



PALABRAS CLAVE

Arquitectura,
Radiación solar,
Balance térmico,
Iluminación natural

KEYWORDS

Architecture,
Solar radiation,
Heat balance,
Natural lighting

CONTROL Y APROVECHAMIENTO SOLAR. UNA ESTRATEGIA BÁSICA PARA LA SUSTENTABILIDAD EDILICIA

USE AND SOLAR CONTROL. A BASIC STRATEGY
FOR THE SUSTAINABILITY OF BUILDINGS

> **SARA LÍA LEDESMA, VIVIANA MARÍA NOTA Y MARTA SUSANA CISTERNA**

Universidad Nacional de Tucumán
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Instituto de Acondicionamiento Ambiental
Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable

RECIBIDO

30 DE ABRIL DE 2021

ACEPTADO

20 DE FEBRERO DE 2022



EL CONTENIDO DE ESTE ARTÍCULO
ESTÁ BAJO LICENCIA DE ACCESO
ABIERTO CC BY-NC-ND 2.5 AR

> **CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO (NORMAS APA):**

Ledesma, S. L., Nota, V. N. y Cisterna, M. S. (Noviembre 2021 - Abril 2022). Control y aprovechamiento solar. Una estrategia básica para la sustentabilidad edilicia. [Archivo PDF]. *AREA*, 28(1), pp. 1-21. Recuperado de https://www.area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA2801/2801_ledesma_et_al.pdf

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo presentar los resultados de investigaciones relacionadas con la incidencia del sol en el comportamiento energético final del edificio y por lo tanto en las decisiones que el proyectista va a tomar en las diferentes etapas del diseño arquitectónico. Se presentan estudios desarrollados en el Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable (CEEHAS) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT), que muestran la influencia del sol en la configuración urbana, en la definición de las parcelas y del partido arquitectónico de la vivienda social, en la resolución de ventanas en aulas y la incidencia solar sobre las superficies opacas de la envolvente. Se demuestra la importancia de considerar la radiación solar como factor determinante para el acondicionamiento natural de los espacios interiores.

> ACERCA DE LAS AUTORAS

SARA LÍA LEDESMA. Arquitecta. Profesora Titular de la Cátedra Acondicionamiento Ambiental I de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Investigadora Categoría de I, del Programa de Incentivos. SPU. Directora del Instituto de Acondicionamiento Ambiental (IAA) de la FAU-UNT. Codirectora del Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable, (CEEHAS). Integrante del Comité Académico y Docente de la Carrera de Postgrado “Especialización en Arquitectura sustentable” de la FAU-UNT. Directora de proyectos de investigación y extensión. Directora de becarios e investigadores. Es coautora de libros, capítulos de libros, artículos en revistas y presentaciones en congresos nacionales e internacionales. Asesora bioclimática, ha realizado numerosos trabajos de asesoramiento y asistencia técnica a empresas y organismos públicos.

✉ <sledesma@herrera.unt.edu.ar>

VIVIANA MARÍA NOTA. Profesora Asociada de la Cátedra Acondicionamiento Ambiental I de la FAU-UNT. Investigadora Categoría II del Programa de Incentivos a los Docentes Investigadores. Especialista en Arquitectura Sustentable. Directora del proyecto de investigación SCAyT-UNT N°26B/405 (2008-2012). Coautora de los libros *Diseño Bioclimático de Oficinas, pautas para San Miguel de Tucumán; Instalaciones Complementarias en Edificios de Baja Complejidad; Habitabilidad en edificios, propuesta*

ABSTRACT

This work aims to present the results of the research related to the incidence of the sun in the building's final energy performance and therefore in the decisions that the designer must make in the different stages of architectural design. Studies carried out in the metropolitan area of Tucumán (AMeT) are presented, which show the influence of the sun in the urban configuration, in the definition of the plots of land and the architectural project of social housing, in the resolution of classrooms' windows and the solar influence on the opaque surfaces of the building's envelope. The significance of considering solar radiation as a determining factor for the natural conditioning of interior spaces is also demonstrated.

de normas para Tucumán, y Tecnologías para el hábitat, el aprovechamiento energético y el desarrollo productivo en áreas rurales de Tucumán. Autora y coautora de más de 40 trabajos y artículos en congresos y revistas nacionales e internacionales. Realiza trabajos de asesoría técnica a instituciones y empresas para el acondicionamiento térmico y adecuación climática de edificios. Consejera Titular del Consejo de Extensión de la FAU-UNT en representación del Instituto de Acondicionamiento Ambiental desde 2015.

✉ <vnota@herrera.unt.edu.ar>

MARTA SUSANA CISTERNA. Arquitecta. Profesora Adjunta de la Cátedra de Acondicionamiento Ambiental I de la FAU-UNT. Investigadora categoría III CIUNT. Desde hace 20 años dirige o codirige proyectos de investigación sobre temática medioambiental. Directora de becarios CIUNT. Ha cursado la carrera de Doctorado en Arquitectura en la FAU-UNT. Tesis en desarrollo, director: Dr. Arq. A. Maristany. Junto al Prof. Psic. J. V. Garbero dicta el seminario “Análisis crítico comparativo entre normativa vigente y valoración subjetiva del ‘Confort Ambiental’. Factores psicológicos, sociológicos y antropológicos”, en la carrera de Especialización “Arquitectura Sustentable” de la FAU-UNT. Es coautora de 3 libros, numerosos capítulos en libros, artículos en revistas y presentaciones en congresos.

