

Arquitectura escolar con diseño bioclimático

Estudio de antecedentes a escala nacional

María Guillermina Ré. Magister Arquitecta. Investigadora en Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (UNS)-CONICET). Docente en Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (UNS)). Coordinadora de la Diplomatura de Eficiencia Energética y Sustentabilidad.

Resumen

La arquitectura escolar se encuentra transitando un momento de profundos cambios producto de los avances tecnológicos y de comunicación experimentados en los últimos años. Los nuevos requerimientos culturales y pedagógicos invitan a repensar la configuración de los espacios educativos y la posibilidad de adaptación de los mismos a las dinámicas de la sociedad actual. Asimismo, desde la temática de la arquitectura bioclimática y la eficiencia energética, se considera preciso promover un Diseño Ambientalmente Consciente que permita dotar a las infraestructuras de sistemas pasivos y activos, para alcanzar un comportamiento térmico-energético apropiado al clima local. A partir de esta consideración, el presente trabajo expone casos relevantes de arquitectura escolar bioclimática, localizados en distintas zonas bioambientales de Argentina, con el objetivo de analizar las estrategias implementadas para los respectivos contextos regionales. Se concluye que la incorporación de principios de acondicionamiento térmico y de eficiencia energética en los códigos de edificación y criterios de normativa escolar, sería un paso significativo para mejorar el desempeño térmico energético de las edificaciones durante la fase operativa.

Palabras clave: *Diseño Ambientalmente Consciente; Zonas bioambientales; Principios bioclimáticos.*

Introducción

La investigación se encuentra circunscripta al tiempo actual, siendo relevante debido a la escasez de recursos energéticos no renovables y al deterioro que está sufriendo el medio ambiente. El rápido crecimiento del consumo y su tendencia ascendente, es preocupante y necesita de la implementación de acciones concretas que promuevan la eficiencia de los sistemas y la utilización de fuentes renovables (IEA, 2019). En Argentina, según los datos publicados en el Balance Energético Nacional, la participación del sector edilicio en el consumo energético total es del 33%, correspondiendo 25% al residencial y 8% al comercial y público (Secretaría de Energía, 2023).

Dicha situación motiva la elaboración de estrategias de eficiencia energética que permitan fomentar el uso racional de los recursos y reducir la generación de emisiones. En la última década, la mayoría de los países incluyen en sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), el impulso de los edificios sustentables y la actualización e implementación de los códigos de energía para las edificaciones y las políticas de certificación. En este contexto, adquieren importancia las acciones tendientes a disminuir la demanda energética partir de la regulación y rehabilitación de la materialidad de las envolventes (IEA, 2019).

En cuanto al parque edilicio existente, los establecimientos educativos representan el 17 % del sector no residencial y corresponden a una tipología en crecimiento (Droutsa et al., 2021). Desde esta perspectiva, dichas infraestructuras tienen una alta significación, ya que involucran grandes superficies de construcción, poseen un elevado número de usuarios y una alta demanda de energía. Una revisión científica demuestra que los mismos son responsables del 37% de las emisiones de dióxido de carbono derivadas del uso de energía (Tariq et al., 2024). En dicha investigación se destaca que el tamaño de los establecimientos y la capacidad de acondicionamiento térmico son los factores más influyentes.

En este sentido, se reconoce que esta tipología edilicia presenta particularidades en su diseño, construcción y funcionamiento. En primer lugar, se destaca que poseen uso discontinuo, siendo una característica que condiciona la incorporación de pautas y estrategias bioclimáticas y el funcionamiento térmico de los ambientes interiores. Asimismo, las aulas, que representan el núcleo donde se desarrollan los procesos de enseñanza-aprendizaje, poseen una alta densidad de ocupación, lo cual debe ser considerado en el dimensionamiento de los sistemas de climatización.

A escala de proyecto arquitectónico, las necesidades espaciales se resuelven en la fase de *diseño*, en la cual toman trascendencia las decisiones referidas a los aspectos formales, tecnológicos y funcionales. En complemento, las singularidades respecto al uso y ocupación de las infraestructuras, son contempladas en la fase *operativa* de mantenimiento. Tanto la fase de *diseño* como la de *uso* afectan el desempeño energético y la calidad ambiental del edificio durante su vida útil.

En este contexto, para guiar el proceso proyectual, se encuentra en vigencia “Criterios y normativa básica de arquitectura escolar” (Ministerio de Educación, 1998). En las últimas décadas, también se utiliza el “Manual de proyecto. Herramientas para el Programa Nacional 700 escuelas” (Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, 2004). Dichos documentos aportan recomendaciones de valor respecto a consideraciones bioclimáticas a tener en cuenta en las nuevas infraestructuras, sin embargo, no son exigibles desde los organismos estatales encargados de la aprobación del proyecto arquitectónico. En la provincia de San Juan el cumplimiento de las Normas IRAM de acondicionamiento térmico de edificios no es requisito excluyente en el código de edificación (DPDU, 1951). En este contexto, se evidencia la necesidad de incorporar, con mayor participación y relevancia, los aspectos técnicos que garanticen el correcto comportamiento térmico-energético.

