

Estrategias sostenibles para el confort térmico adaptativo. Zonificación bioclimática de la provincia de Córdoba

Sustainable strategies for adaptive thermal comfort. Bioclimatic zoning of the province of Córdoba

Arturo Raúl Maristany 

Gabriela Magalí Arrieta 

Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas (CIAL), Córdoba, Argentina

amaristany@unc.edu.ar - g.arrieta@unc.edu.ar

RESUMEN

El presente estudio investiga el paradigma del confort térmico interior con el objetivo de promover un diseño sostenible en climas templados. La normativa vigente clasifica a la provincia de Córdoba dentro de la categoría de clima templado cálido y sugiere estrategias de diseño generales. Este artículo contrasta investigaciones previas sobre el clima de la provincia, verificando la existencia de micro zonas con características y requerimientos específicos. La metodología incluyó el análisis de variables climáticas y estrategias de diseño mediante datos meteorológicos y diagramas bioclimáticos. Los resultados revelaron la presencia de micro zonas en la provincia, subrayando la necesidad de aplicar estrategias de diseño diferenciadas para cada una. Las conclusiones indican que es posible alcanzar el confort térmico ajustando los criterios de diseño y considerando la adaptación de los usuarios. Se sugiere revisar las normativas actuales para proponer temperaturas óptimas más adecuadas y estrategias de diseño específicas para cada micro zona.

ABSTRACT

This study investigates the paradigm of indoor thermal comfort with the aim of promoting sustainable design in temperate climates. Current regulations classify the province of Córdoba within the category of warm temperate climate and suggest general design strategies. This article contrasts previous research on the climate of the province, verifying the existence of micro zones with specific characteristics and requirements. The methodology included the analysis of climatic variables and design strategies using meteorological data and bioclimatic diagrams. The results revealed the presence of micro zones in the province, highlighting the need to apply differentiated design strategies for each one. The conclusions indicate that it is possible to achieve thermal comfort by adjusting the design criteria and considering the adaptation of users. It is suggested to review current regulations to propose more suitable optimal temperatures and specific design strategies for each micro zone.

PALABRAS CLAVE: Arquitectura sostenible, confort térmico, climatización pasiva.

KEYWORDS: Sustainable architecture, thermal comfort, passive air conditioning.

FECHA DE RECEPCIÓN: 07/06/25 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 22/06/25

INTRODUCCIÓN

En el mundo, los fundamentos y conceptos de la arquitectura están en constante cambio y evolución, pero el diseño arquitectónico en función del clima tomó importancia hace algunos años a partir de la necesidad de construir entornos que requieran menor consumo de recursos y energías en ciudades cada vez más densas.

Luego de la crisis energética mundial del '70 los países desarrollados invirtieron en investigación y desarrollo de planes para la racionalización y reducción del consumo energético. Los pioneros en conseguirlo fueron EEUU, Suecia, Francia y Alemania entre otros. Con el Informe (Brundtland, 1987) se define por primera vez el desarrollo sostenible, como "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones". En este informe se enfrenta y contrasta la postura del desarrollo económico actual junto con el de sustentabilidad ambiental Maristany y Arrieta, (2023). Seguido de ello la agenda 21 y las diferentes convenciones de las Naciones Unidas en el marco del cambio climático y el desarrollo sostenible logran que un grupo significativo de países acuerden hacer todo lo posible por mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C.

Según San Juan, (2013), en el diseño arquitectónico se debe situar al objeto arquitectónico en un tiempo y un espacio determinados, dentro de lo cual entran sus condicionantes climáticos y ambientales entre muchos otros aspectos.

El estudio de las zonificaciones climáticas y estrategias de diseño para cada región, son lineamientos muy trabajados y revisados por investigadores y arquitectos (Czajkowski y Rosenfeld, 1992), (Perone y Cannelli, 1987), (Filippin y Roberto, 1990), aunque no siempre tenidos en cuenta en el ejercicio profesional. En Argentina, se toman de referencia la clasificación climática propuesta por IRAM, aunque no es de aplicación obligatoria.

