

El microclima del entorno en el desempeño termoenergético residencial dentro del Gran Corrientes, Argentina. El efecto mitigador del monte nativo

Alvaro Di Bernardo

Arquitecto (Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste - FAU UNNE-, 2008). Magister en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética (Universidad del Bío Bío, Chile, - UBB -, 2014). Doctor en Arquitectura (Universidad de Mendoza - UM -, 2017). Docente de grado y posgrado, Investigador (Categoría IV SPU-CIN-MECyT) y Extensionista de la FAU UNNE.

E-mail: alvarodibernardo@hotmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6598-6155>

Celina Filippín

Arquitecta (Universidad Nacional de La Plata, 1977). Magíster en Energías Renovables (2000) y Doctora en Ciencias – Energías Renovables (2005) por la Universidad Nacional de Salta, Argentina. Investigadora Principal del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y profesora de posgrado en diversas Universidades Nacionales. Fue miembro del Comité Ad-hoc de Hábitat y miembro de la Junta de Calificación del CONICET.

E-mail: cfilippin@cpenet.com.ar

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0521-6180>

Herminia María Alías

Arquitecta (Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional del Nordeste -FAU-UNNE-, 1998). Doctora en Arquitectura (Facultad de Arquitectura. Diseño y Urbanismo de la Universidad Nacional del Litoral -FADU-UNL-, 2020). Magíster en Gestión Ambiental (FAU-UNNE, 2003). Magíster en Docencia Universitaria (Facultad de Humanidades de la UNNE, 2018) y Especialista en Docencia Universitaria (Fac. Humanidades-UNNE, 2005). Investigadora Asistente del CONICET en el Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y del Hábitat Humano (IIDTHH). Profesora Adjunta (FAU-UNNE). Docente de posgrado. Investigadora Categorizada “DOS” -II- (SPU-CIN-MECyT). Vicedirectora del Instituto para el Desarrollo de la Eficiencia Energética en la Arquitectura (IDEEA) de la FAU-UNNE.

E-mail: heralias@arq.unne.edu.ar

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1265-6299>



Alvaro Di Bernardo
Herminia María Alías
Celina Filippín

CUADERNO URBANO
ESPACIO, CULTURA, SOCIEDAD

ARTÍCULO

VOL. 37- N.º 37
(MAYO DE 2024)
PP. 099-0118
ISSN1666-6186



El microclima del entorno en el desempeño termoenergético residencial dentro del Gran Corrientes, Argentina. El efecto mitigador del monte nativo

Resumen

Se evalúa la influencia del microclima del entorno físico en el comportamiento termo-energético residencial. Se consideran tres entornos próximos dentro del Gran Corrientes: urbano densificado, suburbano desmontado y suburbano con monte nativo. Se registran, mediante sensores externos, los datos de Temperatura y Humedad Relativa durante el período estival más caluroso del 2022. Se simula, para estos tres entornos, el comportamiento termo-energético de una vivienda mediante EnergyPlus, manteniendo inalterables: su morfología/orientación, tecnología constructiva, factor de uso y sistema de climatización. Los resultados demuestran mayor consumo energético con mayor porcentaje de discomfort higro-térmico residencial en un entorno urbano densificado, seguido por el suburbano desmontado, revelando mejores condiciones en el entorno con monte nativo. Se evidencia el efecto mitigador de la vegetación sobre el microclima del entorno físico, que repercute positivamente en el comportamiento termo-energético de la vivienda. Se señala la necesidad de conservar el monte en el diseño de nuevas urbanizaciones.

Palabras clave

urbanizaciones, vegetación, recursos energéticos.

The microclimate of the environment in residential thermo-energetic performance within gran Corrientes, Argentina. The mitigating effect of the native forest

Abstract

The influence of the microclimate of the physical environment on residential thermo-energetic performance is evaluated. Three nearby environments are considered in Gran Corrientes: densified urban, cleared suburban, and suburban with native forest. Temperature and Relative Humidity data are recorded by external sensors during the hottest 2022 summer period. For these three environments, the thermo-energetic performance of a house is simulated by EnergyPlus, keeping unchanged: its morphology/orientation, construction technology, use factor and air conditioning system. The results show a higher energy consumption with a higher percentage of residential hygro-thermal discomfort in a densified urban environment, followed by the cleared suburban, revealing better conditions in the presence of native vegetation. The mitigating effect of the vegetation on the microclimate of the physical environment is evident, which has a positive impact on the thermo-energetic performance of the house. The need to conserve the native forest in the design of new developments is pointed out.

Keywords

urbanizations, vegetation, energy resources.

O microclima do ambiente no desempenho termo-energético residencial no gran corrientes, argentina. O efeito mitigador da floresta nativa

Resumo

Avalia-se a influência do microclima do ambiente físico no comportamento termo-energético residencial. Três ambientes próximos são considerados dentro do Gran Corrientes: urbano adensado, suburbano desmatado e suburbano com floresta nativa. Os dados de Temperatura e Umidade Relativa são registrados através de sensores externos durante o período mais quente do verão de 2022. O comportamento termo-energético de uma casa é simulado para esses três ambientes usando o EnergyPlus, mantendo inalterados: a sua morfologia/orientação, tecnologia construtiva, fator de uso e sistema de ar condicionado. Os resultados demonstram maior consumo de energia com maior percentual de desconforto higrotérmico residencial em ambiente urbano adensado, seguido do suburbano desmatado, revelando melhores condições no ambiente com floresta nativa. Evidencia-se o efeito atenuante da vegetação no microclima do ambiente físico, o que tem um impacto positivo no comportamento termo-energético da moradia. Aponta-se a necessidade de conservação da floresta no desenho de novas urbanizações.

Palavras-chave

urbanizações, vegetação, recursos energéticos.

Introducción

El entorno en el que se implantan los edificios se reconoce como un factor incidente en la calidad de vida de las personas, resultando ineludible su consideración en una evaluación de desempeño ambiental, en general, y de comportamiento térmico-energético edilicio, en particular. El entorno incide significativamente en el microclima de un lugar. De esta manera, ciertos parámetros como la radiación solar, el viento, la temperatura, la humedad del aire y las precipitaciones se ven afectados por condiciones generadas por la presencia y características de la vegetación existente, los espejos de agua, la topografía, o la propia forma y materialidad urbana, entre otros.

Contemplar estos factores resulta complejo; sin embargo, desconocerlos implica una consideración parcializada del desempeño termo-energético de los edificios, ya que están en intercambio permanente con su entorno circundante. Como observa Mastronardi, Sfeir y Sánchez (2016), 1°C de aumento de la temperatura del entorno podría significar un incremento de 1.8% a un 3.2% de la demanda energética edilicia, mientras que en invierno 1°C menos incrementaría la demanda entre un 0.3% y un 0.6%. Este aumento de la demanda energética podría responder a la acumulación de equipos climatizadores para el acondicionamiento térmico de los espacios (GANEM Y BAREA, 2019; DARHANPÉ, 2020).