En Argentina, la construcción de edificios escolares del sector público está vinculada, históricamente a las políticas de estado, con la ejecución de diversos programas destinados a fortalecer el sistema educativo. Es por ello que la implementación de mejoras presenta un gran potencial de expansión, ya que brinda la oportunidad de contribuir a la problemática ambiental, con soluciones replicables (Melchiori et al., 2014, Boutet et al., 2020).

En la actualidad nos encontramos en un momento de cambio de paradigma, en donde ya es una realidad la necesidad de diseñar en consideración al clima del lugar, con el fin de idear edificios más eficientes e independientes energéticamente. El arquitecto noruego Kjetil Trædal Thorsen (2024), cofundador del estudio de arquitectura Snøhetta, expone que *“Si antes decíamos que la forma sigue a la función, ahora debíamos decir que la forma debe seguir al medioambiente”*.

El propósito general del presente trabajo es exponer antecedentes destacados a nivel nacional, tanto a nivel de proyectos de arquitectura como de edificios construidos diseñados en consideración de las particularidades climáticas de su zona bioambiental de pertenencia. Asimismo, dicho registro procura fomentar que los aspectos relativos al diseño bioclimático sean incorporados con mayor relevancia en futuras actualizaciones de la normativa escolar y códigos de edificación.

Metodología

El trabajo se desarrolla en el campo disciplinar de la arquitectura y se enmarca en el conocimiento tecnológico, en vinculación con los temas de eficiencia energética, arquitectura ambientalmente consciente, diseño bioclimático, conservación de la energía y acondicionamiento del ambiente interior. Dentro de las temáticas mencionadas, el artículo presenta un enfoque teórico-conceptual orientado a la tipología escolar y la aplicación de estrategias de diseño en proyectos arquitectónicos y obras construidas a nivel nacional.

La investigación es de tipo exploratoria y descriptiva ya que indaga sobre un fenómeno particular, examinando sus propiedades específicas y generando un estado del arte orientado a poner en valor casos relevantes que se adaptan a distintas zonas bioambientales del país, que van desde muy cálida (Zona 1), hasta muy fría (Zona 6). Para cada una de ellas, se definen sus límites y se describen sus características climáticas y recomendaciones de diseño en base a la Norma IRAM 11.603 (2012).

En este contexto, el estudio se orienta al registro de obras de arquitectura que hayan materializado asertivamente estrategias de Diseño Ambientalmente Consciente (DAC). Para el desarrollo, se utilizan diversas técnicas de recolección y análisis de datos con el fin de reflexionar sobre el tema abordado. En los diversos casos se identifican variables significativas, entre las que se destacan:

- Resolución funcional y forma del proyecto arquitectónico.
- Tecnología constructiva de las envolventes. Niveles de aislación térmica.
- Sistemas pasivos de acondicionamiento térmico: ganancia solar directa (GSD), masa térmica, muros colectores, ventilación natural, protecciones solares, refrescamiento.
- Iluminación natural.
- Sistemas activos: integración de energías renovables.
- Otros recursos locales: materiales regionales, autoconstrucción, otros.

Como consecuencia se persigue promover las estrategias de diseño bioclimático en proyectos de edificios escolares, así como también el abordaje de criterios de sustentabilidad en la resolución de la tecnología constructiva de las envolventes, a partir de la integración de materiales locales, principalmente en los casos de zonas rurales o suburbanas.

Edificios escolares bioclimáticos en Argentina

La arquitectura bioclimática se define como aquella proyectada de acuerdo al clima y las condiciones del entorno, en la búsqueda por conseguir un estado óptimo de confort higrotérmico en su interior. Para ello, se integran sistemas pasivos y activos reduciendo el consumo energético (Garzón, 2007).

Desde el punto de vista del DAC, el clima del lugar es un factor a considerar en el desarrollo de proyectos que respondan adecuadamente a las condiciones exteriores. En relación a ello, distintas investigaciones encaminan sus esfuerzos a la realización de estudios y elaboración de teorías y recomendaciones bioclimáticas hacia diseños de edificios energéticamente eficientes.

En líneas generales, las estrategias a implementar deben estar orientadas a minimizar las ganancias térmicas en épocas cálidas (producto de la incidencia solar sobre las envolventes), y evitar las pérdidas de calor por convección e infiltración en épocas frías. El valor relativo que se le otorgue a cada pauta de diseño, se encuentra condicionado al clima del lugar de implantación del edificio. En zonas con clima cálido, las respuestas se orientan a satisfacer las necesidades de refrescamiento. Por su parte, en zonas frías, las estrategias buscan promover la ganancia solar directa y evitar las pérdidas de calor.

Seguidamente, se identifican casos de arquitectura escolar bioclimática y se realiza un análisis de las estrategias aplicadas.

