

# CONFORT TÉRMICO ESTÁTICO EN CLIMA ÁRIDO: EFECTOS SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS

STATIC THERMAL COMFORT IN ARID CLIMATES: EFFECTS ON ENERGY CONSUMPTION IN AN OFFICE BUILDING

YÉSICA ALAMINO-NARANJO

ORCID: 0000-0002-2325-2206

Instituto Regional de Hábitat y

Planeamiento-CONICET-UNSJ

San Juan, Argentina

alaminoyesica@gmail.com

## Cómo citar:

ALAMINO-NARANJO, Y. (2025). Confort térmico estático en clima árido: Efectos sobre el consumo energético en un edificio de oficinas. *Revista de Arquitectura*, 30(49), 149-165. <https://doi.org/10.5354/0719-5427.2025.80619>

## Recibido:

2025-09-08

## Aceptado:

2025-11-24

## RESUMEN

La climatización artificial en edificios de oficinas, cuando se utiliza de manera homogénea, puede generar desconexión entre las condiciones interiores y el entorno exterior, con implicancias negativas para la eficiencia energética y la percepción de confort de los ocupantes. Este fenómeno es evidente en espacios con sistemas centralizados, donde la temperatura interior se mantiene prácticamente invariable a lo largo del año, limitando la posibilidad de adaptación estacional de los usuarios. El presente estudio evalúa el comportamiento térmico interior y la percepción de confort en un edificio de oficinas ubicado en una región de clima templado-cálido, caracterizado por la presencia de climatización centralizada y escaso control ambiental por parte de los ocupantes. La metodología combina mediciones de temperatura durante períodos estacionales con encuestas subjetivas sobre sensación térmica, preferencias y rendimiento percibido. Los resultados muestran una mínima variabilidad térmica, con valores interiores constantes entre 24 y 25 °C, lo que contradice los supuestos adaptativos contemplados en la norma ISO 7730 (International Organization for Standardization, 2005). Aunque los usuarios declaran 'comodidad' o 'algo de calor', el hallazgo sugiere un entorno interior estable pero energéticamente ineficiente, que limita la capacidad de adaptación natural y plantea interrogantes sobre la sostenibilidad de este modelo de confort en climas áridos y semiáridos.

## PALABRAS CLAVE

Confort estático, estabilidad térmica, variabilidad térmica

## ABSTRACT

Artificial conditioning in office buildings, when applied uniformly, can create a disconnect between indoor conditions and the outdoor environment, with negative implications for both energy efficiency and occupants' comfort perception. This phenomenon is evident in spaces with centralized systems, where indoor temperatures remain nearly constant year-round, limiting users' ability to adapt seasonally. This study evaluates the indoor thermal behavior and comfort perception in an office building located in a warm-temperate climate region, characterized by centralized conditioning and limited occupant environmental control. The methodology combines seasonal temperature measurements with subjective surveys on thermal sensation, preferences, and perceived performance. Results show minimal thermal variability, with constant indoor temperatures between 24 and 25°C, contradicting the adaptive assumptions of the ISO 7730 standard. Although users reported being "comfortable" or "slightly warm," the findings suggest a stable yet energy-inefficient indoor environment that restricts natural adaptive capacity and raises questions about the sustainability of this comfort model in arid and semi-arid climates.

## KEYWORDS

Static confort, thermal stability, thermal variability

## INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, la crisis energética y el cambio climático han posicionado al sector edilicio como un área clave para la mitigación, debido a su elevado consumo energético y al potencial de ahorro que ofrece la implementación de estrategias de diseño sostenible. Esta problemática se intensifica en regiones áridas y semiáridas, donde las condiciones extremas —como las altas amplitudes térmicas diarias y la intensa radiación solar— incrementan la dependencia de sistemas de acondicionamiento artificial.

La provincia de San Juan, Argentina, constituye un caso representativo de esta situación. Su arquitectura institucional, fuertemente influenciada por los principios del Movimiento Moderno, se caracterizó por el uso predominante del hormigón, envolventes herméticas y climatización centralizada, relegando las estrategias pasivas de control ambiental. Este modelo, replicado en diversos contextos a nivel global, ha derivado en edificaciones de elevado consumo energético y con alta vulnerabilidad frente a escenarios de crisis energética.

En este marco, el presente trabajo analiza el comportamiento térmico-energético de un edificio institucional de San Juan, con el objetivo de evaluar su desempeño y aportar evidencias que contribuyan al debate sobre estrategias arquitectónicas más eficientes en climas áridos. Este estudio se enmarca dentro de una tesis doctoral que investiga cómo las variables ambientales interiores inciden tanto en el rendimiento humano laboral como en la eficiencia energética de los edificios. Los resultados aquí expuestos forman parte del trabajo de campo desarrollado en dicho proyecto y buscan reforzar la necesidad de adoptar modelos constructivos sensibles al clima, que promuevan la eficiencia energética y garanticen condiciones de confort interior para los usuarios.

Aunque la literatura internacional ha documentado ampliamente la tensión entre modelos estáticos de confort y variabilidad climática, la evidencia empírica en regiones áridas y semiáridas del Cono Sur es todavía limitada. En particular, resulta escaso el análisis simultáneo de condiciones físicas y percepción de usuarios en edificios con climatización centralizada y altos consumos energéticos. Este estudio contribuye a cubrir ese vacío, aportando datos específicos de un clima árido templado con amplias oscilaciones térmicas diarias y estacionales, donde la generalización de modelos estáticos puede presentar limitaciones significativas.