El confort térmico adaptativo es aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y que puede alcanzarse a través de medios pasivos. En los climas denominados templados, es decir que no tienen condiciones extremas durante ningún momento del año, el rol del usuario es fundamental para que los espacios interiores alcancen confort sin requerir de forma constante medios mecánicos de climatización. La posibilidad de reducir el consumo de energía en climatización se considera de forma inequívoca en climas extremos, pero los templados requieren una flexibilidad que puede o no ser tenida en cuenta desde el diseño.

La amplitud térmica que presenta la región de estudio es una característica poco estudiada en cuanto al diseño arquitectónico para su aprovechamiento. Pero está demostrado Arrieta, (2023) que, si se conocen las variaciones térmicas y se aprovechan criteriosamente, podría conseguirse confort constante, sin dejar de recurrir de forma permanente a la adaptación de las viviendas y de sus usuarios.

La arquitectura a lo largo de la historia se ha adaptado para dar respuesta a los diversos desafíos climáticos, enfocándose principalmente en climas extremos debido a que sus condiciones dificultan la vida en espacios construidos. En contraste, los climas intermedios o no extremos, han recibido menos atención en el diseño y construcción de espacios habitables por ser más benignos. Estos climas, comunes en el hemisferio sur, carecen de estrategias estandarizadas para edificios y dependen del comportamiento de los usuarios y su capacidad de adaptación. Los modelos adaptativos consideran las condiciones exteriores para calcular la temperatura de confort, pero en estos climas también se deben considerar aspectos como la operabilidad de la envolvente adaptativa para alcanzar una temperatura de confort que se ajuste al clima, aprovechando la capacidad de adaptación de los usuarios (Maristany & Arrieta, 2023).

ANTECEDENTES

Cuando se determina la clasificación climática de una región, se define cuáles serán los lineamientos generales o estrategias de diseño arquitectónico que se recomendarían considerar en la construcción. En el caso de los climas extremos, son conocidas y generalmente utilizadas las estrategias necesarias para que los espacios construidos sean amigables con el clima reduciendo los valores de consumo energético en, por ejemplo, acondicionamiento térmico.

La provincia de Córdoba, se define según la norma IRAM casi en su totalidad dentro del clima templado cálido, la capital de la provincia se ubica dentro de la zona bioambiental IIIa. El clima de dicha zona se describe templado moderado con cuatro estaciones bien definidas, de inviernos no muy fríos y poco lluviosos, los veranos son húmedos, con días calurosos y noches frescas. En primavera soplan vientos principalmente del norte y el noreste. En el verano frecuentemente se producen tormentas eléctricas e incluso granizo (IRAM 11603, 1996).

El estudio de las variables relevadas de cada una de las estaciones climáticas de la provincia de Córdoba, permitió profundizar en la posible subdivisión bioclimática de la provincia basada en el estudio de las condiciones microclimáticas particulares, que va más allá de las regiones propuestas por IRAM (Arturo Raul Maristany, 2000).

La superposición de las isolíneas de grados día, que representa la carga térmica de invierno, con las isolíneas de temperatura eficaz de un día de verano, da origen a la zonificación bioclimática propuesta por IRAM. Tanto los grados día, como la temperatura eficaz de verano, varían principalmente con la latitud y la altitud. La IRAM define seis zonas bioambientales. Por otro lado, cada una de las zonas se divide en subzonas dependiendo de la amplitud térmica en verano. Las divisiones en cada zona se dan en coincidencia con las isolíneas de 14 y 18°C.

De acuerdo al criterio seguido por IRAM para la definición de las zonas bioambientales, la región en estudio quedaría comprendida entre las regiones IIa y IIIa, esto es con las siguientes características:

ZONA II – Cálida: Tiene por límites las isolíneas de TEC 26.3 y 24.5°C. El verano es la estación crítica, la temperatura media supera los 24°C y la máxima es superior a los 30°C. El invierno es seco, con bajas amplitudes térmicas y temperaturas medias entre 8 y 12°C. Se recomienda el uso de colores claros en paredes exteriores y techos, gran aislación térmica y protección de la radiación solar. Evitar las orientaciones este y oeste y promover la ventilación cruzada.