CLIMA MUY CÁLIDO. Zona Bioambiental I

En base a lo especificado en la Norma IRAM 11.603 (2012), comprende la región centro-este del extremo norte del país. En ella, los veranos presentan temperaturas máximas superiores a los 34°C y valores medios mayores a 26°C, mientras que los inviernos son poco significativos.

En esta región se ubica el Colegio Secundario del Bicentenario de la Autonomía Provincial, en la localidad de Vilmer, Santiago del Estero, inaugurado en el año 2021 (Figura 1). La infraestructura está diseñada de acuerdo a los principios bioambientales de la Zona I-a, con amplitudes térmicas superiores a 14°C, prestando especial atención a la época estival. Para lograr la adecuación arquitectónica y tecnológica a los condicionantes geográficos y climáticos de su implantación se lleva a cabo una evaluación de los recursos locales. Seguidamente, la formulación directrices pasivas prioriza las orientaciones para la ubicación de las aulas y el diseño de parasoles para el control y/o aprovechamiento del asoleamiento. También se considera la dirección de los vientos dominantes para favorecer la ventilación cruzada en los espacios y el refrescamiento pasivo. Las propuestas tecnológicas para las envolventes, se orientan a mejorar el acondicionamiento térmico mediante la aislación térmica adicional de muros y techos. Esto permite alcanzar el nivel A/B recomendado por las Normas IRAM para el confort higrotérmico y la verificación de ahorro de energía en refrigeración y calefacción, logrando una adecuada calificación en nivel C, “óptima”, en la etiqueta de eficiencia energética (UNSE, 2024).

Tanto el proyecto arquitectónico como la evaluación térmico-energética se desarrollan de manera interinstitucional en el marco de un convenio de colaboración entre la Dirección General de Arquitectura de la provincia, el CONICET, y las Facultades de Arquitectura de la UTN y de la UNSE.



Figura 1: Colegio Secundario del Bicentenario de la Autonomía Provincial, Vilmer, Santiago del Estero. Izquierda: Portal de acceso. Derecha: Vista del diseño de aberturas. Fuente: UNSE (2024).

CLIMA CÁLIDO. Zona Bioambiental II

Se caracteriza por veranos calurosos, que representan la estación crítica. Las temperaturas medias (TM) registradas rondan los 24°C y las máximas superan los 30°C. Por su parte, los inviernos son moderados, con un clima principalmente seco (IRAM 11.603, 2012).

En esta localización, también en la provincia de Santiago del Estero, se destaca un trabajo que corresponde al rediseño arquitectónico y la rehabilitación de la envolvente para la adecuación térmico-energética de una escuela rural existente. La Escuela N° 757 se encuentra en Quebrada Esquina, a 30 km de la capital del departamento Pellegrini, ubicado al noreste de la provincia. El clima del lugar es cálido húmedo, con amplitud térmica menor a 14°C. El período estival manifiesta elevadas temperaturas y es lluvioso entre los meses de octubre a marzo, en cambio, la época invernal es seca y registra bajas temperaturas. Los vientos predominantes son de orientación Noreste en verano y Sur, en invierno.

El objetivo de la propuesta es contribuir a optimizar las condiciones de confort de los usuarios de este hábitat educativo, a través del empleo racional de la energía convencional. El prototipo estatal posee una tipología lineal y está construido mediante un sistema tradicional de estructura de hormigón armado y cerramientos verticales exteriores no portantes de ladrillo macizo cerámico de 0,15m de espesor.

El proyecto de rehabilitación bioclimática propone girar el edificio, de manera que las aulas tengan mejor orientación en cuanto al asoleamiento Noreste, incorporando en las aberturas, dispositivos horizontales de protección de la radiación directa y aleros superiores. Con respecto a la configuración tipológica, en el rediseño se proyecta un edificio que responda a las necesidades térmico-energéticas a partir de un partido en forma de “U”, desarrollado en torno al patio, con ventilación cruzada en todos los ambientes y vegetación apropiada. A su vez, se tienen en cuenta un conjunto de mejoras a la tecnología de las envolventes. Para techos se plantea a una estructura metálica de cubierta de chapa, con aislamiento térmico de lana de vidrio de 50mm, cielorraso suspendido y cámara de aire ventilada. En muros, se opta por la rehabilitación exterior, con el agregado de aislación térmica de polietileno expandido y protección mecánica de ladrillo hueco de 12cm, revocado (Figura 2). El análisis de las propuestas, a partir de aplicar los procedimientos de cálculos de cargas térmicas (IRAM 11.604 y 11.659) y del etiquetado energético (IRAM 11.900), demuestra que logran satisfacer las necesidades de conservación de la energía para fines de calefacción y disminuir

la dependencia de los sistemas mecánicos de refrigeración. Esto permite formular directrices que pueden aplicarse en el diseño de nuevas infraestructuras escolares, con el potencial de impulsar las mejoras en la renovación de las escuelas existentes (Giuliano y Garzón, 2016).