El estudio de la influencia del microclima del entorno físico en el desempeño termoenergético edilicio es importante en el contexto de creciente expansión periférica que registran las ciudades latinoamericanas (POLLIOFFO ET AL., 2019). Aumento acelerado de urbanizaciones sobre áreas rurales y tierras fértiles,

caracterizadas por bajas densidades, alta dispersión y discontinuidades con la trama urbana más consolidada (MPFIPyS, 2011) que impactan sobre los sistemas circundantes, el suelo y sus recursos hídricos superficiales y subterráneos (DI PACE, 2004).

La ciudad de Corrientes (Argentina) no es ajena a estas transformaciones: su trama urbana se ha ido expandiendo hacia sus márgenes y localidades cercanas, dentro del área metropolitana del Gran Corrientes¹ (Figura 1). En la década de 1990 se inició un proceso de subdivisión de parcelas rurales y desarrollo de urbanizaciones que, a partir del 2000, aumentaron en cantidad y tamaño, muchas con el formato de barrios cerrados. Este proceso es resultado del funcionamiento del mercado inmobiliario, en el que la especulación se propaga desde el centro y los barrios de alta renta hacia la periferia, presionando el suelo residencial al suelo de uso productivo (LÓPEZ ET AL., 2018). Estas transformaciones espaciales sobre el suelo periurbano y rural de Corrientes provocaron diversos impactos: modificación de la morfología del terreno y del sistema de escurrimiento natural, pérdida de bosques y cobertura vegetal, contaminación de espejos de aguas y napas, entre otros (LÓPEZ, ARCE Y ALBERTO, 2015), que afectan a las características microclimáticas de las áreas periféricas.

En este marco, es intención del trabajo focalizar en la variabilidad microclimática que se produce en distintos entornos físicos del Gran Corrientes, atendiendo específicamente a su influencia sobre el desempeño

1. Gran Corrientes: aglomerado formado por la ciudad de Corrientes Capital y las localidades del Municipio Capital (Laguna Brava y Barrio Esperanza) junto con las localidades cercanas de Riachuelo y Santa Ana (López et al, 2018).

El microclima del entorno en el desempeño termoenergético residencial dentro del Gran Corrientes, Argentina. El efecto mitigador del monte nativo

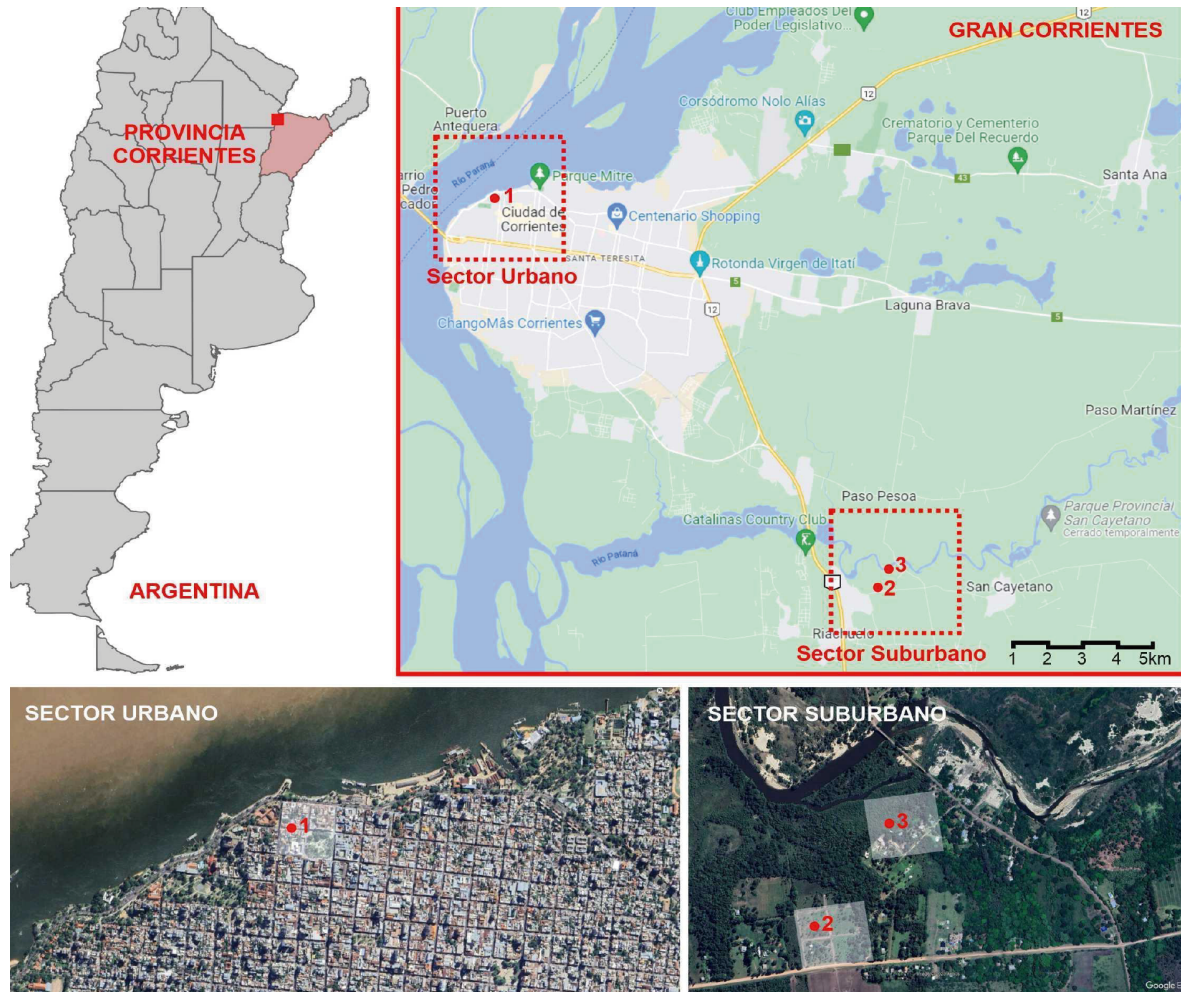


Figura 1: Área del Gran Corrientes y ubicación de los entornos analizados. **Referencias:** 1- Urbano, 2-Suburbano desmontado, 3-Suburbano con monte nativo. **Fuente:** Elaboración autores.

térmico-energético residencial. Para ello, en una primera instancia, se analiza comparativamente el microclima de tres escenarios de implantación habitacional: zona urbana densificada, zona sub-urbana desmontada para nueva urbanización, y sector suburbano con predominio de monte nativo. A partir de estos datos, en una segunda instancia, se evalúa el desempeño termoenergético en período estival de una vivienda tipo en los tres microclimas analizados. Finalmente, se presentan reflexiones sobre el efecto moderador de la vegetación en el microclima del entorno físico y sus beneficios sobre las condiciones de habitabilidad edilicia, en sus aspectos térmicos y energéticos.

Metodología

Como metodología, el trabajo contempla dos estrategias para cada una de las instancias mencionadas que se describen, a continuación, en los puntos: 2.1. Análisis microclimático de tres entornos habitacionales; y 2.2. Análisis del desempeño termoenergético de una vivienda tipo.