ZONA III – Templada Cálida: Esta limitada por las isolíneas de TEC 24.6 y 22.9°C. El verano es relativamente caluroso y presenta temperaturas medias entre 20 y 26°C, con máximas que superan los 30°C. El periodo invernal no es muy frío con mínimas que rara vez alcanzan los 0oC. Se recomienda buena aislación en toda la envolvente, recomendándose el doble de aislación en techos respecto de muros. La relación superficie opaca con vidriada no deberá superar el 20%. Se recomienda el uso de edificios agrupados y la inercia térmica. Evitar la orientación oeste. Ventanas con protección solar.

Si bien los lineamientos generales de la zonificación son adecuados a la zona en estudio, un análisis pormenorizado de la situación climática de la provincia permitiría adaptar la regionalización manteniendo el criterio adoptado por IRAM para la definición de las zonas (Arturo Raul Maristany, 2000). De acuerdo a esta metodología se analizaron las distintas regiones planteadas previamente, a partir de los grados día, TEC y amplitud térmica.

En la tabla 1 se sintetizan los resultados expresando la zona bioclimática en la cual realmente se encuadraría cada región de la provincia. Las diferencias climáticas determinadas en el análisis de cada zona, justifican la necesidad de determinar estrategias de control energético diferenciadas, con relación

a la necesidad o no de calefacción pasiva, convencional, enfriamiento, ventilación natural o mecánica, etc. Adquiriendo cada una de estas estrategias, mayor o menor importancia dependiendo de la región de la que se trate.

A través del estudio de variables climáticas en cada una de las estaciones meteorológicas de la provincia de Córdoba, el trabajo permitió profundizar en una posible subdivisión bioclimática de la provincia, basada en el estudio de condiciones microclimáticas particulares.

Tabla 1. Tipos climáticos de Córdoba y estrategias.

Tipo	Tipo de clima	Estrategias invierno	Estrategias verano	Estaciones consideradas	Zona IRAM
1	Seco, Semidesértico, déficit de agua, sin invierno térmico	-	Enfriamiento evaporativo directo, ventilación natural y mecánica	Quillino, Cruz del eje, Villa Dolores	IIa GD 390-780 TE = 24.6-26.3°C Cálido
2	Semi húmedo	-	Inercia térmica y ventilación natural	Córdoba, Pilar, Río tercero, Bell Ville, Marcos Juarez, San Francisco, Embalse.	
3	Semiseco con invierno Térmico	Calefacción pasiva	Ventilación natural	Laboulaye, Huinca Renanco, Río Cuarto	IIIa GD 780-1170 TE = 23.9-24.6°C Templado Cálido
4	Clima Tórrido, Seco en invierno sin invierno térmico	-	Ventilación Natural y mecánica	Villa María, Miramar, Ceres	Ia GD <390 TE = 26.3°C Muy Cálido
5	Semi Húmedo con invierno y sin verano	Calefacción pasiva y convencional	Ventilación natural	La viña, Ascochinga, Huerta grande, Santa María, Pisco Huasi	IVa GD 1170-1950 TE = 22.3-23.9°C
6		Calefacción pasiva y convencional		Región de las sierras grandes sin datos climáticos.	Templado Frío

Fuente: Maristany (2000).

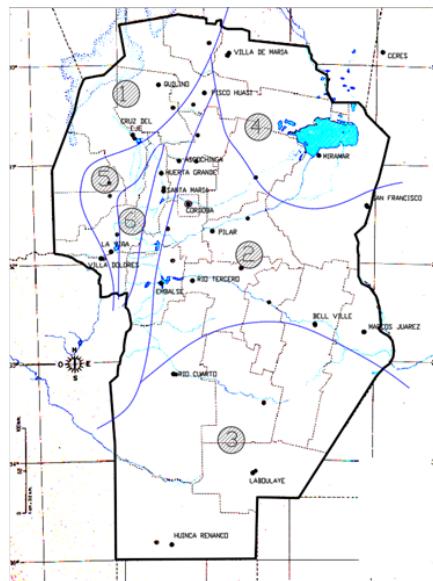


Figura 1. Zonificación según Maristany (2000).

En la investigación desarrollada por Arrieta (2023), se aborda un análisis similar a partir de clasificaciones climáticas conocidas. Luego del análisis de las diferentes clasificaciones, se logra un estudio entre las zonas bioclimáticas propuestas por IRAM, y la clasificación climática según Köppen (figura 2).