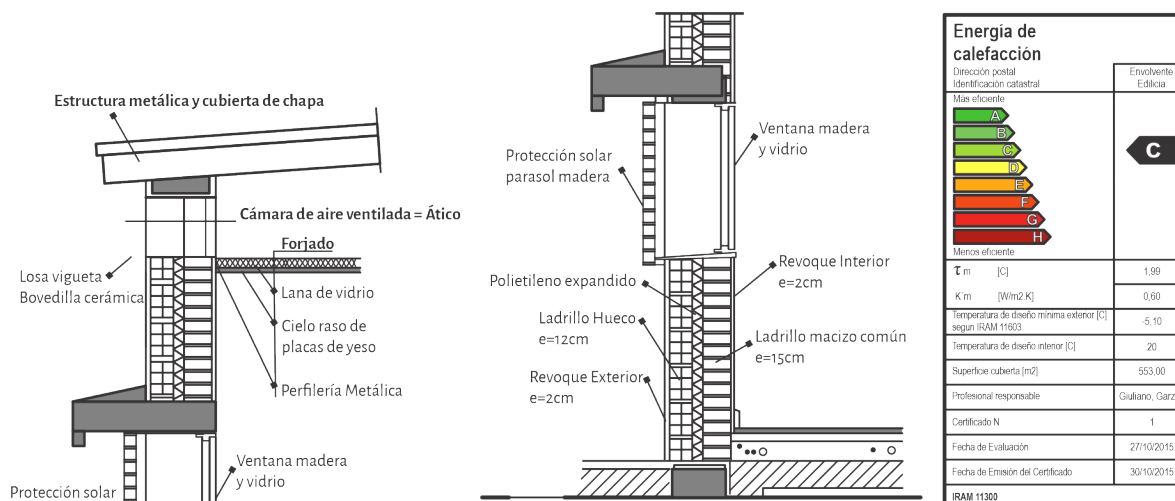


Figura 2: Prototipo rehabilitado. Izquierda y centro: Detalles constructivos, envoltura mejorada. Derecha: Etiqueta de Eficiencia Energética en calefacción. Fuente: Giuliano y Garzón, 2016.

CLIMA TEMPLADO CÁLIDO. Zona Bioambiental III

Se caracteriza por veranos calurosos, con TM entre 20°C y 26°C y máximas medias superiores a los 30°C. Los inviernos presentan períodos de bajas temperatura, pero son relativamente benignos (IRAM 11.603, 2012).

El Área Metropolitana de San Juan posee amplitudes térmicas, diarias y estacionales, iguales o mayores a los 14°C. Debido a su localización geográfica cercana a la Cordillera de los Andes que funciona como barrera de las brisas marítimas provenientes del Océano Pacífico, le corresponde un clima mediterráneo continental. La región es árida, con escasez de precipitaciones, principalmente en invierno.

A nivel provincial, existen escasos ejemplos de infraestructuras escolares ideadas a partir del DAC. Un caso es la Escuela Bioclimática Cristóbal Colón, emplazada en Médano de Oro, Departamento Rawson (Figura 3).

El proyecto de rehabilitación y ampliación de la escuela aplica estrategias bioclimáticas y de eficiencia energética: ganancia solar térmica y lumínica, inercia y aislamiento térmico, ventilación selectiva y protección solar. Las mismas son implementadas mediante la integración de sistemas pasivos y activos. La singularidad radica en que el establecimiento no es diseñado y construido en el marco de investigaciones especializadas. El origen surge de una iniciativa comunitaria, denominada “Un puente entre la familia, la comunidad y la escuela”. La obra está a cargo de la Dirección de Arquitectura de la Provincia, quien encomienda el proyecto al Arq. Diego Femía, profesional de la repartición y aficionado del diseño bioclimático y las energías alternativas. Para el proyecto se aplican las normativas del Ministerio de Educación (1998) y las de la Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano (DPDU, 1951), pero ninguna de las específicas del diseño bioclimático y del acondicionamiento térmico, al no ser obligatorias (Michaux et al., 2018).

En la actualidad, el edificio no utiliza la mayoría de los sistemas de aprovechamiento energético incorporados. Este hecho deja entrever que debe funcionar como requisito excluyente, el contar con un compromiso válido de todas las partes involucradas en la operación y mantenimiento de las infraestructuras con características bioclimáticas. A su vez, se percibe la importancia de disponer de instancias de capacitación para el correcto uso de la tecnología, a fin de garantizar un eficiente funcionamiento de los sistemas, que permita recuperar en el corto plazo la inversión adicional. Al respecto, en Michaux et al. (2018), los autores señalan que el voluntarismo es insuficiente para llevar a cabo obras bioclimáticas e incluso atenta en contra de su difusión. El presente caso demuestra la necesidad de que existan procedimientos estandarizados y obligatorios para realizar diseños bioclimáticos, como para su construcción, y el posterior seguimiento durante la vida útil del edificio.