Instancia 1: análisis microclimático de tres entornos habitacionales

Para el análisis microclimático de los tres escenarios de implantación habitacional se identificaron tres entornos ambientalmente diferentes, contenidos dentro del Gran Corrientes: urbano densificado, suburbano desmontado y suburbano con monte nativo (Figura 1).

El urbano densificado, vinculado con un área céntrica de Corrientes, es un entorno caracterizado por edificios históricos de hasta tres plantas en altura (9 metros), calles asfaltadas, presencia de árboles en las aceras y la cercanía al río Paraná (Figura 2).

Para el suburbano desmontado se seleccionó una nueva urbanización privada a 15 km del centro de Corrientes en la localidad de Riachuelo, en donde se están realizando aperturas de calles enripiadas y se ha desmontado gran parte de la vegetación nativa, conservando únicamente palmeras y árboles de mayor porte (Figura 3).

En el caso del suburbano con monte nativo, también en Riachuelo, se trata de un sector que conserva parte de la vegetación autóctona, próximo al río homónimo de esta localidad (Figura 4). Es un monte de ribera de conformación cerrada que pertenece a la subregión Chaco Húmedo de la Ecorregión del Parque Chaqueño² donde predominan especies como el timbó colorado (*Enterolobium contortisiliquum*), el lapacho rosado (*Tabebuia heptaphylla*), el guayaibí (*Patagonula americana*), el espina de corona (*Gleditsia amorphoides*), el laurel blanco (*Ocotea diospyrifolia*), el ombú (*Phytolacca dioica*), el pindó (*Syagrus romanzoffiana*) y el urunday (*Astronium balansae*). Abundan, además, numerosas trepadoras y epífitas (Ginzburg I y Adámoli, 2006). Este monte nativo está catalogado como de Conservación Alta (Categoría 1) según el Ministerio de Producción, Trabajo y Turismo de la Provincia de Corrientes (s.f.).

Para monitorear la variabilidad microclimática, se instalaron estaciones fijas adquisidoras de datos en cada uno de los sectores seleccionados, programados para registrar las condiciones de temperatura y humedad relativa (HR) cada una hora durante el período estival comprendido entre el 1 de enero de 2022 y el 28 de enero de 2022. Cabe aclarar que esta etapa se corresponde con los días más calurosos del período

2. La región Parque Chaqueño ocupa el 22% de la superficie de Argentina, siendo la región forestal más grande del país (SAyDS, 2005).

El microclima del entorno en el desempeño termoenergético residencial dentro del Gran Corrientes, Argentina. El efecto mitigador del monte nativo



Figura 2: Sector urbano densificado. **Figura 3:** Sector suburbano desmontado. **Figura 4:** Sector suburbano con monte nativo. **Figura 5:** Estaciones de adquisición de datos de temperatura y HR. **Fuente:** Elaboración autores.

anual durante el cual, además, se han registrado las temperaturas máximas a nivel país (DIARIO EL LITORAL, 22 DE ENERO DE 2022). Las estaciones utilizadas son del tipo Hobo Data Logger (U12-013) con dos canales internos de temperatura y HR. Los sensores se colocaron a una altura de 1,5 metros desde el nivel de sue-

lo dentro de una caja perforada de PVC, siguiendo el procedimiento detallado en Castillo et al (2018) y Ruiz (2013), para evitar que sean alcanzados por la radiación solar, permitir una adecuada circulación de aire alrededor de los sensores y proteger los componentes electrónicos de la lluvia (Figura 5).

Los valores de irradiancia solar, velocidad/dirección de viento, y presión barométrica durante el período de monitoreo fueron tomados mediante una estación meteorológica (marca Daza DZ-WH 2900) posicionada en una zona urbana abierta y libre de obstáculos de la ciudad de Corrientes (equivalente al entorno “suburbano desmontado”). Con los datos de temperatura y HR auditados simultáneamente durante el período de monitoreo en cada uno de los tres entornos, y con los datos de irradiancia solar, velocidad y dirección de viento y presión barométrica, auditados mediante la estación meteorológica (en el entorno “suburbano desmontado”), se editó un archivo de clima disponible (de extensión “EPW” -Energy Plus Weather Files-DOE, s.f.) de la ciudad de Corrientes, del cual se generaron tres nuevos archivos, uno para cada situación de entorno auditada. El proceso para generar cada uno de los tres diferentes archivos climáticos, correspondientes a las tres situaciones de entorno, consistió en reemplazar en el mencionado archivo de clima de

Corrientes –y para cada día del período de monitoreo definido– los valores meteorológicos medidos in situ de las variables de interés (temperatura ambiente exterior y humedad relativa exterior), realizando el procedimiento tres veces, una por cada situación de entorno, ya que en cada una existieron variaciones de dichas variables.

Para incorporar, en la edición de los archivos climáticos, las variaciones de irradiancia solar, ante la imposibilidad de contar con tres estaciones meteorológicas para auditar simultáneamente los tres entornos, la irradiancia solar en el entorno urbano y en el suburbano descampado se consideró inalterable por su proximidad y grado de apertura al cielo abierto (SGE, 2019). En cambio, para incorporar las diferencias que podrían existir en la irradiancia en el entorno suburbano con monte nativo se realizó una corrección (reducción) de los valores de irradiancia en un 80%, respecto de los valores medidos en el entorno urbano

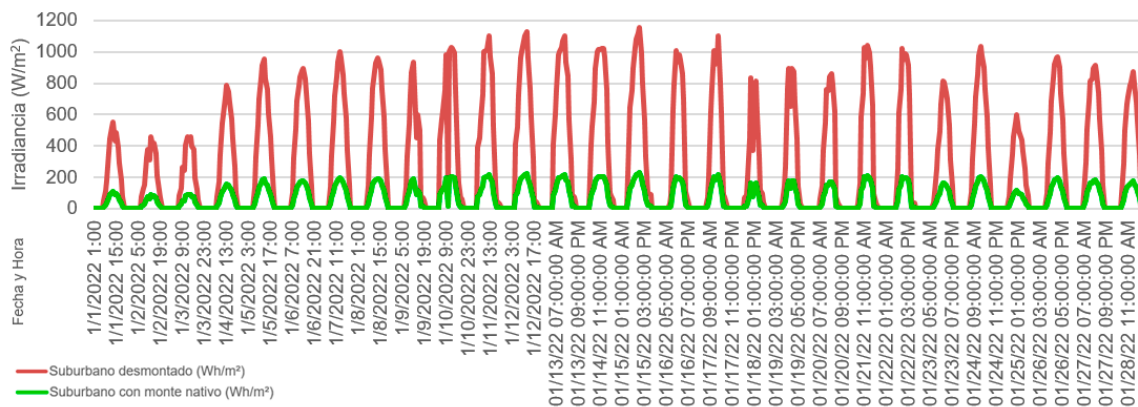


Figura 6: Irradiancia (Wh/m²) en el período monitoreado en el entorno descampado y corrección de valores para el entorno con monte nativo.
Fuente: Elaboración autores.