✉ <mcisterna@herrera.unt.edu.ar>

Introducción

Problemática: energía y ambiente

Gran parte de este mundo está sintiendo las consecuencias de los daños medioambientales que se fueron generando a lo largo de los años y está reconociendo el peligro que supone para nuestra civilización el cambio climático, consecuencia en gran medida de la contaminación de nuestra atmósfera. Cabe reconocer que el desarrollo económico se basa mayormente en el uso de los combustibles fósiles, cuyo elevado consumo genera serios perjuicios al ambiente; por lo que podríamos decir que nos encontramos ante “una prosperidad momentánea, que no se puede sostener y amenaza la existencia de futuras generaciones” (Ando, 2002).

El crecimiento del consumo de combustibles fósiles, fuentes energéticas dominantes en esta sociedad, se ha sostenido a través de los años, desde mediados del siglo XIX y se estima que continuará en permanente ascenso, tanto por el crecimiento poblacional, como por el aumento del consumo per cápita a nivel global. Este uso de combustibles ha generado que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), donde el suministro y utilización de combustibles fósiles contribuye en aproximadamente un 80% a las emisiones producidas por el hombre, se hayan incrementado en forma ininterrumpida desde la era preindustrial. Son numerosos los indicios que relacionan dicho incremento con el aumento de la temperatura del planeta, cuya tendencia en ascenso es incuestionable. Desde la década del setenta y a partir de la crisis del petróleo, se instaló esta temática en las agendas internacionales, no obstante, en la actualidad aún con los vigentes acuerdos de mitigación, las emisiones de GEI no han logrado reducirse y son muchas las actividades asociadas con la emisión de gases, que forman parte fundamental de la vida moderna (Ledesma, 2017).

Los científicos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) identifican tres líneas de trabajo para lograr sistemas energéticos que mitiguen el cambio climático: la descarbonización del sector energético; la reducción de la demanda de energía final y el cambio a combustibles bajos en carbono (IPCC, 2013). Dentro de la segunda línea de trabajo, se encuentra el área de la edificación, no cabe duda de que resulta necesario reconocer el impacto que generan los edificios, su construcción y sobre todo su uso, sobre el consumo

energético y el medio ambiente; en nuestro país cerca del 34% del consumo de la energía proviene del área edilicia (EPRE, 2016).

Arquitectura ambientalmente consciente, hacia un futuro sostenible

El principio de sostenibilidad en la edificación está relacionado básicamente con el consumo de energía del edificio, incluyendo la energía empleada en la fabricación y traslado de los materiales, la utilizada en la construcción, pero sobre todo en la energía que se utilizará a lo largo de la vida útil del edificio (Ledesma, 2018). Estudios sobre la relación existente entre las decisiones de diseño y el comportamiento energético edilicio, demuestran cómo las características arquitectónicas influyen en las demandas de energía para el acondicionamiento térmico y lumínico en el sector residencial, generando a su vez, impactos ambientales y emisiones GEI (Evans y De Schiller, 2016).

Al edificio hay que entenderlo como un sistema, inserto dentro de un macrosistema complejo y condicionante, donde el éxito de la acción proyectual dependerá en definitiva de cuánto y qué bien conozcamos y manejemos el contexto receptivo (Fernández, 2013). Uno de los componentes de ese macrosistema es el clima del sitio, con sus atributos particulares, que son fundamentales para tener en cuenta al diseñar un edificio que permita aprovechar, de la mejor manera, la energía natural, constituyendo una eficaz manera de conservar la energía. Estudios demuestran que la adaptación de los proyectos urbanísticos y arquitectónicos a los condicionantes climáticos locales permiten generar entornos y edificios optimizados desde el punto de vista ambiental, con mayor grado de eficiencia térmica (Pérez Galaso, 2015). Las soluciones arquitectónicas deben tener en cuenta el conjunto de elementos del clima a fin de lograr una estructura climáticamente equilibrada, definida esta última como aquellas estructuras que, en un entorno determinado, reducen tensiones innecesarias aprovechando todos los recursos naturales que favorecen el confort humano (Olgyay, 2008). Una definición proyectual armoniosa entre las condiciones del medio ambiente exterior a un edificio, los sistemas de control del mismo y las respuestas fisiológicas y psicológicas de los usuarios, demandará un enfoque holístico que tome en cuenta los distintos elementos climáticos, con sus variaciones estacionales, las características del entorno y la

envolvente edilicia, esta última será un tamiz selectivo que permita el ingreso de aquellos elementos beneficiosos para el confort interno y filtre los perjudiciales (Gonzalo, 2003). Una construcción fuertemente relacionada con el emplazamiento, el clima, los materiales locales y el sol, propicia una arquitectura que presenta afinidades con las variaciones climáticas, en armonía con el medio ambiente y brinda la posibilidad de un consumo reducido de energías (Mazria, 1983).