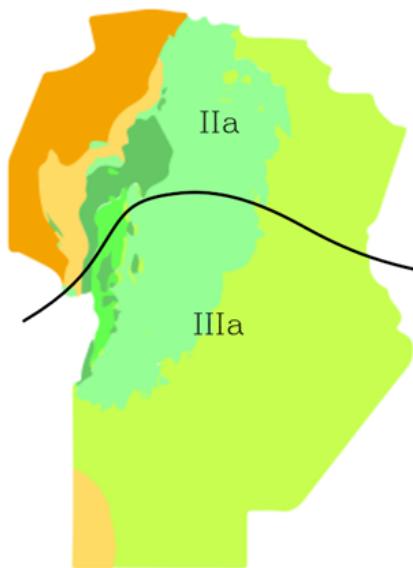


Figura 2. Zonificación en la provincia de Córdoba vinculando la clasificación IRAM y Köppen (Arrieta, 2023).

DESARROLLO

A medida que se superponen diferentes clasificaciones o zonificaciones, algunas coincidencias quedan a la vista, pero otras sub zonas surgen, haciendo una diferenciación más fina que sería de gran utilidad a la hora de definir recomendaciones de diseño para cada región.

Con el objetivo de definir una posible regionalización micro-bioclimática de la Provincia de Córdoba, con las consiguientes recomendaciones específicas de diseño, se analizaron las variables climáticas a partir del diagrama de estrategias bioclimáticas de las estaciones de regiones más o menos homogéneas, basadas en los estudios indicados.

Resultando de este análisis, la definición de 7 regiones de características similares desde el punto de vista bioclimático. Dicha subdivisión, mantiene una significativa coincidencia con subdivisión climática de Köppen y a su vez, coherencia con la zonificación climática propuesta por la normativa, hasta podría comprenderse como una zonificación más detallada y ajustada de las regiones establecidas por norma. Las 7 zonas poseen características diferentes y por lo tanto también recomendaciones de diseño diferentes para los espacios construidos para ser habitados.

En las tablas 2 a 8 se indican para cada región detectada los lineamientos generales referidos al análisis climatológico y recomendaciones generales de diseño.

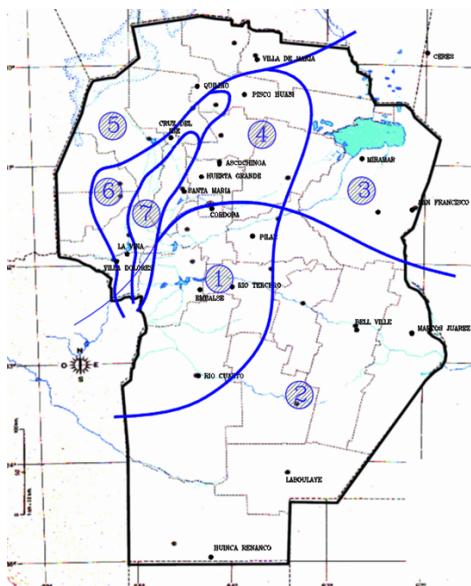


Figura 3. Zonificación propuesta de la provincia de Córdoba

Tabla 2. Caracterización Región 1.

Región 1	Dominio semi-seco.
Análisis Climatológico	Elemento climático característico a resolver: amplia oscilación térmica Posee poca precipitación pluvial y humedad relativa media anual de 62% Viento predominante del noroeste todo el año
Recomendaciones Generales	Se deberá tender a desarrollar conjuntos edilicios compactos orientados a la conservación de las condiciones interiores. Uso de materiales de buena inercia térmica Uso de vegetación caduca que permita la ventilación natural y la humidificación de los vientos dominantes del noroeste. Construcción de espacios cubiertos exteriores al norte y oeste. Aprovechamiento de la ganancia solar directa en invierno y protección de la misma en verano.

Fuente: Autorizada.

Tabla 3. Caracterización Región 2

Región 2	Domino semi-seco con invierno térmico, de llanura
Análisis Climatológico	De temperaturas variables, pero nunca extremas. Templado Cálido semiseco con grandes amplitudes térmicas. El verano es la estación crítica, con valores de temperatura media mayores que 24 °C y temperatura máxima mayor que 30 °C. Precipitaciones uniformes a lo largo de todo el año.
Recomendaciones Generales	Se recomienda la aislación térmica en techos y paredes orientadas al E y O. Proteger las superficies de la incidencia de la radiación solar, evitar los avenantamientos E y O y favorecer la ventilación natural. Si bien en esta zona, el invierno reviste limitada importancia, se recomienda considerar la calefacción pasiva.