El microclima del entorno en el desempeño termoenergético residencial dentro del Gran Corrientes, Argentina. El efecto mitigador del monte nativo

desmontado (Figura 6), porcentaje que se encuentra dentro del rango de transmisividades (75 - 90%) realizado por Huang et al (1987) en la sombra del edificio. Este porcentual de reducción de irradiancia fue corroborado mediante mediciones instantáneas realizadas con la estación meteorológica en horario de mediodía, desplazándosela desde una situación bajo sol pleno (situación de entorno desmontado) a otra situación, casi en simultáneo, bajo sombra parcial (aportada por la cobertura vegetal).

Instancia 2: análisis del desempeño termoenergético de una vivienda tipo

En cuanto al análisis termo-energético de la vivienda tipo, se utilizó como herramienta de simulación el software Energy Plus versión 8.4 (Department of Energy – DOE-, 2015). El modelo de simulación de la vivienda se graficó y caracterizó con el plugin OpenStudio, versión 1.10 (NREL, 2015) para SketchUp.

El modelo de vivienda utilizado se corresponde con un prototipo construido en serie por el Instituto de Vivienda de Corrientes (así como por los institutos de vivienda de las otras provincias del NEA: Chaco, Misiones y Formosa, bajo distintas denominaciones), a través de diferentes iniciativas gubernamentales desde 2004 hasta la actualidad, y tanto en localidades del interior como de la capital provincial, constituyendo grupos pequeños de viviendas (de entre veinte y cien unidades). Estos grupos, en la ciudad capital de Corrientes, se ubican casi siempre próximos a los límites o bordes del conglomerado urbano, en sectores periurbanos y/o periféricos. El 54% de las viviendas ejecutadas mediante operatorias oficiales en los cuatro centros urbanos cabecera del nordeste argentino (Resistencia, Corrientes, Misiones y Formosa), en el periodo 2005 – 2014, corresponde a este prototipo

(CONSEJO NACIONAL DE LA VIVIENDA, 2017), lo que determina la representatividad que respalda su selección. Se desarrolla en planta baja, con una superficie cubierta de 45 m² y una volumetría compacta. Aplica el recurso de la simetría, generando dos unidades apareadas, cada una en lotes contiguos. Su materialidad está dada por techos metálicos con cielorrasos de madera machimbrada, acompañando pendiente y aislación térmica mínima (espuma de polietileno de 5 mm de espesor), muros exteriores de ladrillos comunes macizos sin revoques (de 16 cm. de espesor) y por carpinterías de madera (con postigos exteriores) (Figura 7).

Con el objetivo de visualizar y cuantificar la influencia del entorno en el comportamiento termo-energético de la vivienda, se simuló el prototipo en cada uno de los tres entornos monitoreados, manteniendo inalterables la morfología, la orientación, la tecnología constructiva, el factor de uso y sistema de climatización de la unidad analizada. Las simulaciones se realizaron tanto en situación de climatización total electromecánica y sin climatización. Cabe aclarar que las simulaciones, en el contexto de este trabajo, no se enfocan en lograr precisiones respecto del prototipo de vivienda, sino en obtener ponderaciones globales y comparativas respecto de la incidencia de diferentes microclimas en el desempeño energético general (climatización) de un mismo prototipo.

Las determinaciones asumidas para la simulación termoenergética fueron las siguientes:

- Se definieron tres zonas térmicas: 1) zona cocina/estar (incluye baño); 2) zona dormitorio frente y 3) zona dormitorio fondo.
- Propiedades físicas de los materiales, obtenidas de bibliografía específica (Norma IRAM 11601 y catálogos de fabricantes).

- Se consideró a la vivienda habitada por cinco personas. Se confeccionaron diferentes schedules (o calendarios horarios) para cada zona térmica considerando: cantidad de personas, actividades y tiempo de permanencia.
- Se configuraron diferentes schedules con horarios de uso de los artefactos, equipos y electrodomésticos (heladera común, televisor, horno a gas para cocción).
- Se consideró que los habitantes ventilan periódicamente la vivienda. La tasa de flujo de ventilación natural fue controlada también mediante diferentes schedules aplicados a cada zona térmica: horarios de apertura de ventanas, cocina de 10 - 14 hs y de 18 - 20 hs, dormitorios de 10 - 13 hs
- Se configuraron, de igual modo, diferentes schedules para el uso de los equipos de climatización. En situación de clima-

- tización total se consideró: en cocina, termostato de refrigeración a 25°C, de 8 -14 hs y de 16 - 22 hs; y en dormitorio, termostato de refrigeración a 25°C, de 22 - 7 hs y de 14 - 16 hs.
- Los coeficientes convectivos se fijaron en 6 W/mK para muros interiores. Los coeficientes convectivos restantes fueron autocalculados por el software.
- Las temperaturas límite y neutras en período cálido, que definen aproximadamente la zona de confort de un clima cálido húmedo como el de Corrientes (Zona Bioambiental Ib, IRAM 11603/12), se obtuvieron tanto según el modelo adaptativo (Auliciems, 1981) como según el modelo de constancia (IRAM, 2004) (Tabla 1).
- El ajuste (calibración) del modelo de la vivienda introducido al software se realizó en un trabajo previo (Alías, 2020).

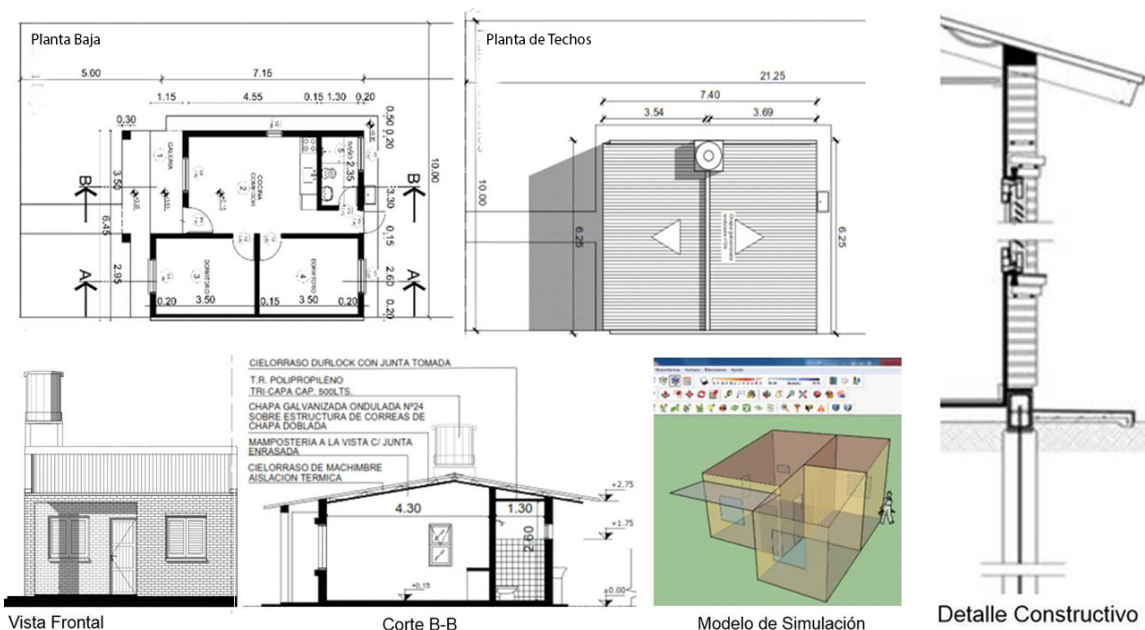


Figura 7: Información básica de la vivienda simulada. Fuente: Alías (2020).

