.; Korol, E.; Luzay, E.; Shafieva, D. Impact of the Innovative Green Wall Modular Systems on the Urban Air. *Sustainability* 2023, 15, 9732. <https://doi.org/10.3390/su15129732>.
2. Manisalidis, I.; Stavropoulou, E.; Stavropoulos, A.; Bezirtzoglou, E. Impactos ambientales y de salud de la contaminación del aire: una revisión. *Frente Public Health* 2020, 8, 14.
3. Ramanathan, V.; Feng, Y. Contaminación del aire, gases de efecto invernadero y cambio climático: perspectivas mundiales y regionales. *Atmósfera Reinar* 2009, 43, 37–50.
4. Stollberg, M.; von Birgelen, A. Las plantas de la pared vivan se ven afectadas por la temperatura y la afectan: Cómo (no) medir la temperatura de las plantas en un experimento de pared viva. *Sustentabilidad* 2023, 15, 11672. <https://doi.org/10.3390/su151511672>

5. Elia, M.; Pilar, C.; Morán, R. Muros verdes para las condiciones ambientales de la región nordeste argentina green walls for environmental conditions of the northeast argentina región. *Arquitecto* 2019, 14, 50–53. <https://doi.org/10.30972/arq.0144150>
6. Zheng, Y.; Keeffe, G.; Mariotti, J. Soluciones basadas en la naturaleza para la refrigeración en vecindarios de alta densidad en Shenzhen: Un estudio de caso de Baishizhou. *Sustentabilidad* 2023, 15, 5509. <https://doi.org/10.3390/su1506550>.
7. Perini, K.; Ottelé, M. Diseño de fachadas verdes y sistemas de paredes vivas para construcciones sostenibles. *Ent. J. Des. Nat. Ecodinámica* 2014, 9, 31–46.
8. Talhinhos, P.; Ferreira, J.C.; Ferreira, V.; Soares, A.L.; Espírito-Santo, D.; Paço, T.A.d. In the Search for Sustainable Vertical Green Systems: An Innovative Low-Cost Indirect Green Façade Structure Using Portuguese Native Ivies and Cork. *Sustainability* 2023, 15, 5446. <https://doi.org/10.3390/su15065446>.
9. Blanco, I.; Vox, G.; Schettini, E.; Russo, G. Evaluación de las cargas ambientales de fachadas verdes en edificios: una comparación con paredes exteriores sin vegetación. *J. Medio Ambiente Adm.* 2021, 294, 112927.
10. Manso, M.; Castro-Gomes, J. Green wall systems: A review of their characteristics. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 41, 863–871.
11. Jim, C.Y. Thermal performance of climber greenwalls: Effects of solar irradiance and orientation. *Appl. Energy* 2015, 154, 631–643.
12. Instituto de Estadística e Informática. 2017. Available online: [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1140/cap10.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1140/cap10.pdf) (accessed on 10 April 2020)
13. USAID. Greenhouse Gas Emissions in Peru. 2012. Available online: [https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/GHG%20Emissions%20Factsheet%20Peru\\_v2\\_SC\\_11\\_02\\_15\\_edited\\_ref08-18-2016\\_Clean.pdf](https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/GHG%20Emissions%20Factsheet%20Peru_v2_SC_11_02_15_edited_ref08-18-2016_Clean.pdf) (accessed on 23 August 2023).
14. Gao, Y.; Farrokhirad, E.; Pitts, A. The Impact of Orientation on Living Wall Façade Temperature: Manchester Case Study. *Sustainability* 2023, 15, 11109. <https://doi.org/10.3390/su151411109>.
15. Bornschlegl, S.; Krause, P.; Kropp, C.; Leistner, P. Análisis de las funciones microclimáticas y de mejora de la biodiversidad de un prototipo de pared viva para una convivencia más que humana en las ciudades. *Edificios* 2023, 13, 1393. <https://doi.org/10.3390/buildings13061393>.
16. Esenarro, D.; Raymundo, V.; Mancilla, D.; Becerra, P.; Loja, M.; Dávila, S. Preservation of Flora and Fauna in an Environmental Ecological Interpretation Center-Loreto-Peru. In *Proceedings of 7th ASRES International Conference on Intelligent Technologies. ICIT 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*; Arya, K.V., Tripathi, V.K., Rodriguez, C., Yusuf, E., Eds.; Springer: Singapore, 2023; Volume 685. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-1912-3\\_29](https://doi.org/10.1007/978-981-99-1912-3_29)
17. Gómez, N.J.; Velázquez, G.A. Asociación entre los espacios verdes públicos y la calidad de vida en el municipio de Santa Fe, Argentina. *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.* 2018, 27, 164–179. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.58740>.
18. Ordóñez López, E.E.; Pérez Sánchez, M.M. Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR. *Acta Univ.* 2015, 25, 11–19. <https://doi.org/10.15174/au.2015.782>.
19. Proul, J.; Wan, M.; Mandel, B.; Rosenfeld, A. Economic comparison of white, green and black flat roofs in the United States. *Energy Build.* 2014, 71, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.058>.