Partiendo de este enfoque, la discusión del trabajo, se centra en la radiación solar y la temperatura y en la relación existente entre estos elementos climáticos que condicionan directamente las sensaciones de confort del hombre. El objetivo de lograr un edificio sostenible debe guiar las primeras decisiones que se toman durante el proceso de diseño, desde las propuestas iniciales hasta los detalles de la construcción. El conocimiento de las estrategias que permiten adaptar el diseño a las condiciones climáticas de la localidad de implantación, brinda la posibilidad de lograr, de manera natural, adecuados niveles de confort térmico (Singh, Mahapatra y Atreya, 2010).

El Área Metropolitana de Tucumán (AMeT), contexto físico en el cual se realizaron los estudios, presenta una prolongada estación cálida, con necesidades de sombra en seis meses del año (octubre a marzo) y requerimientos de enfriamiento para alcanzar el confort en el 31% de las horas anuales. El período presenta en porcentajes similares los requerimientos de calefacción,

32%, y el asoleamiento es beneficioso en el 68% de las horas de sol anuales (Figura 1). Las principales estrategias bioclimáticas para el sitio de estudio, se encuentran directamente relacionadas con el aprovechamiento de la radiación solar en invierno, para proveer de calefacción solar pasiva a los espacios interiores y con el control de la incidencia solar en verano, para disminuir las ganancias de calor a través de la envolvente. Teniendo en cuenta las mencionadas estrategias se realizaron estudios en diferentes escalas de análisis, acerca de la importancia de considerar la influencia de la radiación solar sobre el comportamiento energético final edilicio. Se presentan los resultados de los estudios realizados sobre las posibilidades y beneficios de plantear un adecuado aprovechamiento y control solar, en relación con las decisiones de diseño referidas a las configuraciones de parcelas, a la definición del partido arquitectónico de la vivienda social, a la resolución de ventanas en aulas y a la resolución constructiva de superficies opacas de la envolvente.

Estudios de casos y resultados alcanzados

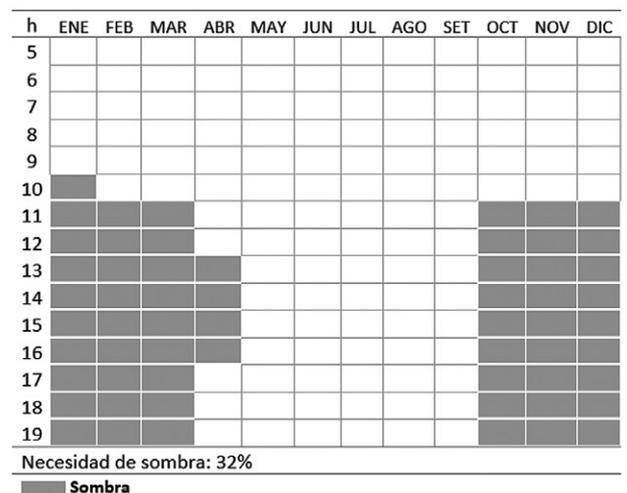
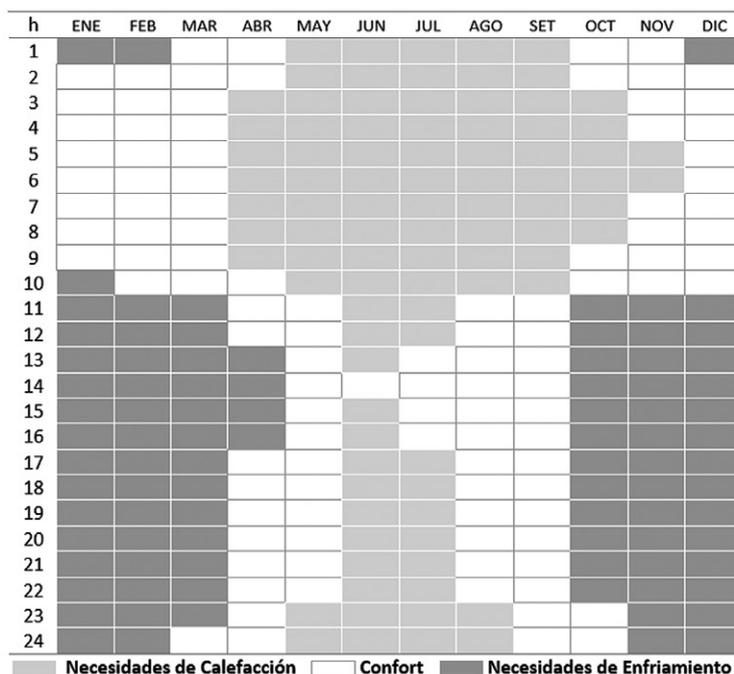
Sobre los aspectos ambientales en la planificación urbana. Algunas propuestas

En nuestras ciudades actuales se evidencia el deterioro en sus condiciones ambientales, cuyos habitantes deben recurrir a

Figura 1

Diagrama de solicitaciones térmicas para el confort y necesidades de protección del sol para el AMeT.