### MARCO TEÓRICO Y REFERENTES

El confort térmico continúa siendo objeto de debate en torno a los modelos que lo explican: el modelo controlado, basado en condiciones estandarizadas, y el modelo adaptativo, centrado en la interacción entre el ocupante y su entorno. Esta tensión teórica y práctica es relevante en contextos donde las condiciones exteriores presentan alta variabilidad estacional y los sistemas de climatización limitan la capacidad de respuesta de los usuarios, tal como ocurre en numerosos edificios de oficinas con climatización centralizada.

El estándar ISO 7730 (2005a), sustentado en el enfoque de balance térmico de Fanger (1988), constituye una de las referencias más difundidas para evaluar confort en interiores, a partir de los índices PMV (Predicted Mean Vote) y PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). No obstante, diversos estudios han señalado que esta normativa puede no reflejar adecuadamente la diversidad de preferencias térmicas observadas en investigaciones de campo (Olsen, 2024; Zhang et al., 2011). Su enfoque rígido y la necesidad de mantener parámetros estrictamente controlados tienden a resultar en un uso intensivo de energía, particularmente en climas con alta oscilación térmica diaria y estacional o en edificios donde los ocupantes tienen escasa capacidad de modificar su entorno térmico (Luther & Ahmed, 2020; Yang et al., 2024).

Frente a esta perspectiva, el modelo adaptativo sostiene que las personas pueden ajustarse a un rango térmico más amplio mediante mecanismos fisiológicos, siempre que dispongan de cierto grado de control sobre su entorno (Barone et al., 2023). Este enfoque ha adquirido centralidad en el marco de la sostenibilidad energética, ya que promueve prácticas como la apertura de ventanas, el uso de protecciones solares o la modificación de la vestimenta, lo que reduce la dependencia de los sistemas HVAC y favorece un consumo energético más racional (Bienvenido-Huertas & Rubio-Bellido, 2021; Drakou et al., 2023; Lamsal et al., 2023). En entornos híbridos, donde coexisten estrategias pasivas y activas, el comportamiento del usuario, en especial, respecto de la ventilación natural y la gestión de la radiación solar, puede tener un efecto determinante en la regulación térmica interior.

Los modelos adaptativos reconocen la aclimatación fisiológica como factor clave en la percepción del confort, en tanto el cuerpo humano desarrolla respuestas específicas a condiciones térmicas recurrentes. Esta variabilidad plantea un desafío a los modelos estáticos, que tienden a homogeneizar umbrales sin contemplar particularidades socioclimáticas.

Desde la perspectiva energética, la literatura evidencia el potencial de ahorro asociado al modelo adaptativo. En oficinas españolas, por ejemplo, la flexibilización de los rangos de temperatura permitió reducir el consumo energético hasta un 69,91 % en escenarios menos restrictivos (Sánchez-García et al., 2020). Otros estudios han documentado reducciones de entre 15 % y 33 % frente a estrategias basadas en modelos controlados (Papadopoulos et al., 2023). Esta eficiencia aumenta cuando se diseñan entornos centrados en el usuario, que incorporan datos subjetivos para definir zonas de confort más individualizadas (Lamberti, 2021).

No obstante, la implementación de estos enfoques enfrenta desafíos. Requiere sistemas inteligentes capaces de captar y procesar información ambiental y comportamental en tiempo real, apoyados en algoritmos complejos y respuestas inmediatas (Lamberti, 2021). Los modelos controlados, por su parte, aunque más simples de operar y altamente eficaces en entornos predecibles, suelen demandar un uso intensivo de energía para sostener condiciones estables, incluso ante variaciones climáticas menores (Ahn, 2021; Ijaz et al., 2024). En este sentido, los avances en control predictivo y gestión de la demanda han demostrado reducciones energéticas de hasta 49,3 % y 73,9 % en escenarios específicos, destacando el potencial de estas tecnologías para optimizar operaciones de climatización (Zhao et al., 2023).

Frente a estas evidencias, estudios recientes proponen la integración de ambos enfoques. Si bien los modelos adaptativos se han aplicado tradicionalmente en edificios con ventilación natural, existen pruebas crecientes de su aplicabilidad en edificaciones con acondicionamiento activo, donde permiten reducir consumos energéticos sin comprometer el confort (Hellwig et al., 2020). Esta complementariedad no solo responde a la necesidad de eficiencia energética, sino también a una mejor adecuación cultural y climática de los espacios (Yang et al., 2023).

Finalmente, la discusión sobre confort térmico se ha expandido hacia una visión más integral de la calidad ambiental interior. En este sentido, estándares internacionales como el WELL Building Standard (International WELL Building Institute, 2020) han incorporado el confort térmico junto con otras dimensiones

como la iluminación, calidad del aire, acústica y bienestar del usuario, como criterios de evaluación fundamentales en edificios de oficinas. Estos marcos ofrecen una referencia global que complementa los modelos de confort, orientando la transición hacia entornos de trabajo más saludables y sostenibles, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la agenda internacional de eficiencia energética.

El presente estudio se propone evaluar el comportamiento térmico interior y la percepción de confort de los usuarios en un edificio de oficinas ubicado en la ciudad de San Juan, Argentina, caracterizado por un clima templado-cálido y por la presencia de un sistema de climatización centralizada que restringe el control ambiental por parte de los ocupantes. A través de mediciones estacionales y encuestas subjetivas, se busca identificar si la homogeneización térmica impuesta por el sistema HVAC entra en conflicto con los procesos de adaptación estacional de los usuarios, generando una contradicción entre la estabilidad del confort y su sostenibilidad energética.