TABLA 1 Temperaturas límites para el confort, en período cálido y período frío, según el modelo adaptativo y el modelo de constancia.

Temperaturas aproximadas para el confort en zona "Ib", según el MODELO DE CONFORT ADAPTATIVO		Corrientes
Período cálido	Temp. media mensual exterior (T _{mex}) (°C)	29,8
	Temp. neutra (T _n) (°C) $T_n = 17,6 + 0,31 \times T_{mex}$ (Auliciems, 1981)	26,8
	Límite superior de confort de verano (°C) = $T_n + 2,5 K$ (Auliciems, 1981)	29,3
Temperatura límite para el confort térmico en zona "Ib", según el MODELO DE CONSTANCIA (IRAM 11659-1, 2004)		Corrientes
Período cálido	Temp. media mensual exterior (T _{mex}) (°C)	29,8
	Límite superior de confort de verano (°C)	27

Fuente: elaboración autores.

Resultados y discusión

Análisis microclimático de tres escenarios habitacionales.

Los datos de temperaturas exteriores registradas (Figura 8) evidencian, en el entorno urbano densificado, menores amplitudes térmicas diarias que ambos entornos suburbanos considerados. Asimismo, las temperaturas máximas y mínimas registradas en el entorno urbano son más elevadas que las de los entornos suburbanos. Durante el día, en promedio, las máximas se encuentran 1,3°C por encima de las máxi-

mas registradas en el entorno suburbano desmontado y en 2,6°C respecto del suburbano con monte nativo; mientras que las mínimas superan en 6,4°C y en 5,6°C las mínimas media del suburbano desmontado y suburbano con monte nativo, respectivamente (Tabla 2). El sobrecalentamiento del entorno urbano respecto del área suburbana queda de manifiesto, también, en la temperatura media calculada, la cual supera los 3,8°C. Asimismo, en el día más caluroso de la serie la temperatura exterior registró un pico máximo de 43,2°C en el entorno urbano, mientras se registraban picos de 41,8°C en el suburbano desmontado y de 41,3°C en el suburbano con monte nativo.

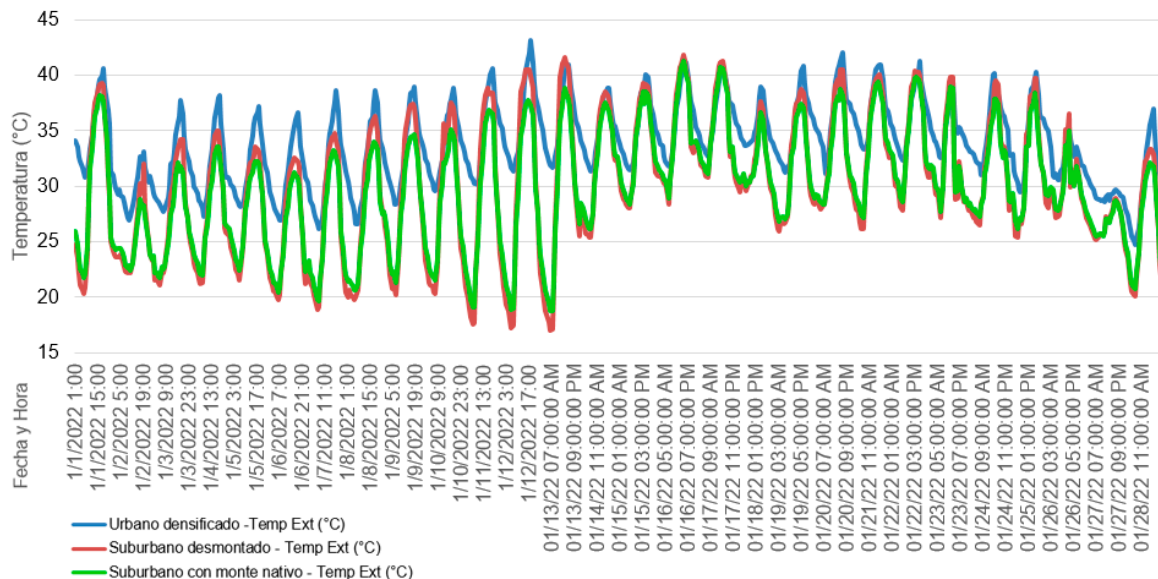


Figura 8: Temperaturas exteriores monitoreadas en tres entornos del Gran Corrientes. Fuente: Elaboración autores.

TABLA 2

Temperaturas máximas media, media, mínima media y máxima absoluta de los tres entornos monitoreados.

Temperatura (°C)	Urbano densificado	Suburbano desmontado	Suburbano con monte nativo
Máxima media	38,5	37,2	35,9
Media	33,8	30	29,8
Mínima media	29,9	23,5	24,3
Máxima absoluta	43,2	41,8	41,3
Amplitud térmica promedio (C°)	8,6	13,7	11,6

Fuente: Elaboración autores.

El microclima del entorno en el desempeño termoenergético residencial dentro del Gran Corrientes, Argentina. El efecto mitigador del monte nativo

Este sobrecalentamiento del sector urbano en relación con los entornos suburbanos analizados puede deberse al fenómeno de Isla de Calor Urbano (ICU) descrito por autores como Casadei, Semmartin y Garbulsky (2021) y Chiarito y Chiarito (2019), caracterizado por un aumento de la temperatura urbana respecto de su entorno suburbano o rural circundante, debido en buena parte a la remoción de cobertura vegetal y su reemplazo por nuevas superficies con albedo y emisividad más elevados. Así, durante el día, las propiedades térmicas de los materiales de construcción, el bloqueo del viento por los edificios y cambios en las tasas de intercambio de calor modifican la energía disponi-

ble en el área urbana, calor que es liberado durante la noche, principalmente.