Fuente: elaborado por las autoras (Gonzalo, 2003).



sistemas de climatización durante todo el año para estar en confort (Tornero, Pérez Cueva y Gómez Lopera, 2006). Esto se debe en gran medida a la especulación inmobiliaria que, apoyada en las inadecuadas normas urbanísticas, ha cambiado la fisonomía urbana. La provincia de Tucumán, que cuenta con una población de 1.448.188 habitantes (INDEC, 2010), de la cual el 77% reside en la zona urbana, presenta como una de sus características relevantes, la alta densificación del área central (AA.VV., 2007). La estructura urbana, de dicho sector densamente poblado, está conformada por manzanas cuadradas, con frentes de similares dimensiones para todas las orientaciones, trazados de calles que no responden a criterios de asoleamiento, loteos que generan edificios con fachadas y patios mal orientados, escasa presencia de espacios verdes y centros de manzana que no se utilizan. Muchas de las edificaciones en altura no cuentan con posibilidades de lograr adecuadas condiciones de asoleamiento, ni de ventilación e iluminación natural. Como consecuencia, debido a las características climáticas de la ciudad, los habitantes de estos edificios deben recurrir, para alcanzar las condiciones de confort ambiental, al acondicionamiento artificial de aire tanto en invierno como en verano, con los altos consumos energéticos que esta situación trae aparejado. En este contexto, en el cual las normativas vigentes carecen de un criterio ambiental sobre las orientaciones, las alturas de las edificaciones y el perfil de las manzanas en relación con los aspectos antes enunciados, la aplicación de los principios del diseño con sistemas pasivos constituye un desafío y una tarea pendiente en la planificación urbana.

Concordando con lo expresado por Kahn que afirma que existe la necesidad de adaptar la planificación urbana de la ciudad para poder hacer frente a los desafíos medioambientales que genera su crecimiento (Kahn, 2006), se realizaron estudios sobre las condiciones ambientales del área central de la ciudad, considerando el código de edificación vigente (Gonzalo, Ledesma y Nota, 2000).

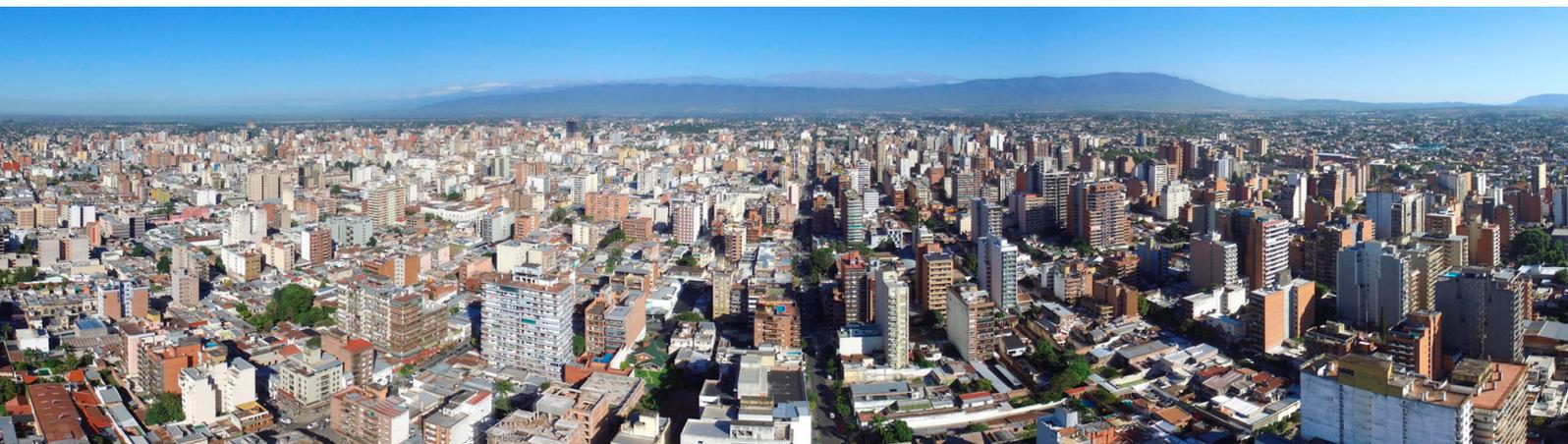
Se definieron los perfiles urbanos de acuerdo con el código, para cinco distritos del área central de San Miguel de Tucumán (SMT), se evaluaron las condiciones de asoleamiento, en frentes y contrafrentes de los edificios, en los solsticios de verano e invierno, además de las condiciones de iluminación natural, en los diferentes niveles de los edificios y las condiciones de ventilación natural, recurso básico para el enfriamiento natural de los espacios interiores.

En relación con las condiciones de asoleamiento, los resultados alcanzados demostraron que, debido a las alturas y perfiles permitidos se generarían extensas áreas de fachadas sin posibilidades de recibir radiación solar directa, aún con una buena orientación, por lo que no podrían aprovechar el potencial solar para la calefacción pasiva en invierno, así también se generarían extensas áreas de fachadas expuestas a las orientaciones en donde se requerirá proteger la incidencia solar en el período cálido para evitar el sobrecalentamiento de los edificios.