## **METODOLOGÍA**

El estudio se desarrolla en un edificio de oficinas emplazado en la ciudad de San Juan, Argentina (630 m s. n. m.; latitud 31,6° S; longitud 68,5° O), dentro del Valle de Tulum. Según la clasificación IRAM 11603 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2012), el clima corresponde a templado-cálido, caracterizado por elevada transparencia atmosférica, baja humedad relativa, gran amplitud térmica diaria y estacional, y escasas precipitaciones. De acuerdo con la clasificación de Köppen, citada en Beck et al. (2023), la región se caracteriza como BWk (árido frío de estepa), con una temperatura media anual de 17,2 °C. Para el año de estudio se empleó un archivo climático específico, elaborado con registros de una estación meteorológica propia instalada en el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat de la Universidad Nacional de San Juan, a menos de cinco kilómetros del edificio. Este recurso permitió contar con datos locales de alta precisión (temperaturas máximas, mínimas y medias).

El relevamiento interior se estructuró a partir de una campaña de medición estacional en verano, invierno y etapa intermedia (otoño-primavera), con el fin de capturar la relación entre condiciones exteriores y comportamiento térmico interno en distintos escenarios climáticos.

El parámetro central fue la temperatura operativa (Top), descriptor del confort térmico según ISO 7730 (2005a). Esta variable se estimó combinando temperatura del aire (Ta) y radiante media (Trm), mediante promedio ponderado.

Las mediciones físicas se complementaron con encuestas a los ocupantes, destinadas a evaluar percepción térmica, preferencias de ajuste y rendimiento autopercebido. Se aplicaron en paralelo a las mediciones durante dos semanas por estación, reduciendo sesgos y garantizando correspondencia entre datos objetivos y subjetivos.

Se utilizó un muestreo aleatorio estratificado que contempló sectores del edificio, tipo de oficina y horarios de ocupación. Cada encuestado respondió cuestionarios estructurados sobre sensación térmica, preferencias de temperatura y autoevaluaciones de rendimiento y confort. Las respuestas fueron analizadas estadísticamente para identificar correlaciones con los datos medidos.

La recolección en campo combinó medición puntual y móvil mediante una unidad portátil equipada con sensores calibrados (Figura 1). Todos los instrumentos empleados fueron verificados y calibrados siguiendo los criterios de precisión establecidos en ISO 7726 (1998) para medición de variables térmicas en ambientes interiores. La calibración del sensor de temperatura del aire (HOBO U12-006) y del termómetro infrarrojo empleado para estimar  $Tr_{m}$  (Ajavision WH380) se realizó de acuerdo con los procedimientos recomendados por los fabricantes y con referencia a patrones trazables certificados bajo lineamientos de ISO/IEC 17025 (2005b), garantizando la confiabilidad metrológica de los datos registrados.

El instrumental incluyó un sensor de temperatura del aire (HOBO U12-006) y un medidor infrarrojo de temperatura superficial (Ajavision WH380) para estimar  $Tr_{m}$ . Se relevaron 235 oficinas en distintos sectores, posicionando sensores a 1,10 m de altura y a menos de 1 m del puesto de trabajo ocupado, replicando la zona de ocupación típica.

Cada medición incluyó 3 minutos de estabilización y 5 de registro continuo, además del registro de condiciones contextuales (orientación, aperturas de ventanas, presencia de equipos emisores). Paralelamente, se administraron las encuestas en los mismos espacios y horarios.

**FIGURA 1**  
*Unidad móvil de medición*



*Nota.* Archivo personal.

Este diseño dual, que combina mediciones objetivas y evaluaciones subjetivas, permitió una visión integral del comportamiento térmico y la percepción de los usuarios, facilitando el análisis de la relación entre condiciones físicas, preferencias y rendimiento percibido.

### Caso de estudio

En el marco de un relevamiento de edificaciones emplazadas en el área urbana de la ciudad de San Juan, se llevó a cabo una evaluación comparativa de edificios de oficinas con más de tres niveles que presentan un consumo energético intensivo por metro cuadrado climatizado. Entre los casos analizados se incluyen algunos de los edificios institucionales más representativos de la ciudad (Figura 2).

A partir de este análisis, se seleccionó como caso representativo el edificio CC, ya que registra el mayor consumo eléctrico (342 kWh/m<sup>2</sup>·año) (Figura 3). Entre los edificios relevados, el caso seleccionado constituye el de mayor consumo energético específico, lo que lo convierte en un escenario de alto interés para examinar el impacto de estrategias de climatización continua en contextos áridos. En este sentido, su carácter paradigmático justifica el análisis en profundidad como estudio de referencia.

**FIGURA 2**  
Edificios institucionales ubicados en el eje cívico-institucional del área central de la capital de San Juan, Argentina



Nota. 1. Palacio Municipal (MUN), 2. Tribunales de Faltas (TRN), 3. Banco de la Nación (BNA), 4. Rectorado Universitario (ECU), 5. Correo y Telecomunicaciones (CAR), 6. Agencia de Recaudación Aduanera (AFIP), 7. Obras Sanitarias Sociedad del Estado (OSE), 8. Centro Cívico (CC) y 9. Legislatura provincial (LGP). Todos ellos comparten una morfología influenciada por los modelos del Movimiento Moderno. Archivo personal.