20. Chan, A.L.S.; Chow, T.T. Energy and economic performance of green roof system under future climatic conditions in Hong Kong. *Enegy Build.* 2013, 64, 182–198. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.015>.
21. Urbano, B.; de López, M. Naturación urbana, un desafío a la urbanización. *Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Ambiente* 2013, 19, 225–235. <https://doi.org/105154/r.chscfa.2013.01.004>.
22. Peñafiel Pazmiño, M.E.; Vallejo López, A.B. Educación Ambiental en las Universidades, Retos y Desafíos Ambientales, *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible*. 2018. Available online: <https://www.eumed.net/rev/delos/32/magaly.html> (accessed on 23 August 2023).
23. Pulido, V.; Olivera, E. Aportes Pedagógicos a la Educación Ambiental: Una Perspectiva Teórica. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. 2018. Available online: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S231318000300007&lng=pt&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S231318000300007&lng=pt&nrm=iso&tlng=es) (accessed on 23 August 2023).
24. Ministerio del Ambiente, 2022. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. 2012. Available online: <https://infocarbono.minam.gob.pe/inventarios-nacionales-gei/inventario-nacional-de-gases-efectos-invernaderos-2010-2/> (accessed on 23 August 2023).
25. Luján Bustos, M.; Piccolo Ordoñez, M.C. Desconfort Térmico en Verano e Invierno para la Localidad de Pehuen Co, Argentina. Available online: <file:///C:/Users/VANESSA/Downloads/Dialnet-DesconfortTermicoEnVeranEInviernoParaLaLocalidadDe-3790609.pdf> (accessed on 23 August 2023).
26. Ministerio de Educación. Los Factores que Limitan la Transición a la Educación Superior Situación Actual y Recomendaciones de Política Pública. 2021. Available online: <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> (accessed on 23 August 2023).
27. Villanueva, J.; Ranfla, A.; Quintanilla, A. Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información Tecnológica* 2013, 24, 25–26. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>
28. Ren, J.; Shi, K.; Li, Z.; Kong, X.; Zhou, H. A Review on the Impacts of Urban Heat Islands on Outdoor Thermal Comfort. *Buildings* 2023, 13, 1368. <https://doi.org/10.3390/buildings13061368>.
29. Guo, T.; Zhao, Y.; Yang, J.; Zhong, Z.; Ji, K.; Zhong, Z.; Luo, X. Effects of Tree Arrangement and Leaf Area Index on the Thermal Comfort of Outdoor Children's Activity Space in Hot-Humid Areas. *Buildings* 2023, 13, 214. <https://doi.org/10.3390/buildings13010214>.
30. Pichlhofer, A.; Korjenic, A.; Sulejmanovski, A.; Streit, E. Influencia del enverdecimiento de fachadas con hiedra en el rendimiento térmico de las paredes de mampostería. *Sustentabilidad* 2023, 15, 9546. <https://doi.org/10.3390/su15129546>.
31. Ruiz-Valero, L.; Arranz, B.; Faxas-Guzmán, J.; Flores-Sasso, V.; Medina-Lagrange, O.; Ferreira, J. Monitoreo de un Sistema de Muro Vivo en Santo Domingo,