Fuente: Autorizada.

Tabla 4. Caracterización Región 3

Región 3	Dominio semi-seco, sin invierno térmico, de llanura
Análisis Climatológico	Vientos E y NO potencialmente útiles para enfriamiento en verano Importante frecuencia de viento S en invierno Humedad relativa anual del 70%, en el límite superior de los márgenes de confort.
Recomendaciones Generales	Control de las temperaturas de verano mediante el recurso del enfriamiento evaporativo indirecto. Orientación de los locales con doble orientación norte-sur, para favorecer la ventilación cruzada. Uso de grandes aberturas protegidas de la radiación. Uso de materiales de alta inercia térmica y resistentes a la humedad. Uso de barreras vegetales o artificiales para proteger del viento sur en invierno. Uso de aleros, galerías y pérgolas perimetrales en todas las fachadas. Uso de cubiertas inclinadas con aleros Uso de vegetación caduca de gran porte en el entorno del edificio, destinada a sombrear espacios abiertos y permitir el asoleamiento de invierno. Uso de la fachada norte como captador de energía solar en invierno con acumulación en masa térmica.

Fuente: Autorizada.

Tabla 5. Caracterización Región 4

Región 4	Dominio semi-húmedo, con invierno sin verano, tipo Ascochinga
Análisis Climatológico	Bajas temperaturas durante casi todo el año. Humedad relativa media de 65%, considerada dentro de los márgenes de confort Viento predominante al norte todo el año. Vientos secundarios del este en verano y del sur en invierno.
Recomendaciones Generales	Uso de sistemas pasivos de calefacción: ganancia directa y/o indirecta Protección de los vientos del norte con topografía y vegetación. Uso de aberturas al norte y noroeste. Orientación óptima NNE, mayor posibilidad de captación en invierno. Uso de materiales pesados, <u>texturados</u> y colores <u>semioscuros</u> . Uso de Sistemas de protección, aleros, en verano.

Fuente: Autorizada.

Tabla 6. Caracterización Región 5

Región 5	Dominio estepario cálido sin invierno térmico, con baja amplitud térmica.
Análisis Climatológico	Elevadas temperaturas en verano Amplia oscilación térmica Presenta poca precipitación pluvial y humedad relativa anual de 55% Vientos dominantes norte y del este, este último potencialmente útil para enfriamiento en verano.
Recomendaciones Generales	Recurrir a los vientos de verano para enfriamiento Humidificar con masas de agua y aspersores en verano. Enfriamiento evaporativo directo. ProTEGER en invierno de los vientos este y sudeste Evitar el asoleamiento de la fachada norte en verano. Desarrollo de aleros de protección. Evitar aberturas con orientación oeste Utilizar colores claros al exterior Facilitar ventilación cruzada. Incorporar masa térmica para reducir amplitudes interiores Edificio cerrado al exterior y abierto a patios sombreados y húmedos Mantener eje este-oeste para orientación principal de los edificios. Control de la radiación directa y difusa. Uso de pórticos y espacios intermedios en fachadas norte, este y oeste.

Fuente: Autorizada.

Tabla 7. Caracterización Región 6

Región 6	Dominio semiárido, con invierno sin verano, y baja amplitud térmica.
Análisis Climatológico	Clima semiárido, estepario y frío, temperatura media anual inferior a 18 °C y las precipitaciones pueden estar entre 200 y 500 mm aproximadamente.
Recomendaciones Generales	Calefacción pasiva y convencional Tanto en la orientación como en las necesidades de ventilación, por tratarse de una zona templada, las exigencias pueden ser menores. Se recomienda el diseño de ventilación natural, y que las aberturas están provistas de sistemas de protección a la radiación solar. En cuanto al invierno, se recomienda el diseño que contemple la posibilidad de calefacción pasiva y convencional en caso de necesitar.

Fuente: Autorizada.