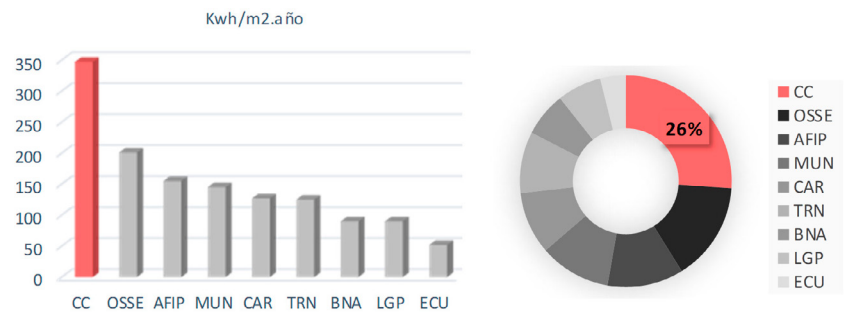


## INVESTIGACIÓN EN TEORÍA ARQUITECTÓNICA

## CONFORT TÉRMICO ESTÁTICO EN CLIMA ÁRIDO: EFECTOS SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO EN UN EDIFICIO DE OFICINAS

**FIGURA 3**  
Consumo energético por m<sup>2</sup>  
de edificios institucionales  
de la ciudad de San Juan.

Nota. Izquierda: consumo de energía eléctrica por metro cuadrado del conjunto de edificios de oficinas emplazados en la ciudad de San Juan, Argentina. Derecha: representación porcentual del consumo energético del conjunto de edificios de oficina emplazados en la ciudad de San Juan, Argentina. Elaboración propia.



El edificio CC (Figuras 4 y 5) se caracteriza por su alta hermeticidad y la operación de sistemas centralizados de climatización que buscan mantener condiciones interiores rigurosamente controladas durante todo el año. La estrategia operativa del edificio apunta a minimizar la variabilidad de parámetros ambientales internos como la temperatura operativa, la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), la iluminación y el nivel sonoro, independientemente de las condiciones exteriores. La Tabla 1 resume las principales características de diseño.

**FIGURA 4**  
Fachada este y fachada Sur  
del edificio Centro Cívico

Nota. Izquierda: vista fachada este de CC. Derecha: vista aérea fachada sur de CC. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Gobierno de San Juan. Archivo personal.



**FIGURA 5**  
Interior del edificio

Nota. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Gobierno de San Juan. Archivo personal.



A pesar de contar con un sistema de climatización centralizado, el edificio dispone de ventanas con apertura manual. No obstante, desde el área técnica de operación se prohíbe su apertura por parte de los usuarios para evitar interferencias con el sistema de control ambiental. Sin embargo, durante el estudio de campo se observó con frecuencia el incumplimiento de esta directiva, evidenciando una tensión entre el uso previsto y el uso real del edificio.



La elección de este caso permite profundizar en el análisis del comportamiento térmico interior de una edificación de alto consumo energético, con el fin de cuestionar la racionalidad de sus estrategias de climatización continua en un entorno climático árido, donde el aprovechamiento de estrategias pasivas podría ofrecer alternativas más sostenibles.

**TABLA 1**  
*Caracterización del edificio  
Centro Cívico*

Orientación	Este-Oeste
Superficie total	80.873 m <sup>2</sup>
Superficie de oficina [%]	59 %
Sistema de climatización frío-calor	HVAC
Tipo de estructura	Hormigón armado
Consumo [kWh/m <sup>2</sup> .año]	342
Superficie vidriada en fachadas	50 %
Mampostería de cierre	Liviana-Placa mdf

Nota. Elaboración propia.

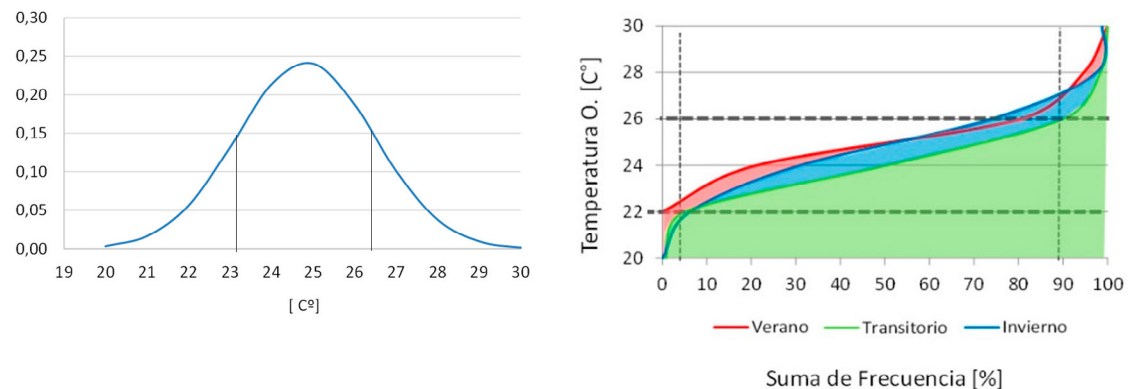
**RESULTADOS**

El análisis de los registros de temperatura operativa (Top) mostró que la mayor parte de las mediciones se concentraron en un rango entre 23 °C y 26,5 °C, representando aproximadamente el 70 % de las mediciones en todos los periodos considerados. Estas temperaturas se ajustan a los valores de confort definidos por la norma ISO 7730 (2005a), para condiciones estivales. La Figura 6 muestra una distribución normal de los datos de medición (temperatura operativa) durante los tres períodos del año. Además, se observa la suma de frecuencia de los datos medidos de temperatura operativa (°C) según estaciones verano, transitorio, invierno. De esta comparación se destaca que no existen diferencias significativas en los niveles de temperatura interior durante los tres períodos analizados. Esto se traduce en que el sistema de climatización del edificio opera bajo un criterio de consigna constante, sin ajustes vinculados con las condiciones exteriores o a la lógica de adaptación estacional del usuario.

La Tabla 2 sintetiza los valores estadísticos de la temperatura operativa por período estacional. Durante el verano se registra una temperatura promedio de 25,1 °C con una desviación estándar de 1,9 °C; en el período transitorio, la media es de 24,1 °C con una desviación de 1,7 °C; y en invierno, la media alcanza 25,3 °C con una desviación de 1,6 °C. Los rangos de temperaturas en cada estación se superponen entre sí: 23,2 °C a 27,0 °C en verano, 22,4 °C a 25,8 °C en transitorio, y 23,7 °C a 26,9 °C en invierno.