- República Dominicana, como Estrategia para Reducir la Isla de Calor Urbano. *Edificios* 2023, 13, 1222. <https://doi.org/10.3390/buildings13051222>.
32. Mohajerani, A.; Bakaric, J.; Jeffrey-Bailey, T. El efecto isla de calor urbano, sus causas y mitigación, con referencia a las propiedades térmicas del hormigón asfáltico. *J. Medio Ambiente Adm.* 2017, 197, 522–538.
33. Wrase, I. Un análisis de la sostenibilidad en bienes raíces en anuncios de trabajo y perfiles personales en Suiza. *Sustentabilidad* 2023, 15, 9789. <https://doi.org/10.3390/su15129789>.
34. Battisti, F. SDGs and ESG Criteria in Housing: Defining Local Evaluation Criteria and Indicators for Verifying Project Sustainability Using Florence Metropolitan Area as a Case Study. *Sustainability* 2023, 15, 9372. <https://doi.org/10.3390/su15129372>.
35. Konstantinavičienė, J.; Vitunskienė, V. Definición y clasificación del potencial de la biomasa maderera forestal en términos de desarrollo sostenible: Una revisión. *Sostenibilidad* 2023, 15, 9311. <https://doi.org/10.3390/su15129311>
36. Balany, F.; Ng, A.W.; Muttill, N.; Muthukumar, S.; Wong, M.S. Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy—A Review. *Water* 2020, 12, 3577. <https://doi.org/10.3390/w12123577>
37. Anghel, A.A.; Giurea, D.; Milincu, C.; Mohora, I.; Hapenciuc, A.D.P.; Friguraliasa, F.M. “MODGREW” Intelligent Green Walls For Public Areas. In *Proceedings of the 2019 International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM)*, Timisoara, Romania, 17–18 October 2019; pp. 133–137. <https://doi.org/10.1109/CIEM46456.2019.8937693>.
38. Song, Y.-L.; Darani, K.S.; Khair, A.I.; Abu-Rumman, G.; Kalbasi, R. Una revisión de los métodos convencionales de enfriamiento pasivo aplicables a climas áridos y cálidos considerando el costo económico y el análisis de eficiencia en ciudades basadas en recursos. *Energy Rep.* 2021, 7, 2784–2820.
39. Esenarro, K.; Malpartida, L.; Silvana, V.R.; Morales, W. Use of Renewable Energies Applied in Design Strategies for User Comfort in a House in Iquitos-Belen. In *Proceedings of the 2022 11th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE)*, Eskisehir, Turkey, 23–25 September 2022; pp. 135–141. <https://doi.org/10.1109/ICPSE56329.2022.9935461>.
40. Almodóvar-Melendo, J.-M.; Rodríguez-Cunill, I.; Cabeza-Lainez, J. The Search for Solar Architecture in Asia in the Works of the Architect Antonin Raymond: A Protracted Balance between Culture and Nature. *Buildings* 2022, 12, 1514. <https://doi.org/10.3390/buildings12101514>.
41. Amirifard, F.; Sharif, S.A.; Nasiri, F. Aplicación de medidas pasivas para la conservación de energía en edificios: Una revisión. *Adv. Construir. Res. Energía* 2018, 13, 282–315.
42. Watson, D. *Diseño Bioclimático*. En *Entornos Construidos Sostenibles*; Loftness, V., Haase, D., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2013.
43. Manzano-Agugliaro, F.; Gil Montoya, F.; Sabio-Ortega, A.; García-Cruz, A. Revisión de estrategias de arquitectura bioclimática para la consecución del confort térmico. *Renovar. Sostener. Energy Rev.* 2015, 49, 736–755.
44. Košir, M. *Adaptabilidad Climática de los Edificios: Diseño Bioclimático a la Luz del Cambio Climático*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2019.
45. Prozuments, A.; Borodinecs, A.; Zaharovs, S.; Banionis, K.; Monstvilas, E.; Norvaišienė, R. Evaluación de la reducción del consumo de energía térmica en edificios