Comparando los registros térmicos exteriores en el entorno suburbano desmontado y en el suburbano con monte nativo se observan temperaturas similares, con la diferencia de que el desmontado presenta máximas y mínimas más pronunciadas, y una mayor amplitud térmica, respecto de la situación con monte nativo (Figura 8 y Tabla 2). Durante el día, en promedio, las temperaturas máximas del entorno desmontado se encuentran en 1,3°C por encima de las del entorno con monte, mientras que las mínimas por

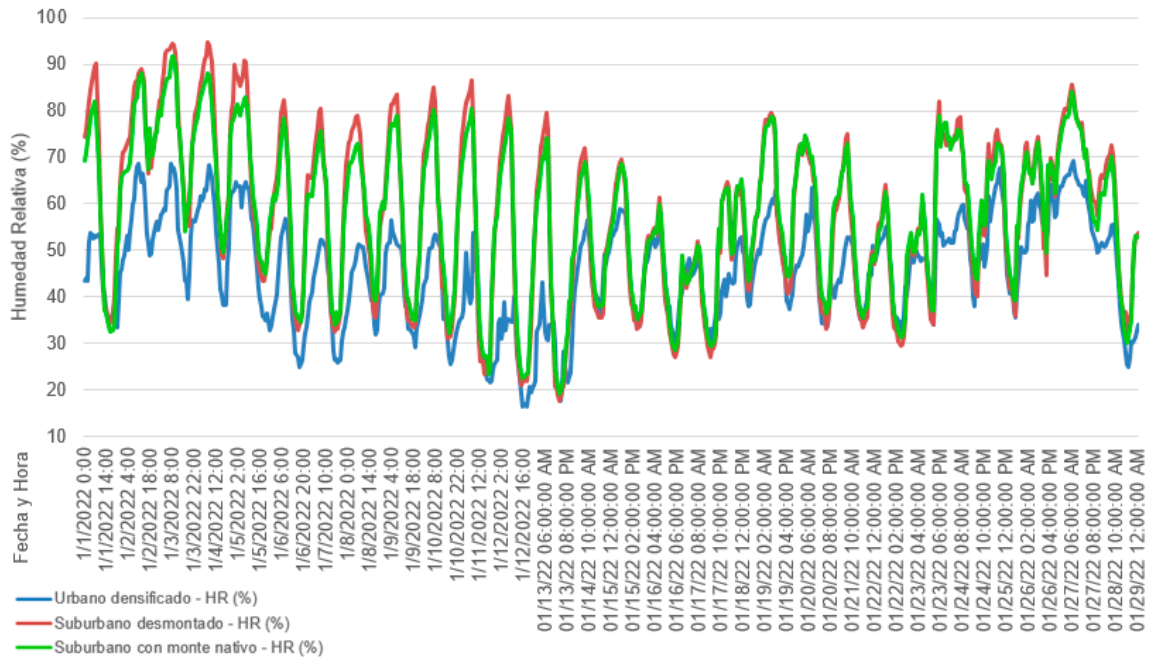


Figura 9: Humedad Relativa Exterior monitoreada en tres entornos del Gran Corrientes. Fuente: Elaboración autores.

las madrugadas están en 0,8°C por debajo. Estos resultados concuerdan con la reducción de la temperatura por el enfriamiento por evaporación y la sombra del suelo durante el día, y un aumento de la temperatura durante la noche como resultado de la reducción del factor cielo.

Estas diferencias térmicas, marcadas por la presencia o no de vegetación en un entorno suburbano, coinciden con las apreciaciones de Duval y Campo (2016) respecto de las zonas cerradas de un bosque, en donde los parámetros meteorológicos experimentan una menor variabilidad respecto de localizaciones próximas sin vegetación, evidenciando que la cubierta vegetal amortigua las condiciones climáticas generales. Bajo la cubierta vegetal, y determinado por la densidad y el tipo de vegetación, la velocidad del viento, la luz y la temperatura del aire disminuyen, mientras que la humedad relativa (Figura 9) y la temperatura media y mínima del aire aumentan, respecto de las condiciones fuera de la cubierta o dosel vegetal (DUVAL Y CAM-

PO, 2016). De esta manera, la cubierta vegetal genera menores temperaturas del monte durante el día y, por el contrario, algo mayores en relación con el entorno desmontado durante la noche, presentándose una amplitud térmica menor bajo la cubierta vegetal (11,6°C) que fuera de ella (13,7°C).

Análisis del desempeño termoenergético de una vivienda tipo

Simulaciones en la vivienda con climatización total

Los resultados de las simulaciones de la vivienda en las tres situaciones de entorno consideradas arrojaron un mayor consumo de energía para refrigeración, con un mayor porcentaje de tiempo fuera de condiciones higrotérmicas confortables, en la situación de entorno urbano densificado, seguido por el entorno suburbano desmontado, resultando las mejores condiciones en la situación de entorno suburbano con monte nativo (Tabla 3).

TABLA 3

Resultados generales de simulaciones de consumo de energía para climatización de la misma vivienda en entornos diferentes.

Vivienda (PROMHIB) 45 m ² (134,32 m ³ volumen)	Simulaciones en tres entornos Corrientes - Enero 2022		
	Urbano densificado	Suburbano desmontado	Suburbano con monte nativo
Enero: 744 hrs. simuladas			
Horas mensuales aprox. fuera de condiciones. de confort (suma de las hs. en cada zona) % mensual	646,3 86,9	639,3 85,9	546,2 73,4
energía total mensual p/ refrigeración (kWh) (kWh / m ²)	751,2 18,9	599,1 15,1	523,7 13,2
energía total mensual p/ calefacción (kWh) (kWh / m ²)	0 0	0 0	0 0

Fuente: Elaboración autores.

El microclima del entorno en el desempeño termoenergético residencial dentro del Gran Corrientes, Argentina. El efecto mitigador del monte nativo

La situación de implantación suburbana con monte nativo requeriría, según las simulaciones, entre un 30% y un 13% menos de energía mensual para refrigeración que la misma vivienda ubicada en un entorno urbano densificado y en un entorno suburbano desmontado, respectivamente. Valores que se acercan a lo expresado por Misni (2018) y Akbari et al. (1992) en la revisión bibliográfica de sus trabajos, en cuanto a los efectos directos del sombreado vegetal en el ahorro total de energía por enfriamiento de los edificios. Ello da cuenta del impacto en la eficiencia energética edilicia que origina la transformación del paisaje natural, con alteraciones en el microclima del lugar y

las condiciones de sombreados de los edificios, entre otras cuestiones observadas por autores como Córca y Ruiz (2018) y Lobaccaro et al. (2019).

De esta manera, según las mediciones realizadas en los tres escenarios y de acuerdo con los resultados de las simulaciones, se obtiene que por cada 1°C de aumento de las temperaturas diarias promedio del entorno se obtiene un incremento entre el 5 y el 7% de la demanda energética de una vivienda tipo, durante el periodo estival en un clima cálido húmedo como el de Corrientes, estimación que duplica los porcentajes señalados por Mastronardi, Sfeir y Sánchez (2016).