**FIGURA 6**  
Suma de frecuencia de los datos medidos de temperatura operativa  $^{\circ}\text{C}$

Nota. Izquierda: distribución normal de los datos de medición interior (temperatura operativa) durante los tres periodos del año. Derecha: suma de frecuencia de los datos medidos de temperatura operativa ( $^{\circ}\text{C}$ ) según estaciones verano, transitorio, invierno. Elaboración propia.



Siguiendo con el análisis de la Tabla 2, en términos de percepción térmica por parte de los usuarios, la mayoría manifestó sentirse en condiciones cómodas o ligeramente cálidas, con calificaciones de sensación térmica (CVt) promedio entre +0,5 y +0,6 en los distintos periodos. La preferencia térmica (PVt) mostró valores ligeramente negativos, en promedio entre -0,1 y -0,4, lo que sugiere una tendencia hacia la preferencia por ambientes más frescos, aun cuando las condiciones se consideraban confortables.

Los votos relacionados con el rendimiento térmico (VRt) indicaron que la percepción del ambiente térmico tenía poca o ninguna influencia sobre el desempeño en actividades laborales, con porcentajes de autopercepción positiva que oscilaron entre el 16 % y 23 %.

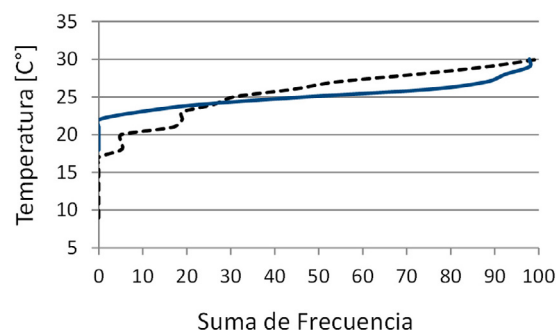
Se observó además que el sistema de climatización opera con un único punto de consigna térmica durante todo el año, sin ajustar los parámetros de control en función de cada estación o las condiciones externas. La operación se caracterizó por la escasa variabilidad en las condiciones internas, en contraste con la marcada oscilación de las temperaturas exteriores registradas en paralelo.

**TABLA 2**  
Comportamiento estadístico de la muestra desde el punto de vista térmico

		Promedio	SD ( $\sigma$ )	Máximo	Mínimo
Período verano	Temperatura operativa [C°]	25,1	±1,9	27	22
	Voto Sensación térmica CVt [ - ]	+0,6	±,04	+2,5	-2,5
	Voto Preferencia térmica PVt [ - ]	-0,4	±0,5	+1	-1
	Voto Rendimiento/térmica-VRt [%]	23,0	±24,3	75	0
Período transitorio	Temperatura operativa [C°]	24,1	±1,7	27,5	18
	Voto Sensación térmica CVt [ - ]	+0,5	±0,9	+3	-1,5
	Voto Preferencia térmica PVt [ - ]	-0,1	±0,5	+1	-1
	Voto Rendimiento/térmica-VRt [%]	19	±21,0	75	0
Promedio invierno	Temperatura operativa [C°]	25,3	±1,6	28	20
	Voto Sensación térmica CVt [ - ]	+0,6	±1,07	+3	-1
	Voto Preferencia térmica PVt [ - ]	-0,1	±0,4	+1	-1
	Voto Rendimiento/térmica-VRt [%]	16	±21,3	75	0

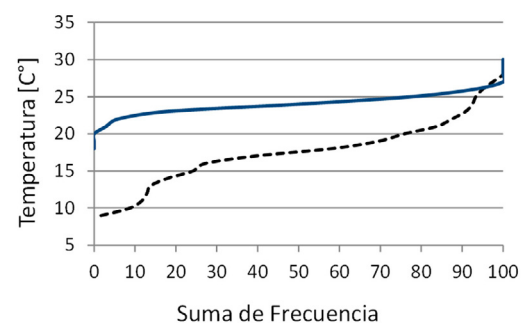
Nota. Elaboración propia.

**FIGURA 7**  
Suma de frecuencia de los datos  
medidos de temperatura interior  
operativa (línea continua) y  
temperatura exterior (°C) durante  
período verano (línea de trazo)



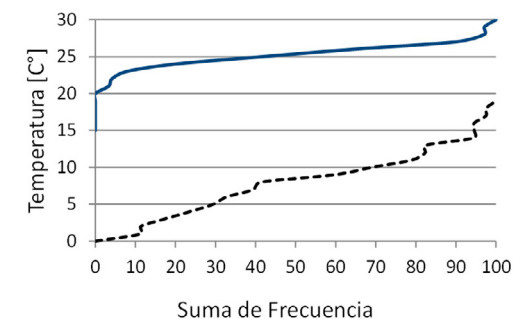
Nota. Elaboración propia.

**FIGURA 8**  
Suma de frecuencia de los datos  
medidos de temperatura interior  
operativa (línea continua) y  
temperatura exterior (°C) durante  
período transitorio (línea de trazo)



Nota. Elaboración propia.

**FIGURA 9**  
Suma de frecuencia de los datos  
medidos de temperatura interior  
operativa (línea continua) y  
temperatura exterior (°C) durante  
período invierno (línea de trazo)



Nota. Elaboración propia.

En cuanto al consumo energético del edificio, se registró una cifra de 342 kWh/m<sup>2</sup> por año, considerada elevada en relación con otros edificios de la misma región (Figura 2). Este valor, junto con los datos de control térmico, evidencian una operación de climatización que podría estar contribuyendo a un uso excesivo de energía.