- renovados en Letonia y Lituania. *Edificios* 2023, 13, 1916. <https://doi.org/10.3390/buildings13081916>.
46. Rao, X.; Qi, F.; Zhang, X.; Mao, Z. Evaluation Method on Energy-Efficient Retrofitting of Wooden Walls of Chinese Traditional Dwelling—A Case Study of Rendetang in Jinhua. *Buildings* 2022, 12, 1017. <https://doi.org/10.3390/buildings12071017>.
47. Esenarro, D.; Chicche, P.; Chichipe, V.; Vilchez, A.; Cobañas, P.; Raymundo, V. Bioclimatic Criteria for a Guest House in the District of Canta—Lima. In Proceedings of the 2022 11th International Conference on Power Science and Engineering (ICPSE), Eskisehir, Turkey, 23–25 September 2022; pp. 1–9. <https://doi.org/10.1109/ICPSE56329.2022.9935385>.
48. Whaether Spark. El clima y el tiempo promedio en todo el año en Lima. 2023. Available online: [https://es.weatherspark.com/y/20441/Clima-promedio-en-Lima-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#google\\_vignette](https://es.weatherspark.com/y/20441/Clima-promedio-en-Lima-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o#google_vignette) (accessed on 23 August 2023).
49. Verdinnova. Jardines Verticales, Comofunciona. Available online: <https://www.verdinnova.com/servicios/jardines-verticales> (accessed on 23 August 2023).
50. Shushunova, N.; Korol, E.; Luzay, E.; Shafieva, D.; Bevilacqua, P. Garantizar la seguridad de los edificios mediante la reducción del impacto del ruido mediante el uso de sistemas de muros verdes. *Energías* 2022, 15, 8097.
51. Bevilacqua, P.; Morabito, A.; Bruno, R.; Ferraro, V.; Arcuri, N. Comportamientos estacionales de los sistemas de refrigeración fotovoltaica en diferentes condiciones climáticas. *J. Limpio Pinchar* 2020, 272, 122459.
52. Szyszka, J.; Bevilacqua, P.; Bruno, R. Una pared de trombe innovadora para uso invernal: La pared de trombe de termiodiodo. *Energías* 2020, 13, 2188.

## 17.0 Artículos publicados en revistas indizadas

### a) Artículo indizado N° 1

Nombre del artículo científico y autor/es cuyo contenido debe corresponder con el Proyecto de Investigación de la Universidad Ricardo Palma a su cargo, aprobado el presente año.

**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 Sciercer, Ricardo Palma University (URP) at Lima, Peru 2023**

Gómez, A., Esenarro, D., Martínez, P., Vilchez, S., Raymundo, V.

- b) Captura de pantalla del resultado de la búsqueda del artículo científico en las bases de datos de Scopus, Web Of Science, SciELO o Latindex 2.0.

Advanced query (●)

Search within  
Article title, Abstract, Keywords

Search documents \*  
thermal AND calculation AND for AND the AND implementation AND of AND

Save search | Set search alert | + Add search field | Reset | Search Q

Beta

Documents | Preprints | Patents | Secondary documents | Research data ↗

Are you searching for: TITLE-ABS-KEY (Thermal Calculation for the Implementation of Green Walls was Therm... ↕

5 documents found Analyze results ↗

Refine search

Search within results

Filters

Year

Range  Individual

All |  Export |  Download |  Citation overview |  More |  Show all abstracts | Sort by Date (newest) |  Grid |  List

Document title	Authors	Source	Year	Citations
<input type="checkbox"/> 1 <b>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</b>	Gómez, A., Esenarro, D., Martínez, P., Vilchez, S., Raymundo, V.	Buildings, 13(9), 2301	2023	2

[Show abstract](#) | [View at Publisher](#) | [Related documents](#)

## 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

**By** Gómez, A (Gomez, Alejandro) ; Esenarro, D (Esenarro, Doris) ; Martinez, P (Martinez, Pedro) ; Vilchez, S (Vilchez, Stefany) ; Raymundo, V (Raymundo, Vanessa)

[View Web of Science ResearcherID and ORCID](#) (provided by Clarivate)

**Source** BUILDINGS

Volume: 13 Issue: 9  
DOI: 10.3390/buildings13092301

**Article Number** 2301

**Citation Network**

In Web of Science Core Collection

1 Citation  
52 Cited References

---

**Use in Web of Science**

2 Last 180 Days | 2 Since 2013

c) Captura de pantalla del artículo científico publicado en la revista indizada, donde deberá encontrarse:

- El nombre completo del/a autor/a/es del artículo científico.
- La fecha de publicación del artículo.
- El volumen, número e ISSN de la revista.