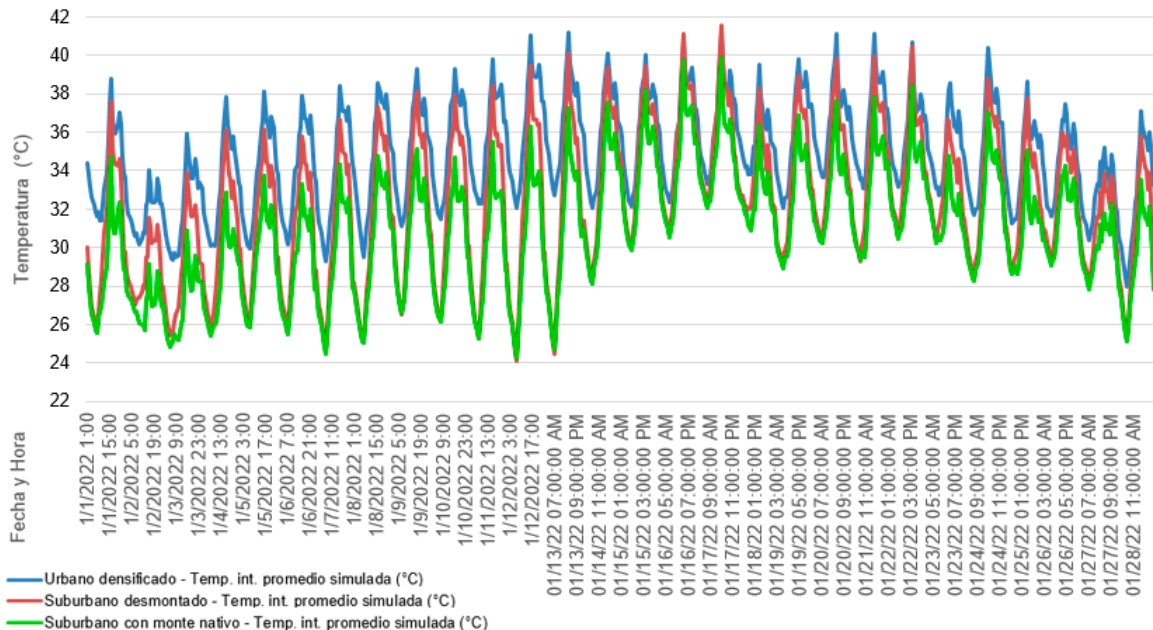


Figura 10: Temperaturas interiores promedio simuladas en la vivienda (sin climatización), en los tres entornos analizados.

Fuente: Elaboración autores.

Simulaciones en la vivienda sin climatización

Si se toma en cuenta la vivienda sin climatización electromecánica y solo con ventilación nocturna³, además de la ventilación diurna igualmente considerada en las simulaciones con climatización, los resultados vuelven a presentar mejores condiciones térmicas (temperaturas más bajas) cuando la vivienda está implantada en un entorno suburbano con monte, seguida de un entorno suburbano desmontado (Figura 10 y Tabla 4).

Así, en línea con la situación microclimática de los tres escenarios, las mayores temperaturas máximas y mínimas interiores de la vivienda analizada, junto con las menores oscilaciones térmicas internas, se alcanzan en el entorno urbano densificado. Las máximas medias internas superan en 1.3°C a las máximas promedio alcanzadas dentro de la vivienda en un entorno suburbano desmontado y en 3.6°C a la vivienda rodeada de vegetación. Por otro lado, la temperatura mínima media registrada dentro de la vivienda en un entorno urbano supera en 3.8°C y en 4°C a las

temperaturas mínimas internas de esta vivienda en un entorno suburbano desmontado y con monte, respectivamente. La situación expone la dificultad que presenta la edificación en un microclima urbano para disipar el calor acumulado durante el día, así como las potencialidades en los entornos suburbanos para implementar la ventilación nocturna, como estrategia de enfriamiento pasivo en el período estival.

Comparando el comportamiento térmico de la misma vivienda en los dos entornos suburbanos, se observan temperaturas más bajas y cercanas a la de habitabilidad cuando la construcción está rodeada de vegetación (-1.4°C en la temperatura media interior). Además de amortiguar la temperatura del entorno, la vegetación del monte reduce el impacto de la radiación solar sobre la vivienda, disminuyendo la temperatura interna de sus locales.

3. Horarios de apertura de ventanas: cocina, apertura 20-8 hs; dormitorios, apertura 21-7 hs.

TABLA 4

Temperaturas interiores promedio de la vivienda simulada (sin climatización) en los tres entornos analizados.

Temperatura (°C)	Urbano densificado	Suburbano desmontado	Suburbano con monte nativo
Máxima media (°C)	39	37,7	35,4
Media (°C)	34,9	32,3	30,9
Mínima media (°C)	31,5	27,7	27,5
Amplitud térmica promedio (C°)	7,5	10	7,9

Fuente: Elaboración autores.

Conclusiones

El monitoreo simultáneo de tres escenarios diferentes dentro del Gran Corrientes permitió reconocer una variabilidad microclimática significativa en un radio no mayor a 15 km; producto, en distinta medida, de la presencia de vegetación, de espejos de agua, de edificios, de superficies impermeables, entre otros. Así, el entorno urbano presentó temperaturas máximas, medias y mínimas más elevadas que las zonas suburbanas próximas. Por otro lado, escenarios con mayor presencia de vegetación alcanzan menores temperaturas máximas y medias diarias que zonas vecinas desmontadas.

La simulación de una misma vivienda con idéntico factor de uso y sistema de climatización, en los tres entornos analizados, permitió corroborar la influencia de estos microclimas sobre el comportamiento térmico-energético de la construcción, con lo cual el ambiente local alrededor de los edificios puede alterar significativamente su temperatura efectiva. Viviendas en entornos urbanos presentarían mayor sobrecalentamiento que en entornos suburbanos.

Se evidenció así el efecto moderador de la vegetación sobre el microclima del entorno físico en el período cálido considerado (enero 2022), con consecuencias en las condiciones edilicias de habitabilidad, que demandarían menor cantidad de energía para su acondicionamiento térmico en épocas cálidas en una implantación suburbana con monte nativo. Los resultados demuestran, por otra parte, la gran significatividad de la radiación solar en el desempeño higrotérmico edilicio y en su necesidad de energía para el acondicionamiento ambiental y la habitabilidad.

En este sentido, atendiendo a la creciente expansión periférica de las ciudades latinoamericanas sobre

áreas rurales (entre ellas, Corrientes), motivada tanto por emprendimientos inmobiliarios privados como por iniciativas públicas gubernamentales, se aportan consideraciones a favor de la conservación de los bosques que rodean el área urbana, advirtiendo que la modificación del microclima del entorno físico no solo afecta al propio ecosistema del lugar sino que condiciona, además, la habitabilidad de sus nuevos pobladores. Lejos de insinuar un freno al crecimiento urbano, se aboga por un proceso de urbanización que articule con la flora y la fauna existentes, y modifique la lógica expansiva dominante de hacer tabula rasa con las preexistencias del lugar que impone una idea ajena a lo que sugiere el propio sitio.

Se prevé, a futuro, extender el período de monitoreos, simulaciones y análisis a épocas invernales y primaverales/otoñales, a efectos de comparar los resultados con los surgidos en épocas estivales. Asimismo, a partir de esos resultados, en próximos trabajos, se espera profundizar en el estudio de lineamientos generales tendientes a compatibilizar el crecimiento y la expansión urbana con la conservación y puesta en valor de la vegetación nativa, que pueda servir de base para nuevas urbanizaciones de iniciativas públicas o privadas.

Fuente de financiamiento

Trabajo enmarcado en el Proyecto de investigación PI-C002/20, Universidad Nacional del Nordeste: “Arquitectura de la vivienda urbana de producción estatal: acondicionamiento ambiental térmico y uso de la energía según pautas de gestión de sus habitantes en el NEA”. Resolución N° 454/2020 C.S. – UNNE.