Se puede afirmar, a partir de ello, que nuestra ciudad requiere normativas que consideren los aspectos ambientales, para alcanzar edificaciones sustentables, se realizaron propuestas con el objetivo de servir de base para posibles modificaciones

Fotografía 1

San Miguel de Tucumán, panorámica aérea.
Fuente: © CC-BY-SA 4.0
Aeropuerto Internacional de Tucumán, Wikimedia Commons. Recuperado de <http://aerpuertotucuman.blogspot.com.ar/2017/04/historico-anunciaron-oficialmente-los.html>

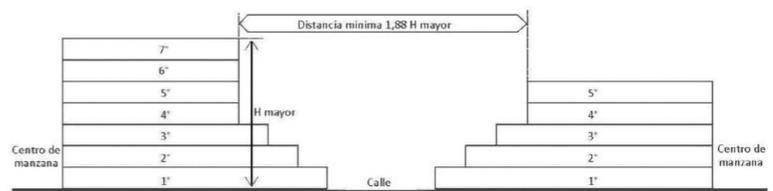
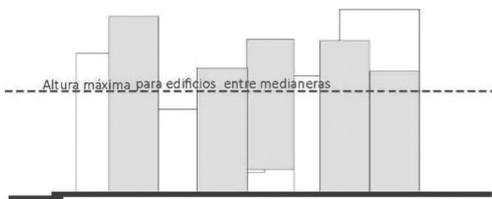


del actual código de edificación o para regular futuras urbanizaciones. Los objetivos básicos tomados en cuenta fueron:

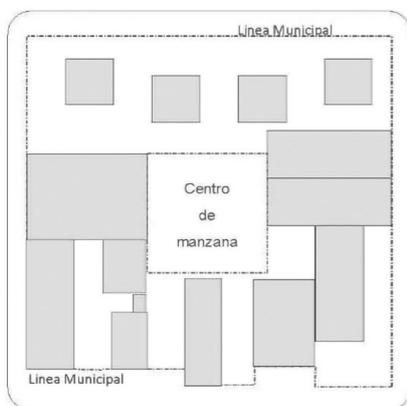
- > Promover la construcción de edificios de semi perímetro o perímetro libre con el objeto de mejorar el asoleamiento, ventilación e iluminación natural de los edificios y del centro de manzana en diferentes horarios y épocas del año.
- > Limitar la cantidad de edificios entre medianeras, que generan los problemas de asoleamiento en la manzana, basados en las siguientes consideraciones:
 - (1) Determinar el número de pisos según se trate de edificio entre medianeras, de semi perímetro libre o de perímetro libre.
 - (2) Permitir aumentar el número de pisos de los edificios de semi y de perímetro libre.
 - (3) Aumentar la relación altura del edificio-distancia a la medianera.
- > Regular las alturas edilicias máximas: permitir mayores alturas para edificios de frente norte, por ser los que cuentan con la mejor situación de asoleamiento en invierno y no obstruyen las demás fachadas y reducir las alturas permitidas en edificios de fachada sur y oeste a la calle debido a que presentan las situaciones ambientales más desfavorables.

Entendiendo qué espacios pueden constituir un sistema capaz de corregir y moderar las condiciones de asoleamiento en verano, permitir el asoleamiento en invierno, además de servir como espacios de relación y uso social (Akbari, 2002; Higuera García, 1998), se propone:

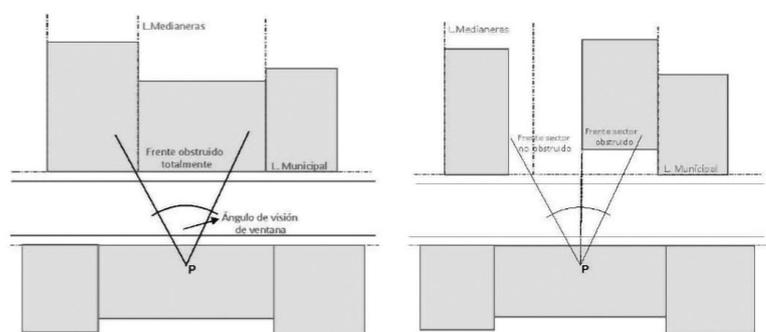
- > Integrar, ampliar y diseñar convenientemente los espacios libres urbanos con el fin de contar con espacios verdes, de diferente escala y características, que permitan mejorar las condiciones de asoleamiento, iluminación y ventilación natural en las zonas que presentan edificaciones en altura.
- > Promover la incorporación de los centros de manzanas como espacios verdes de uso público o semi público.
- > Generar retiros en los frentes de edificios que permitan lograr un ajardinamiento sobre la línea municipal y que contribuyan a los espacios verdes urbanos.
- > En los nuevos trazados urbanos, promover amanzanamientos desarrollados sobre un eje mayor con sentido este-oeste, a fin de posibilitar lotes con frentes o contrafrentes hacia la orientación norte.



Escalonamiento para lograr mayor distancia en las obstrucciones exteriores



Perfil urbano propuesto



Situación actual de perfil continuo y propuesta de perfil irregular para disminuir la influencia de las obstrucciones

Figura 2
Propuestas para el área central de la ciudad de AMeT.
Fuente: adaptado de Gonzalo, Ledesma y Nota (2000).

Sobre la configuración de las parcelas. Relación entre la orientación y el comportamiento energético edilicio

Los parámetros urbanísticos relativos a la posición de los lotes determinan en gran medida el emplazamiento del edificio y, en función de él, las posibilidades de un adecuado asoleamiento. Por ello, es de gran importancia la consideración de los aspectos ambientales en la disposición de parcelas en el terreno a fin de mejorar la calidad habitacional en los edificios (Guerra Menjívar, 2012).