Order Article Reprints 

Open Access Article

### 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

by  Alejandro Gómez <sup>1</sup> ,  Doris Esenarro <sup>1,2,\*</sup> ,  Pedro Martínez <sup>1,2</sup> ,  Stefany Vilchez <sup>1</sup>  and  Vanessa Raymundo <sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup> School of Architecture and Urban Planning, Ricardo Palma University (URP), Santiago de Surco, Lima 15039, Peru  
<sup>2</sup> Research Laboratory for Formative Investigation and Architectural Innovation (LABIFIARQ), Santiago de Surco, Lima 15039, Peru  
\* Author to whom correspondence should be addressed.

*Buildings* **2023**, *13*(9), 2301; <https://doi.org/10.3390/buildings13092301>

Received: 9 July 2023 / Revised: 17 August 2023 / Accepted: 24 August 2023 / Published: 9 September 2023  
(This article belongs to the Special Issue Thermal Comfort Performance of Buildings)

Download  Browse Figures Versions Notes

d) Enlace para descargar el artículo científico publicado en la revista indizada:

<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/9/2301>

e) Artículo indizado N° 2

Nombre del artículo científico y autor/es cuyo contenido debe corresponder con el Proyecto de Investigación de la Universidad Ricardo Palma a su cargo, aprobado el presente año.

**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<sub>2</sub>.**

Gómez, A., Esenarro, D., Vilchez, S., Raymundo, V.

f) Captura de pantalla del resultado de la búsqueda del artículo científico en las bases de datos de Scopus, Web Of Science, SciELO o Latindex 2.0.

- Captura de pantalla del artículo científico publicado en la revista indizada, donde deberá encontrarse:
- El nombre completo del/a autor/a/es del artículo científico: **Alejandro Gómez-Ríos; Doris Esenarro-Vargas; Vanessa Raymundo-Martinez & Stefany Vilchez-Yupanqui**
- La fecha de publicación del artículo. **11-11-2024**
- El volumen, número e ISSN de la revista. **La Revista Científica Biotempo ISSN: 1992-2159 (Impreso); ISSN: 2519-5697 (Electrónico)**

Acerca De -

Inicio / Archivos / Vol. 21 Núm. 2 (2024): Biotempo Versión anticipada / Artículos Originales

## Implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma y la disminución del consumo energético y la emisión de CO<sub>2</sub>, Lima-Perú, 2023

Alejandro Gómez-Ríos  
Universidad Ricardo Palma (URP), Lima, Perú.  
<https://orcid.org/0000-0002-7983-3451>

Doris Esenerro-Vargas  
Universidad Ricardo Palma (URP), Lima, Perú.  
<https://orcid.org/0000-0002-7186-9814>

Stefany Vilchez-Yupanqui  
Universidad Ricardo Palma (URP), Lima, Perú.  
<https://orcid.org/0000-0003-1877-0508>

Vanessa Raymundo-Martínez  
Universidad Ricardo Palma (URP), Lima, Perú.  
<https://orcid.org/0000-0001-9264-0176>

DOI: <https://doi.org/10.31381/biotempov21i2.6680>

Palabras clave: consumo energético, dióxido de carbono, eficiencia energética, muros verdes

### 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 electrónicos de iluminación y de climatización artificial ha promovido edificaciones con alto índice de emisión de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> del edificio a solo 2 Tonia 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 mejorar las condiciones de los ambientes interiores, reduce el consumo energético y además de mejorar el habitat natural al disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Contador de visitas

218474



Número anterior 2023  
Vol.20 Número 1



Detección de plagio



Indizada



PDF

Publicado  
2024-11-11

Cómicitar

Gómez-Ríos, A., Esenerro-Vargas, D., Vilchez-Yupanqui, S., & Raymundo-Martínez, V. (2024). Implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma y la disminución del consumo energético y la emisión de CO<sub>2</sub>, Lima-Perú, 2023. *Biotempo*, 23(2). <https://doi.org/10.31381/biotempov21i2.6680>

Más formatos de cita

Número  
Vol. 21 Núm. 2 (2024): Biotempo Versión anticipada

Sección  
Artículos Originales

g) Enlace para descargar el artículo científico publicado en la revista indizada:

<https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo/article/view/6680/11159>

[Vista de Implementación de muros verdes en las fachadas este y oeste de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma y la disminución del consumo energético y la emisión de CO<sub>2</sub>, Lima-Perú, 2023](https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo/article/view/6680/11159)