Referencias bibliográficas

- Alías, H. M.** (2020). Eficiencia energética para climatización de viviendas de producción estatal del nordeste argentino: modelo metodológico para su evaluación integral y calificación en el clima muy cálido – húmedo. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Litoral (UNL). Santa Fe: Biblioteca UNL.
- Akbari et al.** (1992). Cooling our communities –A Guidebook on Trees Planning and Light Colors Surfacing. US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.
- Auliciems, A.** (1981). Towards a psycho-physiological model of thermal perception - International Journal of Biometeorology [01 Jun 1981, 25 (2):109-122. Recuperado el 19 de agosto, 2018, de <https://europepmc.org/abstract/med/7019105>
- Casadei, P., Semmartin, M. y Garbulsky M.** (2021). Análisis regional de las islas de calor urbano en la Argentina. *Ecología Austral* 31:190-203, Abril 2021. DOI: <https://doi.org/10.25260/EA.21.31.1.0.970>
- Castillo et al.** (2018). Comportamiento y confort térmico exterior de canales viales urbanos insertos en diversas tramas y geomorfologías de Mendoza. *Revista Hábitat Sustentable*, Vol. 8, N°2, 116-129. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.09>
- Consejo Nacional de la Vivienda [CNV]** (2017). Programas Federales Período 2005/2014. Viviendas y Soluciones Habitacionales Terminadas. Recuperado el 13 enero, 2017, de <http://www.cnvivienda.org.ar/pdf/2014-Viv-terminadasFEDERALES.pdf>
- Córica, L. y Ruiz, M. A.** (2018). Aspectos cuantitativos y cualitativos de la luz solar en recintos urbanos de alta densidad edilicia en climas soleados (período invernal). *Revista Hábitat Sustentable*, Vol. 8, N°1, 16-27. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.02>
- Chiarito, G. y Chiarito, E.** (2019). Estudio satelital de isla de calor/frío en Rosario según temperaturas superficiales urbanas e indicadores temáticos de suelo. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 43(1), 17–25. Recuperado de <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/erma/article/view/987>
- Darhanpé, H.** (2020). Líneas de acción para el diseño de herramientas de política pública contra la creciente demanda de energía para el enfriamiento de espacios en edificios. *Divulgatio. Perfiles académicos de posgrado*, Vol. 5, N°13, 195-211, <https://doi.org/10.48160/25913530di13.154>
- Department of Energy [DOE]** (2015). EnergyPlus Energy Simulation Software (Versión 8.4). U.S. <https://energyplus.net/downloads>
- Department of Energy [DOE]** (s.f.). Weather Data by Location. Recuperado el 26 de Abril de 2022 de https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/ARG/Corrientes%20Intl%20AP_Corrientes_ARG
- Diario El Litoral** (22 de enero de 2022). Corrientes se convirtió en la ciudad más calurosa de la Argentina. *Diario el Litoral*. <https://www.ellitoral.com.ar/corrientes/2022-1-22-16-55-0-corrientes-se-convirtio-en-la-ciudad-mas-calurosa-de-la-argentina>

- Di Pace, M.** (2004). Ecología de la ciudad. Buenos Aires: Ed. Prometeo-UNGS.
- Duval, V.S. y Campo, A.M.** (2016). Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (Prosopiscaldenia), Argentina. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 26 (1): 37-49. doi:10.15446/rcdg.v26n1.42372.
- Ganem, C. y Barea, G.** (2019). Diagnóstico del comportamiento térmico de edificios en forma masiva mediante el uso de la termografía infrarroja. AREA, 25 (1), 1-14. Recuperado de https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2501/2501_ganem_barea.pdf
- Ginzburg, R. y Adámoli, J.** (2006). Situación ambiental en el Chaco Húmedo. En: Brown A., et al (Eds). La situación ambiental Argentina 2005, 1ª ed., 103-113, Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina.
- Huang et al.** (1987). The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. Journal of Climate and Applied Meteorology, V 26, 1103-1116. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1987\)026<1103:TPOVIR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1987)026<1103:TPOVIR>2.0.CO;2)
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM]** (2004). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: Vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica de refrigeración. (Nº de publicación IRAM 11659-1). Argentina: autor.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM]** IRAM (2012). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. (Nº de publicación IRAM 11603). Argentina: autor.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación [IRAM]**(2012). Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. (Nº de publicación IRAM 11601). Argentina: autor.
- Lobaccaro et al.** (2019). A cross-country perspective on solar energy in urban planning: Lessons learned from international case studies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 108 (March), 209–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.041>
- López et al.** (2018). Dinámica y tendencia de la expansión urbana del Gran Corrientes y su área de influencia directa. Revista Geográfica Digital. Año 15, Nº 30, Julio - Diciembre 2018. Recuperado de <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default.htm>
- López, S, Arce, G. y Alberto, J.** (2015). Indicadores de desarrollo sostenible para espacios sujetos a la presión del crecimiento urbano. Santa Ana de los Guácaras. Corrientes. Revista Geográfica Digital. Año 12- Nº23. Recuperado de <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/homeig0.htm>
- Mastronardi, L., Sfeir, M.A. y Sánchez, S.** (2016). La temperatura y su influencia en la demanda de energía eléctrica: Un análisis regional para Argentina usando modelos econométricos. Documento de trabajo. Buenos Aires: Secretaría de Planeamiento Energético, Ministerio de Energía y Minería de Argentina.

- Ministerio de Producción, Trabajo y Turismo de la Provincia de Corrientes [MPTT] (s.f.).** Existencia de bosques nativos por Categoría. Recuperado el 10 de enero de 2023 de <https://ide.corrientes.gob.ar/bosques/index.html>
- Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios [MPFIPyS] (2011).** Plan Estratégico Territorial Avance II: Planificación Estratégica Territorial. 1a ed. - Buenos Aires: autor.
- Misni, A. (2018).** The effects of landscaping on the residential cooling energy. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 117 (2018) 01 2022 doi:10.1088/1755-1315/117/1/012022.
- National Laboratory of the U.S. Department of Energy [NREL] (2015).** Open Studio (Version 1.10). U.S. Recuperado de <https://www.openstudio.net/node/2136>
- Polliotto et al. (2019).** Impactos ambientales asociados al crecimiento urbano. El caso de los barrios cerrados en la ciudad de Salta. Seminario internacional de investigación en urbanismo. Barcelona, Santiago de Chile, julio 2019. DOI: 10.5821/SIIU.6821
- Ruiz, M.A. (2013).** Efectos microclimáticos de la vegetación en ciudades de zonas áridas. Incidencia sobre los consumos energéticos y la calidad ambiental del hábitat. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta (UNS). Salta: Biblioteca UNS.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable [SAyDS] (2005).** Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas BIRF 4085-AR 1998-2005. Informe nacional.
- Secretaría de Gobierno de Energía [SGE] (2019).** Guía del recurso solar. Libro Digital (PDF). 1a ed. revisada. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: autor. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_del_recurso_solar_anexos_final.pdf