Un ejemplo de la importancia de considerar un adecuado loteo, se puede observar en el estudio sobre el proyecto de un barrio de 40 viviendas de interés social, en San Pedro de Colalao, comuna rural, de la provincia de Tucumán. En el planteo original, el conjunto de viviendas presenta un elevado número de viviendas con frente este (E) y oeste (O), orientaciones desfavorables ya que en verano, resulta difícil la protección de la

incidencia solar para evitar el sobrecalentamiento interior y en invierno, la radiación incidente es inferior a la norte, por lo que se disminuye la posibilidad de calefaccionar pasivamente. Atendiendo a ello, se realiza una propuesta de loteo con el fin de acercar a la mayoría de los lotes a las orientaciones norte (N) y sur (S) (Figura 3) (Gonzalo, Ledesma y Nota, 2015).

La influencia de la radiación solar se puede observar en los balances térmicos de las unidades según su orientación, lo que permitió cuantificar y comparar el intercambio diario de calor a través de la envolvente de la vivienda bajo distintas situaciones de asoleamiento. Se puede apreciar la conveniencia de orientar los principales frentes hacia el N, ya que en invierno el aporte del sol determina que los requerimientos de energía para calefacción son un 81% menor que las viviendas con frente O y en verano, los requerimientos para enfriamiento un 12% menor, debido a la baja incidencia solar.

Figura 3

Loteo original y alternativa propuesta.
Fuente: elaborado por las autoras.

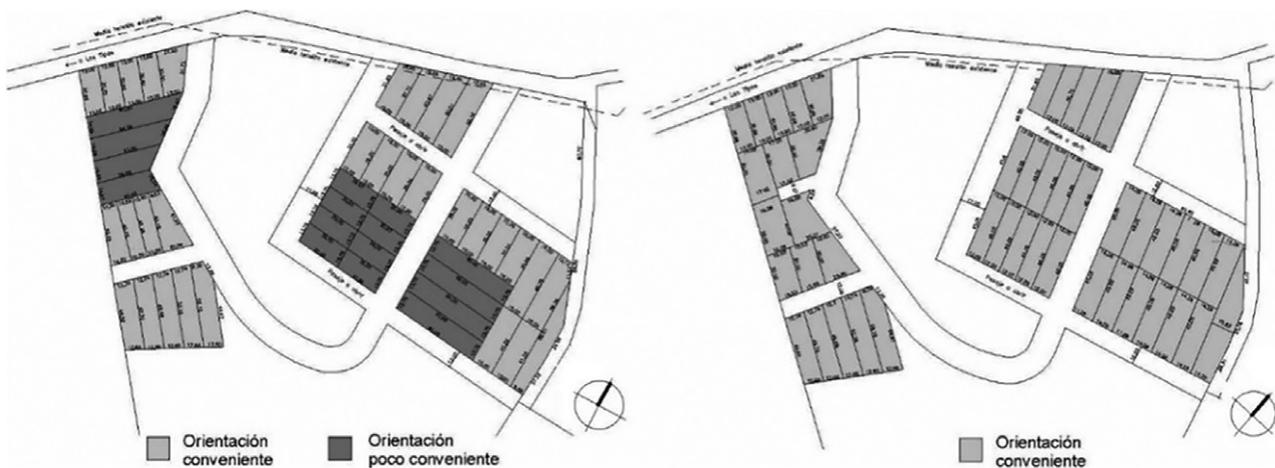


Tabla 1. Orientación de las viviendas, según lotificación

POSICIÓN DEL PROTOTIPO				
	Frente N	Frente S	Frente E	Frente O
LOTEO ORIGINAL	51%	51%	51%	51%
LOTEO PROPUESTO	51%	51%	51%	51%

Fuente: elaborado por las autoras.

Se observa, en la Figura 4, el aporte de calor a través de los diferentes elementos de la envolvente, pudiéndose apreciar que las mayores ganancias son las producidas a través de las ventanas. Para la situación de verano, estación en la que se deben minimizar las ganancias de calor, las ventanas del prototipo orientado al O presentan un aporte diario de 12.139 W, un 27% superior al prototipo N, que muestra una ganancia de 9.546 W. Esto muestra claramente el efecto que causa la radiación solar sobre el elemento más débil, desde el punto de vista térmico, de la envolvente (Evans, Eguía, Pérez y Evans, 2003). Y para el caso de invierno, estación en la que es favorable la incidencia de la radiación solar con su consiguiente aporte de calor, se puede observar que las mayores ganancias diarias a través de las ventanas, son las producidas en el prototipo con frente N, 8.061 W, siendo tres veces superior a los registrados en el frente O, 2.451 W.