Con respecto a las condiciones exteriores, las Figuras 7, 8 y 9 muestran la variabilidad térmica exterior (línea de trazos) e interior (línea continua). La comparación de estos datos evidencia que la temperatura exterior presentaba importantes variaciones diarias y estacionales (Figuras 6, 7 y 8), llegando en verano a mínimas de 17 °C y máximas de 30 °C, en invierno alcanzando valores mínimos de 0 °C y máximas de 19 °C, mientras que desde el interior el ambiente permanecía estable en los distintos períodos. Es decir, existe una operación del sistema de climatización que mantiene condiciones internas estables a lo largo de todo el año, en presencia de importantes variaciones en las condiciones externas. Esta situación plantea interrogantes sobre la adecuación y eficiencia de la implementación de sistemas de climatización estandarizados en climas templado cálido, resaltando la importancia de considerar estrategias que tengan en cuenta la variabilidad estacional, la participación del usuario y la eficiencia energética en el diseño y la gestión de edificios de oficinas en entornos con altas oscilaciones térmicas.

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio evidencian una marcada disociación entre las condiciones ambientales exteriores, altamente variables y propias de un clima árido templado como el de San Juan, y el ambiente interior del edificio analizado, caracterizado por temperaturas constantes y un consumo energético anual de 342 kWh/m<sup>2</sup>, el más elevado entre los edificios relevados en su contexto urbano. Este comportamiento confirma la vigencia de un modelo de gestión térmica basado en control mecánico estandarizado, como describe la norma ISO 7730 (2005a) y el modelo de Fanger (1988), donde el confort se asocia a una franja térmica predefinida sostenida mediante climatización continua.

Si bien estos resultados coinciden con investigaciones internacionales que documentan la rigidez térmica típica de edificios con climatización centralizada, este caso aporta evidencia empírica en un clima árido templado con amplitudes térmicas extremas, donde la desarticulación entre clima exterior y ambiente interior adquiere una relevancia crítica. En este sentido, la observación sistemática de aperturas de ventanas, aun cuando están prohibidas por la institución, constituye un hallazgo significativo. La apertura espontánea revela un comportamiento adaptativo latente y complementa las preferencias térmicas registradas, levemente orientadas hacia ambientes más

frescos, subrayando así el desajuste entre el modelo operativo del edificio y la necesidad adaptativa de los ocupantes. En climas áridos, donde la amplitud térmica diaria habilita estrategias pasivas durante varias horas del día, estos comportamientos emergen como indicadores de una oportunidad desaprovechada para reducir el consumo energético sin afectar el confort.

El 70 % de las observaciones se encuentra entre 23,5 °C y 26,5 °C, rango compatible con la ISO en verano. No obstante, este patrón rígido y carente de respuesta estacional representa un esquema intensivo en energía, sin integración de estrategias pasivas o adaptativas como ventilación natural, modulación térmica o *free cooling* nocturno. En consecuencia, el edificio se comporta como una ‘cámara climática artificial’, anulando procesos de aclimatación fisiológica, fenómeno ampliamente documentado en estudios de confort adaptativo (Thapa & Pernigotto, 2025).

Desde la perspectiva subjetiva, las encuestas muestran valores de sensación térmica (CVt) entre +0,5 y +0,6 y preferencias (PVt) entre -0,1 y -0,4, en consonancia con hallazgos de Bienvenido-Huertas y Rubio-Bellido (2021). Esto indica que los usuarios podrían tolerar condiciones más variables si dispusieran de cierto control ambiental. La evidencia cualitativa de aperturas de ventanas refuerza esta lectura, pues demuestra que los ocupantes intentan ajustar el ambiente aun en un contexto restrictivo, evidenciando una tensión estructural entre el sistema mecánico y el comportamiento real.

Este resultado se alinea con investigaciones que reportan reducciones energéticas sustantivas al flexibilizar los rangos de operación: hasta 69,91 % en oficinas españolas (Sánchez-García et al., 2020) y entre 15 % y 33 % en entornos adaptativos (Papadopoulos et al., 2023). A diferencia de estos casos, el edificio estudiado mantiene un funcionamiento rígido, lo que explica su elevado consumo. Aun así, los valores relativamente bajos de impacto percibido sobre el rendimiento (VRt) sugieren cierta adaptación pasiva o psicológica, descrita por los modelos adaptativos como una forma de mitigación subjetiva frente a ambientes poco responsivos.

La ausencia de estrategias híbridas o predictivas representa una oportunidad perdida para optimizar el rendimiento sin comprometer confort. La integración de algoritmos de control dinámico, esquemas de interacción usuario-edificio y estrategias pasivas permitiría compatibilizar la robustez del sistema mecánico con la flexibilidad del enfoque adaptativo. En regiones áridas como San Juan, donde la amplitud térmica diaria permite ventilación natural o enfriamiento pasivo durante franjas temporales amplias, este rediseño operativo posee un alto potencial de impacto.

En síntesis, los resultados refuerzan la crítica a los modelos de confort basados en control constante y aportan evidencia empírica sobre la viabilidad de enfoques más resilientes, eficientes y culturalmente adecuados en oficinas de zonas áridas. Se recomienda avanzar hacia intervenciones pasivas (ventilación cruzada, envolventes optimizadas, sombreados móviles) y estudios longitudinales que analicen la percepción de confort en relación con la variabilidad climática.

Estas conclusiones deben considerarse a la luz de ciertas limitaciones: el análisis se centró en un único edificio, lo que restringe la generalización; las percepciones subjetivas se relevaron solo en tres períodos estacionales, sin abarcar la totalidad de la variabilidad anual ni eventos extremos como el viento Zonda; y no se midieron otras variables ambientales relevantes como humedad relativa, velocidad del aire o iluminación natural. Tampoco se implementó un monitoreo continuo ni se cruzaron datos de consumo con ocupación real en tiempo real. Si bien estas limitaciones no invalidan los hallazgos, sí subrayan la necesidad de estudios futuros más amplios, comparativos y longitudinales que incorporen un espectro mayor de variables para fortalecer marcos de diseño y operación ajustados a las realidades climáticas de regiones áridas.