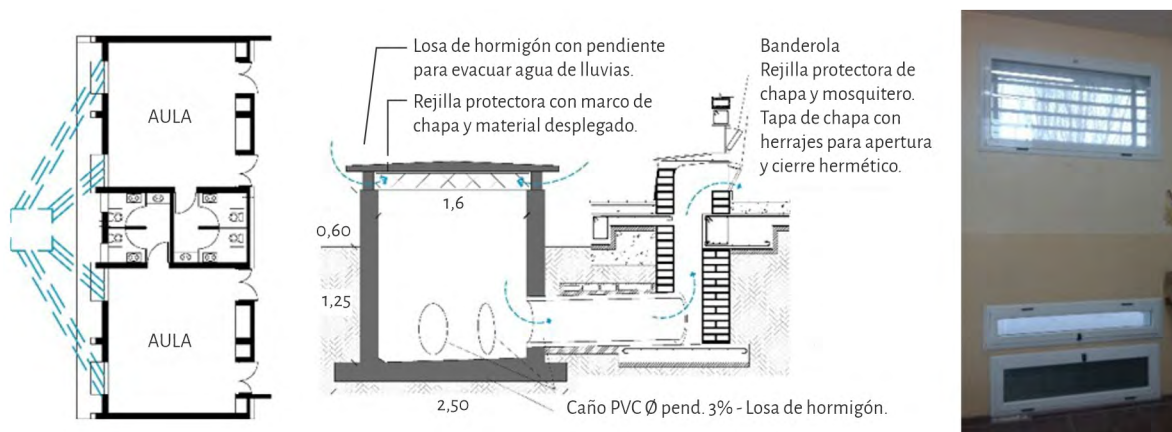


Figura 3: Escuela Bioclimática Cristóbal Colón. Detalles del pozo tipo canadiense. A) Planta de ductos enterrados. B) Corte. C) Interior, banderola conectada al pozo. Fuente: Michaux et al, 2018.

Por su parte, en La Pampa se distinguen una serie de edificios escolares bioclimáticos proyectados desde el ámbito científico por la Dra. Arq. Celina Filippín. Uno de ellos, es la Escuela EGB3 de Catriló (Figura 4), al este de la provincia. La localidad posee clima templado frío, sub-húmedo y de transición por encontrarse en el límite de la Zona IV-c.

El proyecto es ideado en consideración al clima del lugar, procurando alcanzar niveles de confort térmico y ahorro energético, con el mayor aprovechamiento de recursos disponibles. Las pautas de diseño contempladas para la fase de proyecto son: orientación acorde con la captación solar pasiva para climatización e iluminación de espacios, utilización de masa térmica y baja permeabilidad en las envolventes, protección solar y refrescamiento pasivo a través de ventilación natural reforzada con aspiradores eólicos e intercambiadores de calor aire-tierra. Otro recurso utilizado para promover la climatización natural del espacio del laboratorio es un invernadero que puede ser utilizado para actividades pedagógicas. Las envolventes verticales se resuelven con la materialización de tres capas, la interior es de ladrillo macizo de 18cm, la del centro es de poliestireno expandido de 5cm, y la exterior de bloques de hormigón, que a su vez sirven de protección mecánica de la aislación. Por su parte, el cerramiento horizontal superior también se encuentra aislado, en un espesor de 7cm y doble capa de hormigón alivianado con el agregado de puzolanas (Filippín, 2005).

Una vez en funcionamiento, el edificio es monitoreado para extraer conclusiones de valor y realizar ajustes y mejoras necesarias. Las campañas de evaluación del comportamiento térmico y energético se realizan en distintos períodos del año, con el fin de conocer el ahorro de energía logrado y las temperaturas de confort promedio registradas. Para este caso, los resultados evidencian que el edificio alcanza un 50% de ahorro energético, con temperaturas de 21°C en el sector de aulas.



Figura 4: Escuela EGB3 de Catrillo, La Pampa. Arriba: Fotografías de la vista norte. Abajo: planta del conjunto con diferenciación de áreas.
Fuente: Filippín, 2021.

CLIMA TEMPLADO FRÍO. Zona Bioambiental IV

Se ubica a mayor altura en la Cordillera de los Andes y en la región llana del Centro y Sur del territorio. Ella se caracteriza por veranos poco rigurosos e inviernos fríos con TM comprendida entre los 4°C y 8°C. A su vez, la subzona “b”, llamada de *máxima irradiancia*, presenta grandes amplitudes térmicas (principalmente en verano), por lo tanto se recomiendan edificaciones con alta inercia térmica (IRAM 11.603, 2012).

La escuela de Algarrobo del Águila se ubica al Oeste de la provincia de La Pampa, con clima árido continental y vegetación desértica, y está diseñada con estrategias bioclimáticas. Al momento de tomar decisiones se tiene en cuenta el máximo asoleamiento, la ganancia solar directa y la minimización de pérdidas térmicas en el período invernal. También se contempla la ventilación natural, control solar y masa térmica de las envolventes para satisfacer las necesidades de las estaciones cálidas (Filippín, 2005). La tecnología constructiva de los muros se resuelve con ladrillo macizo de 18cm, aislación térmica de 4cm y revoque exterior sobre metal desplegado con estructura de madera de soporte. Para los techos se utiliza estructura resistente de losa cerámica prefabricada, barrera de vapor, aislación de poliestireno expandido de 8cm de espesor y chapa galvanizada como protección hidrófuga y mecánica (Figura 5).