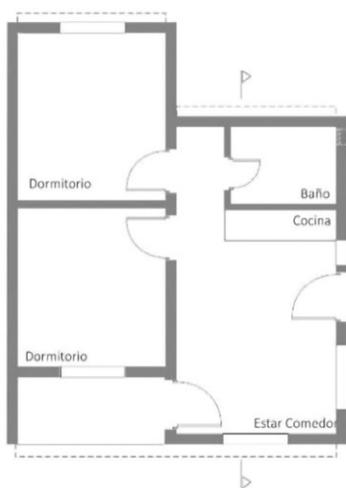
A partir de estos resultados se pueden apreciar los beneficios que brinda la orientación N. Las viviendas que cuentan con dicha orientación, presentan en invierno las mayores ganancias de calor y, en verano, los menores requerimientos de energía para la extracción del calor y enfriamiento de las mismas. Para lograr estas condiciones es fundamental, promover amanzanamientos que se desarrollen sobre un eje mayor con sentido E-O, a fin de lograr que el mayor número posible de edificaciones cuenten con una adecuada orientación.

Sobre la consideración temprana del asoleamiento en el diseño de la vivienda

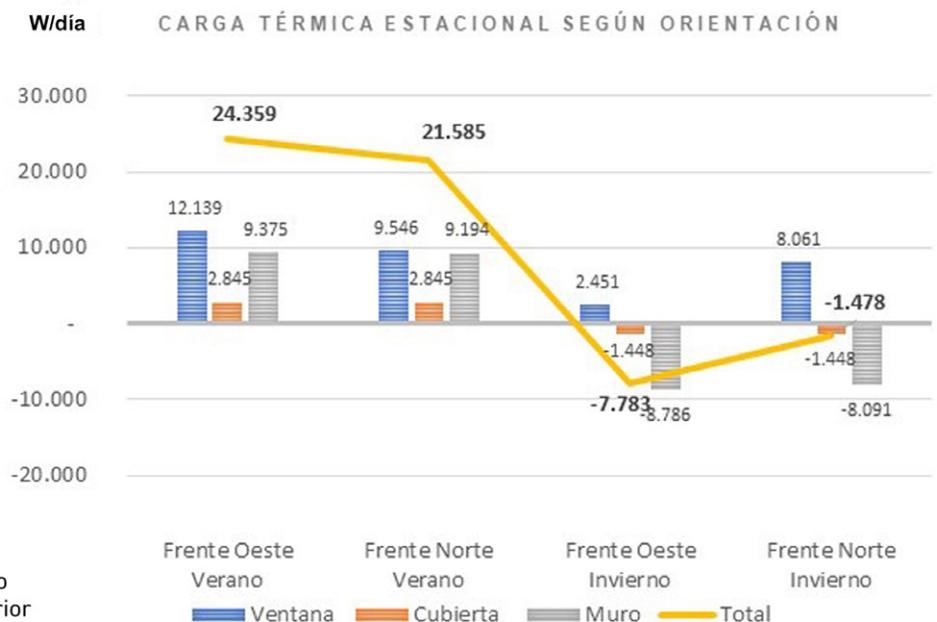
La consideración de la incidencia solar en el diseño de las viviendas resulta de gran importancia para lograr ambientes confortables con el mínimo uso de energías convencionales. La radiación solar es un importante elemento del clima y se relaciona con la arquitectura, de diferente forma y distintos objetivos, entre los cuales se encuentra proporcionar confort térmico de manera natural. En las primeras etapas del diseño, la incidencia solar, debe ser condicionante en la elección de la ubicación de los locales principales de la vivienda. La orientación norte, recibe por día en invierno la mayor carga térmica, 4.000 W/m², debido a la baja altura solar, por lo que es importante el aporte de calor a los ambientes ubicados hacia esta orientación y en verano, debido a que el sol alcanza su mayor altura e incide en forma oblicua, el norte presenta una baja carga térmica, 850 W/m².

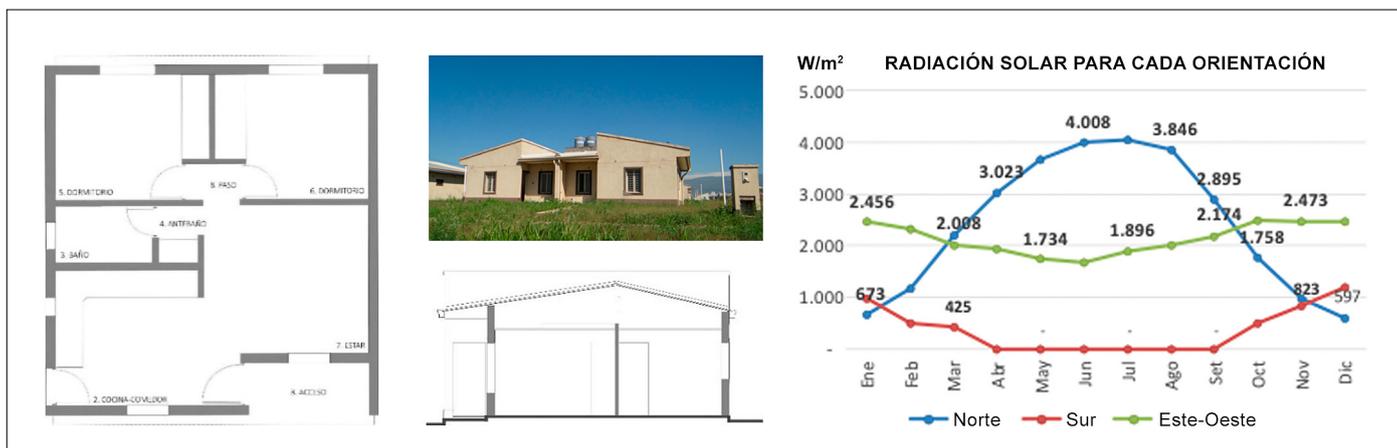
Un ejemplo sobre la importancia de considerar el asoleamiento en el diseño, lo brinda el estudio de las viviendas del Conjunto Habitacional “Lomas de Tafi”, perteneciente al AMeT. Se realizó un análisis comparativo de un prototipo que corresponde a un diseño convencional de vivienda, con una propuesta de vivienda mejorada, según pautas de adecuación climática (Ledesma, Nota y Gonzalo, 2012).