## CONCLUSIÓN

Las evidencias obtenidas muestran que el edificio opera bajo un esquema de climatización continua que mantiene la temperatura interior prácticamente invariable entre 23 °C y 26,5 °C durante todo el año, a pesar de que el clima exterior presenta amplitudes térmicas significativas, con variaciones diarias de hasta 13 °C en verano y 19 °C en invierno. Esta desconexión entre exterior e interior revela una ineficiencia asociada específicamente al funcionamiento del sistema HVAC, cuyo criterio de consigna fija resulta insensible a la variabilidad climática real. No se trata, por lo tanto, de una ‘ineficiencia sistémica’ del edificio en sentido amplio, sino de una ineficiencia operacional del sistema de climatización, que sostiene condiciones artificialmente estables aun en momentos del día o del año donde las condiciones exteriores permitirían reducciones sustantivas en la demanda energética.

El análisis de la relación clima-interior evidencia que el edificio desaprovecha el potencial de adaptación pasiva característico de los climas áridos. Los resultados indican que este potencial sería especialmente aplicable en:

- Períodos intermedios (otoño y primavera), cuando las temperaturas exteriores se ubican dentro o muy próximas al rango de confort adaptativo y permitirían ventilación natural sin comprometer el confort.

- Las primeras horas de la mañana y las noches de verano, donde las temperaturas exteriores descienden hasta 17 °C, lo que habilitaría estrategias de *free cooling* o ventilación nocturna para reducir la carga térmica acumulada.
- Horas centrales de invierno sin viento Zonda, donde las máximas alcanzan entre 15 °C y 19 °C y podrían aprovecharse mediante ganancias solares pasivas y ventilación controlada.

Estos momentos, identificados a partir de los registros climáticos locales y la comparación con las mediciones interiores, representan ventanas claras para reducir el uso del sistema HVAC sin afectar el confort. El hecho de que los usuarios manifestaran una ligera preferencia por ambientes más frescos (PVt entre -0,1 y -0,4) refuerza esta conclusión: existe un margen térmico disponible que el sistema no utiliza y que podría reducir de manera significativa la energía consumida.

Las percepciones de confort obtenidas indican que, aunque los usuarios reportaron condiciones estables y aceptables, la homogeneización térmica limita los procesos adaptativos y genera dependencia de un sistema mecánico de alto consumo. La evidencia cualitativa —aperturas de ventanas pese a la prohibición— confirma que los ocupantes buscan activamente mecanismos de ajuste ambiental, lo cual contradice el modelo operativo actual y revela posibilidades de transición hacia esquemas híbridos.

Los resultados sugieren la necesidad de avanzar hacia configuraciones de control dinámico, donde el sistema HVAC responda de manera estacional y horaria, integrando estrategias pasivas como ventilación natural, modulación de apertura de ventanas, sombreados móviles y enfriamiento nocturno. En climas áridos, estos mecanismos poseen un alto potencial de impacto debido a la marcada variabilidad térmica, especialmente en los períodos de mayor oscilación diaria.

Asimismo, el estudio pone en evidencia limitaciones metodológicas que deberán ser abordadas en investigaciones futuras: el análisis se centró en la dimensión térmica y no incorporó variables como humedad relativa, velocidad del aire, iluminación natural o calidad del aire interior. Diseños futuros que integren estas dimensiones, así como campañas de monitoreo continuo y simulaciones energéticas comparativas, permitirán avanzar hacia diagnósticos más precisos y propuestas más robustas de mejora.

En síntesis, el edificio analizado constituye un ejemplo representativo de las limitaciones de los modelos de confort basados en constancia térmica en climas áridos. Los resultados demuestran que es posible optimizar el desempeño energético sin comprometer el confort



mediante estrategias híbridas, sensibles al clima y centradas en el usuario. Adoptar estos enfoques resulta imprescindible para reducir la demanda energética, mejorar la resiliencia operativa y diseñar lineamientos normativos más coherentes con las particularidades socio ambientales de las regiones áridas.

### **FINANCIAMIENTO**

El presente trabajo se desarrolló con el apoyo de la Secretaría de Ciencia y Técnica, así como la Universidad Nacional de San Juan, que brindaron el financiamiento necesario para la realización de las actividades de investigación.

### **CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores no tienen conflictos de interés que declarar.

### **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

**Yesica Alamino-Naranjo:** Conceptualización, Adquisición de fondos, Investigación, Metodología, Administración del proyecto, Supervisión, Redacción.

### **DECLARACIÓN SOBRE USO DE IA**

En el curso del desarrollo de este trabajo, el autor utilizó la herramienta ChatGpt (Open AI) como apoyo en la redacción, organización de citas y edición del texto. Su incorporación respondió a la necesidad de optimizar tiempos de escritura, mejorar la coherencia del estilo y asegurar la correcta aplicación de normas de citación (APA 7). Tras el uso de esta herramienta, el autor reviso cuidadosamente el contenido y asume la responsabilidad total del contenido.