En la fase de *uso* se llevan a cabo diversas campañas de monitoreo higrotérmico, con la utilización de instrumental específico, lo cual permite medir las condiciones ambientales de los espacios interiores. En complemento se realizan encuestas para conocer la opinión subjetiva de los usuarios. En ella, los alumnos, manifiestan sentirse en confort con temperaturas de 17°C en invierno (en vez de 20°C, que sugieren las normativas), cuyo efecto es un uso mínimo de los sistemas de calefacción permitiendo el ahorro de energía en un 90% (Filippín, 2005).

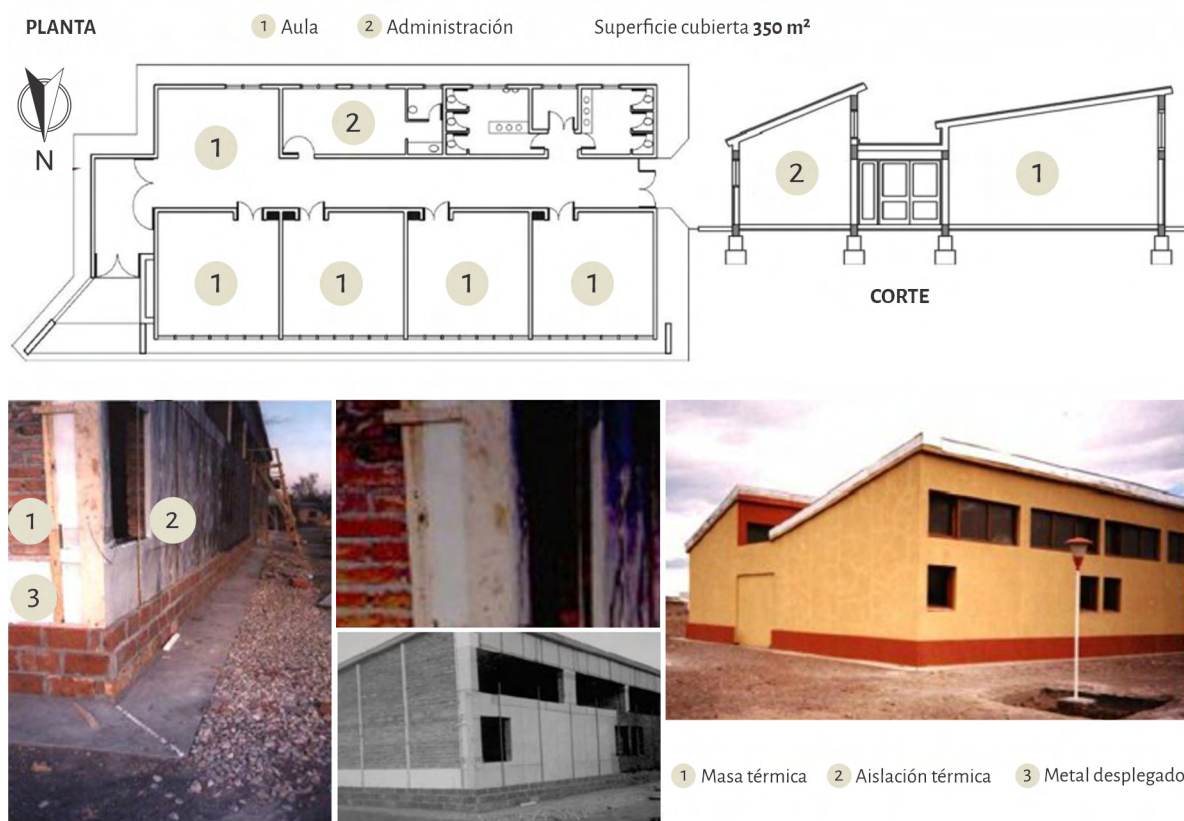


Figura 5: Escuela de Algarrobo del Águila, La Pampa. Ariba: planta del conjunto y corte transversal. Abajo: Fotografías de detalles constructivos y vista norte. Fuente: Filippín, 2021.

Por su parte, en Zona IV, subzona “d”, *marítima*, se encuentra la Escuela primaria N°12 emplazada en Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires (Figura 6). Esta Zona posee pequeñas amplitudes térmicas durante todo el año y altos valores de humedad relativa.

El edificio escolar, erigido en 2018, emplea criterios de sustentabilidad y responde a las premisas del método constructivo Earthship Biotecture del arquitecto norteamericano Michael Reynolds (1970). Estas construcciones se caracterizan por el poco o nulo uso de energía en la extracción, transporte y uso de los materiales para su construcción, logrando un bajo impacto medioambiental asociado. El municipio de Mar Chiquita, recibe el proyecto de un edificio escolar enmarcado en el programa Una Escuela Sustentable (2018). El programa, que se encarga de la coordinación de la obra, busca construir una red de escuelas públicas autosuficientes en América Latina.