Tabla 8. Caracterización Región 7

Región 7	Dominio templado húmedo, con inviernos secos
Análisis Climatológico	Con bajas amplitudes térmicas anuales, es un clima templado húmedo de montaña.
Recomendaciones Generales	Se recomienda el diseño que contemple la posibilidad de calefacción pasiva y convencional en caso de necesitar. Aprovechamiento de la ganancia solar directa en invierno y protección de la misma en verano.

Fuente: Autorizada.

CONCLUSIONES

El estudio del confort térmico adaptativo en el clima templado cálido de Córdoba, Argentina, resalta la importancia de un diseño arquitectónico consciente del clima y adaptable a sus variaciones térmicas diarias. El confort térmico adaptativo en climas templados cálidos requiere un enfoque de diseño flexible y consciente del entorno, que integre estrategias pasivas y la participación activa de los usuarios, promoviendo la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

El diseño en el clima templado cálido, que a diferencia de los climas extremos han recibido menos atención en términos de estrategias de diseño estandarizadas, requiere la posibilidad de una constante adaptación para alcanzar el confort térmico interior, aprovechando tanto las características climáticas como la capacidad de adaptación de los usuarios. Lo que lleva a considerar el rol fundamental del usuario en estos climas, posibilitando alcanzar el confort térmico principalmente a través de medios pasivos y la interacción activa de los usuarios con su entorno. La correcta gestión de la envolvente edilicia y el aprovechamiento de las variaciones térmicas exteriores son cruciales para mantener el confort sin depender de la climatización mecánica.

La zonificación climática detallada en el presente artículo, ha permitido identificar micro zonas con características específicas, lo cual subraya la necesidad de estrategias de diseño diferenciadas para cada región. Este enfoque puede mejorar la eficiencia energética y el requerimiento de confort térmico en las distintas áreas de la provincia.

El estudio justifica la idea de que en climas con grandes amplitudes térmicas, es posible alcanzar el confort térmico ajustando los criterios de diseño y considerando la adaptación de los usuarios. Esto incluye establecer rangos de confort diferenciados para invierno y verano, y reconocer que las personas pueden tolerar variaciones térmicas sin perder la sensación de confort, sobre todo en este tipo de climas. Los estudios sugieren la necesidad de revisar las normativas actuales sobre temperaturas óptimas de confort. En el contexto de Córdoba, se proponen temperaturas óptimas de 19,6 °C en invierno y 27,4 °C en verano, en contraste con los valores tradicionales de 21 °C y 24 °C, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Arrieta, G. M. (2023). Confort térmico adaptativo residencial para el clima templado cálido. Caso de estudio: Córdoba, Argentina.
- Arturo Raul Maristany. (2000). Regionalizacion bioclimatica de la provincia de cordoba, Argentina. Pautas para la optimizacion energetica de los edificios. Universidad internacional de Andalucia. Santa maria de la Rabida. España.
- Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. Documentos de Las Naciones Unidas. Asamblea General, 416. Retrieved from <https://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>
- Czajkowski, Jorge Daniel y Rosenfeld, Elías (1992) Regionalización bioclimática de la provincia de Buenos Aires. 15a Reunión de Trabajo de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) en San Fernando del Valle de Catamarca.
- Filippin, C y Roberto, Z. (1990) "Determinación de áreas geográficas homogéneas para el desarrollo de proyectos sociales en base a técnicas estadísticas multivariadas". XIV Reunión de Trabajo de ASADES. Mendoza.
- D.Perone y N.Cannelli. "Clasificación bioclimática de la región NEA". (1987) Actas de la 12a. Reunión de Trabajo de ASADES. Buenos Aires.
- IRAM 11603. (1996). IRAM 11603: Acondicionamiento térmico en edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Norma Argentina.
- Maristany, A. R., & Arrieta, G. M. (2023). Thermal Adaptation in Non-Extreme Climates to Potentially Reduce Energy Consumption. In L. M. Restrepo, A. P. Fargallo, M. B. Piderit Moreno, M. Trebilcock Kelly, & P. Wegertseder Martinez (Eds.), *Removing comfort in environmental barriers to the global south* (pp. 145–155). https://doi.org/10.1007/978-3-031-24208-3_11
- San Juan, G. A. (2013). Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico. Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico. <https://doi.org/10.35537/10915/45124>