### **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la Red Iberoamericana de Pobreza Energética y Bienestar Ambiental (RIPEBA) por su valioso apoyo científico, el cual fue fundamental para la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Ahn, J. (2021). Thermal Control Processes by Deterministic and Network-Based Models for Energy Use and Control Accuracy in a Building Space. *Processes*, 9, 385. <https://doi.org/10.3390/PR9020385>
- Barone, G., Buonomano, A., Forzano, C., Giuzio, G. F., Palombo, A., & Russo, G. (2023). A new thermal comfort model based on physiological parameters for the smart design and control of energy-efficient HVAC systems. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 173, 113015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113015>
- Olsen, A. A. (2024). Indoor Climate.
- Beck, H. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., Lutsko, N. J., Dufour, A., Zhenzhong, Z., Jiang, X., van Dijk, A. I. & Miralles, D. G. (2023). High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. *Scientific data*, 10(1), 724. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6>
- Bienvenido-Huertas, D., & Rubio-Bellido, C. (2021). Adaptive Thermal Comfort Models for Buildings. En *Adaptive Thermal Comfort of Indoor Environment for Residential Buildings* (pp. 13–33). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-0906-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-16-0906-0_2)
- Drakou, A., Sofos, F., Karakasidis, T. E., & Tsangrassoulis, A. (2023). Adaptive thermal comfort model and active occupant behaviour in a mixed-mode apartment. A synergy to sustainability. *IOP Conference Series*, 1196(1), 012097. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1196/1/012097>
- Fanger, P. O. (1988). Fundamentals of thermal comfort. En *Advances in Solar Energy Technology. Proceedings of the Biennial Congress of the International Solar Energy Society, Hamburg, Federal Republic of Germany* (pp. 3056–3061). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-034315-0.50562-0>
- Hellwig, R. T., Teli, D., & Boerstra, A. A. (2020). The potential of the adaptive thermal comfort concept in long-term actively conditioned buildings for improved energy performance and user wellbeing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588(3), 032069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032069>
- Ijaz, A., Muhammad, A., Hassan Haes, A., & Muhammad Asyraf Mohd, K. (2024). A review on enhancing energy efficiency and adaptability through system integration for smart buildings. *Journal of Building Engineering*, 89, 109354. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109354>
- International WELL Building Institute. (2020). *WELL Building Standard v2* (WELL Standard v2). International WELL Building Institute. <https://standard.wellcertified.com>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2012). *Eficiencia energética en edificios. Clasificación de edificios según su grado de eficiencia energética* (Norma IRAM 11603). IRAM.
- International Organization for Standardization. (1998). *Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities* (ISO 7726). ISO.
- International Organization for Standardization. (2005a). *Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria* (ISO 7730). ISO.
- International Organization for Standardization. (2005b). *Testing and calibration laboratories* (ISO/IEC 17025). ISO.

- Lamberti, G. (2021, septiembre 07-10). *Critical overview of heat balance, adaptive, local discomfort models to predict thermal comfort in buildings* [Sesión de conferencia]. International Conference on Environment and Electrical Engineering, Bari, Italia. <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEUROPE51590.2021.9584714>
- Lamsal, P. R., Bajracharya, S. B., & Rijal, H. B. (2023). Adaptive thermal comfort for energy saving office building design- A literature review. *E3S Web of Conferences*, 396, 01083. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339601083>
- Luther, M., & Ahmed, T. M. F. (2020). Revisiting the Comfort Parameters of ISO 7730: Measurement and Simulation. En *Proceedings of Building Simulation 2019: 16th Conference of IBPSA* (pp. 4267-4273). <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.210983>
- Olsen, A. A. (2024). Indoor Climate. En A. A. Olsen (Ed.), *Applying Physical Ergonomics to Modern Ship Design* (pp. 385-394). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-57974-5\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-57974-5_34).
- Papadopoulos, P. M., Kyprianou, I., Shahid, M. S., Erba, S., Wurtz, F., Delinchant, B., Riederer, P., & Carlucci, S. (2023). Indoor thermal comfort analysis for developing energy-saving strategies in buildings. *International Conference on Future Energy Systems*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/FES57669.2023.10183297>
- Sánchez-García, D., Rubio-Bellido, C., Tristancho, M., & Marrero, M. (2020). A comparative study on energy demand through the adaptive thermal comfort approach considering climate change in office buildings of Spain. *Building Simulation*, 13(1), 51-63. <https://doi.org/10.1007/S12273-019-0560-2>
- Thapa, S., & Pernigotto, G. (2025). Adaptive Thermal Comfort in the Different Buildings of Temperate Climates—Comparison Between High-Latitude Europe and Mountainous Himalayas in India. *Sustainability*, 17(2), 404. <https://doi.org/10.3390/su17020404>
- Yang, L., Wang, F., Zhao, S., Gao, S., Yan, H., Sun, Z., Lian, Z., Lin, D., Zhang, Y., Zhou, X., Cao, B., Wang, Z., & Zhai, Y. (2024). Comparative analysis of indoor thermal environment characteristics and occupants' adaptability: Insights from ASHRAE RP-884 and the Chinese thermal comfort database. *Energy and Buildings*, 309, 114033. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114033>
- Yang, L., Wang, F., Zhao, S., Gao, S., Yan, H., Sun, Z., Lian, Z., Lin, D., Zhang, Y., Zhou, X., Cao, B., Wang, Z., & Zhai, Y. (2023). *Comparative Analysis of Indoor Thermal Environment Characteristics and Occupants' Adaptability: Insights from Ashrae Rp-884 and the Chinese Thermal Comfort Database*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4620400>
- Zhang, J., Ma, L., & Zhao, T. (2011). Progress of Building Environment Thermal Comfort. *Building Thermal Energy Ventilation and Air Conditioning*, 30(1). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0344.2011.01.001>
- Zhao, D., Watari, D., Ozawa, Y., Taniguchi, I., Suzuki, T., Shimoda, Y., & Onoye, T. (2023). Data-driven online energy management framework for HVAC systems: An experimental study. *Applied Energy*, 352, 121921. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121921>