El edificio posee 300 m², donde funcionan tres aulas, dos baños y una circulación a modo de invernadero con huerta. La tecnología constructiva de los cerramientos se resuelve con materiales reciclados, como neumáticos rellenos de tierra, usando la masa térmica para regular, de manera natural, la temperatura interior en estaciones cálidas y frías. El edificio se autoabastece de agua, aplicando el tratamiento de aguas grises y la recolección y potabilización de agua de lluvia. También genera energía eléctrica con integración de energías renovables, produce alimentos orgánicos y maximiza el uso de los recursos. Cuenta con una población de 60 niños y representa un espacio de aprendizaje y experimentación sobre los principios de sustentabilidad que persigue el programa. De esta forma, la escuela se convierte en un edificio que educa en el uso racional de los recursos, con su propio espacio de aprendizaje, dado que transmite conocimientos y valores a la comunidad (Una Escuela Sustentable, 2018).



Figura 6: Escuela N°12 de Mar Chiquita. Fuente: Una Escuela Sustentable (2018).

CLIMA FRÍO. Zona Bioambiental V

Comprende una extensa franja que se desarrolla de norte-sur en la Cordillera de los Andes, sumado a la región central la Patagonia. Este clima se caracteriza por inviernos rigurosos con temperaturas medias que rondan los 4°C y mínimas debajo de los 0°C. Los veranos son frescos, siendo las temperaturas promedio inferiores a los 16°C (IRAM 11.603, 2012).

Al Norte del país, el Colegio Secundario de Montaña de la localidad de 'El Alfarcito', se encuentra ubicado a 2.800 msnm, en una zona rural a 90 Km de la ciudad de Salta. El proyecto arquitectónico se basa en un DAC con integración de principios bioclimáticos orientados a la conservación del calor. La configuración funcional responde a una organización que propicia las orientaciones favorables (Figura 7).

Como sistema pasivo de calefacción, se utilizan muros 'Trombe' en los sectores del albergue y de las aulas, que permiten captar y acumular la energía solar de manera pasiva y entregarla al ambiente interior. Otras estrategias bioclimáticas son: GSD, ventilación natural y envolventes aisladas. También se integran sistemas activos para provisión de Agua Caliente Sanitaria mediante calefones solares, paneles solares fotovoltaicos

para energía eléctrica y colectores solares que trabajan forzados con ventiladores de bajo consumo eléctrico para la calefacción de la administración y dormitorios de docentes orientados al sur (Bocconi, 2018).

Asimismo, se destaca que el edificio es construido con la participación de la comunidad regional, en la fabricación de los ladrillos de adobe y en la recolección de piedras del lecho del río, utilizadas como revestimientos de muros. A su vez, el colegio propone prácticas sustentables que se evidencian en el sector de la huerta, cocinas y hornos solares, junto con actividades de reciclaje (Colegio Alfarcito, 2024).



Figura 7: Colegio Secundario de Montaña, El Alfarcito, Salta. Fuente: Bocconi (2018).

A su vez, el Colegio Secundario N°39, erigido en Villa de Antofagasta de la Sierra en Catamarca, es diseñado a partir de criterios de sustentabilidad y de estrategias bioclimáticas. La escuela albergue se encuentra localizada a 3.440 msnm, en una población rural con clima árido andino puneño. El proyecto arquitectónico responde a una configuración tipológica en forma de U e incorpora pautas de DAC para la zona caracterizada por grandes amplitudes térmicas y altos niveles de irradiación solar (Figura 8).



Figura 8: Colegio Secundario N°39, Catamarca. Izquierda: Planta con identificación de áreas. Derecha: muro doble con aislación de 7cm y espesor total de 45cm. Fuente: Walter et al., 2016.

Como estrategias bioclimáticas, se implementa la GSD a través de ventanas orientadas al Norte y al Este con un área colectora dimensionada en relación a un 20% de superficie útil del local a acondicionar. Otros sistemas pasivos utilizados son: un invernadero entre galería al norte y sector aulas y la presencia de muros Trombe en sector de los dormitorios (Figura 9).

En relación a la envolvente, se cuenta con carpintería de aluminio con vidrio doble laminado 3 + 3 mm de alta hermeticidad. Los accesos principales son resueltos con puertas trampa a fin de limitar las pérdidas de calor por infiltración. Complementariamente, se incorporan técnicas constructivas apropiadas con el uso de materiales locales y generación de energía solar-térmica. De esta manera, se minimiza el impacto ambiental, se reducen los costos de ejecución y se revalorizan técnicas tradicionales de construcción (Walter et al., 2016).



Figura 9. Colegio Secundario N°39, Catamarca. Izquierda: Sector aulas con galería/invernadero, orientado al norte. Derecha: muro Trombe en dormitorios. Fuente: Walter et al., 2016.

Conclusiones

El presente trabajo pone en valor obras de arquitectura nacionales con Diseño Ambientalmente Consiente. Los ejemplos analizados evidencian que es posible aplicar las estrategias bioclimáticas en proyectos de edificios escolares, así como también promover la materialización de las envolventes a partir de la integración de materiales locales, principalmente en los casos de zonas rurales o suburbanas.

Los beneficios de contar con niveles óptimos de confort térmico y eficiencia energética a partir de la incorporación de sistemas pasivos y activos, se vinculan a la disminución de los costos operativos como consecuencia del ahorro de energía, a la puesta en práctica de la responsabilidad por el medio ambiente y al mejoramiento de las condiciones interiores de los espacios para la educación.

Asimismo, a partir de considerar el potencial de contribución de la arquitectura escolar pública en el contexto energético, se ratifica la importancia de fomentar la elaboración de proyectos con DAC en los organismos gubernamentales encargados de la construcción de nuevas infraestructuras.

Por último, en respuesta a los vacíos regulatorios que se reconocen en los códigos de edificación provinciales y criterios de normativa escolar, para garantizar condiciones mínimas de acondicionamiento térmico del parque edilicio, se invita a reflexionar sobre la importancia de la incorporación de principios bioclimáticos y eficiencia energética, que permitan mejorar el desempeño térmico-energético durante la fase de uso.

Referencias Bibliográficas

- Bocconi, María (2018). Edificaciones amigables con el ambiente. CONICET. Recuperado de: <https://www.conicet.gov.ar/edificaciones-sustentables-amigables-con-el-ambiente/>
- Boutet, M.L., Hernández, A. y Jacobo, G. (2020). Methodology of quantitative analysis and diagnosis of hicrothermal and lighting monitoring for school buildings in a hot-humid midlatitude climate. *Renewable Energy*, vol.145, pp. 2463-2476.
- Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano (1951). *Código de edificación de la provincia de San Juan*. Aprobado por Resolución N° 5580. Modificado en 1964. Gobierno de la Provincia de San Juan.
- Droutsas, K., Kontoyiannidis, S., Balaras, C., Lykoudis, S., Dascalaki, E., Argiriou, A. (2021). Unveiling the existing condition and energy use in Hellenic school buildings. *Energy and Buildings*, vol. 247. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111150.
- Filippín, Celina (2005). *Uso eficiente de la energía en edificios*. Ediciones Amerindia. Santa Rosa, La Pampa.
- Filippín, C. (2021). Arquitectura bioclimática en La Pampa. Edificios públicos construidos y monitoreados entre 1994 y 2018. 4° Workshop regional sobre transición energética.
- Garzón, B. (2007). *Arquitectura Bioclimática*. Editorial Nobuko. Buenos Aires
- Giuliano, G. y Garzón B. (2016). Eficiencia Energética en Escuela Rural de Pellegrini, Santiago del Estero. Acta del I° ENCACS, pp. 303-314. Universidad Nacional de La Plata.
- IEA (2019). *Energy Efficiency 2019*. International Energy Agency.
- IRAM 11603 (2012). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Instituto Argentino de Normalización.
- Melchiori, M., San Juan, G. y Discoli, C. (2014). Comparación del comportamiento energético en dos establecimientos educativos: Campinas (Brasil) y La Plata (Argentina). *Estudios del hábitat*, UNLP, FAUD, vol.12, pp. 63-81.
- Michaux, C., Blasco Lucas, I., Ré, M. G., Femia, D. (2018). Análisis post-ocupacional de rehabilitación bioclimática de una escuela en la provincia de San Juan. Acta de la XLI Reunión de Trabajo de ASADES, vol.6, pp. 01.71-01.82.
- Ministerio de Educación (1998). *Criterios y normativa básica de arquitectura escolar*. Dirección de Infraestructura. Argentina
- Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (2004). *Manual de proyecto. Herramientas para el Programa Nacional 700 Escuelas*. Argentina.
- UNSE (2024). La UNSE participó en el diseño de una escuela bioambiental mediante articulación intersectorial. Recuperado de: <https://www.unse.edu.ar>.
- Secretaría de Energía de La Nación (2023). Balance Energético Nacional. Año 2022. Ministerio de Hacienda. Argentina.
- Tariq, R., Mohammed, A., Alshibani, A., Ramírez-Montoya, M. S. (2024). Complex artificial intelligence models for energy sustainability in educational buildings. Science reports. Doi: 10.1038/s41598-024-65727-5
- Thorsen, K. T. (2024). *Landscape Architecture*. Snøhetta. <https://www.snohetta.com/>
- Una Escuela Sustentable (2018). Escuela N°12 de Mar Chiquita. Recuperado de: <https://unaescuelasustentable.com/documentos/UnaEscuelaSustentable2018.pdf>
- Walter, E., Agüero, M., Watkins, M.G., Mansilla, G., Brizuela Barros, C. (2016). Escuela Bioclimática – Sustentable. Secundaria N° 39, Villa de Antofagasta de la Sierra, Catamarca. Acta del 1° ENCACS, vol. 1, pp. 01-07.