Figura 4
Prototipo analizado y ganancias y pérdidas de calor a través de los diferentes elementos de la envolvente.
Fuente: elaborado por las autoras.

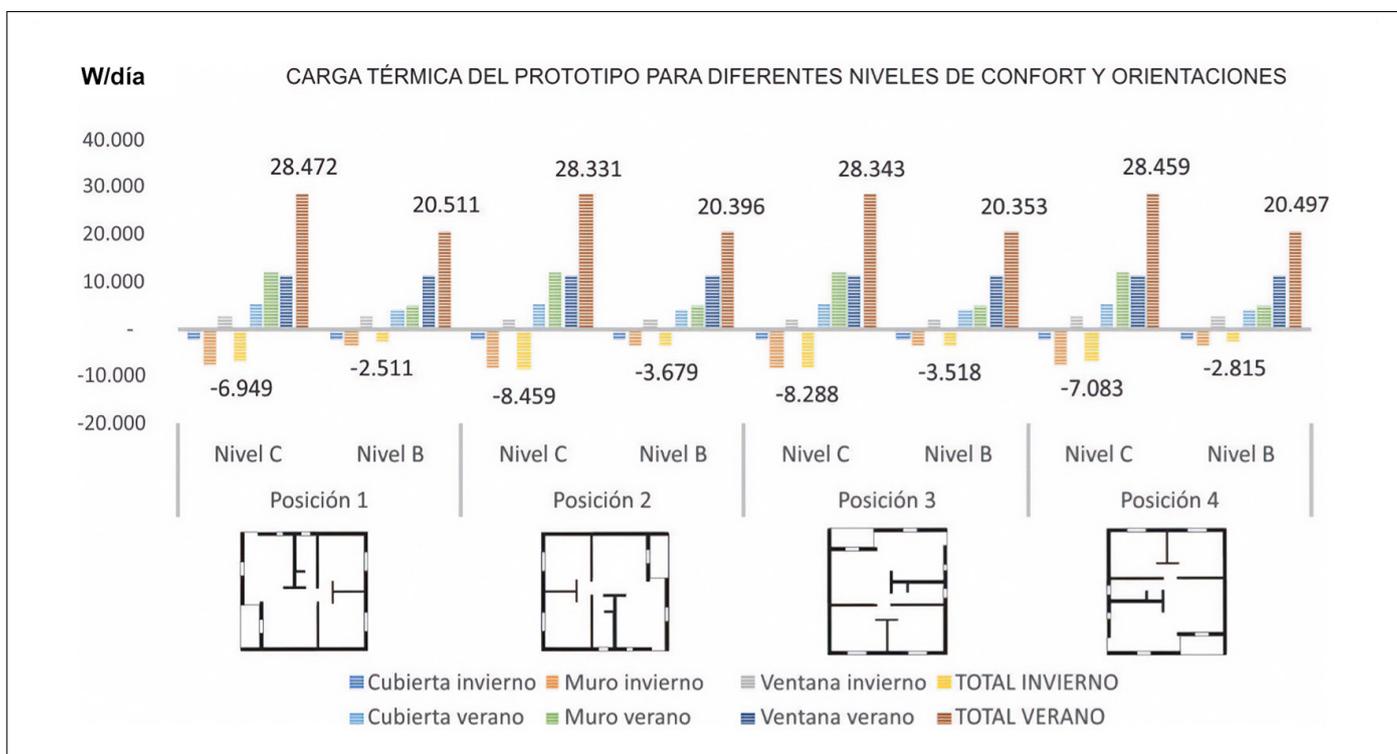


Techo: chapa, cámara aire, lana de vidrio de 1" y placa yeso. Muros: revoque exterior e interior, ladrillo hueco 0,18 m





5



6

Con el fin de cuantificar las mejoras en el comportamiento térmico producidas por la modificación de la envolvente, se evaluó el prototipo girado a 90°, en las orientaciones noreste (NE), sudeste (SE), noroeste (NO) y sudoeste (SO), o sea bajo distintas condiciones de asoleamiento, se consideró, además, diferentes características constructivas de los cerramientos: a) con muros que verifican el Nivel C y cubierta el Nivel B de la Norma IRAM 11605; b) con muros y cubierta que verifican Nivel B. Los resultados se muestran a continuación: Al analizar los resultados de la situación invernal, se puede observar que, los prototipos con envolvente Nivel C con frente NO,

presentan la situación más conveniente, dado que registran las mejores condiciones de asoleamiento invernal, por lo que los requerimientos energéticos para calefacción, son en el orden del 20% menores al prototipo más desfavorable (frente SE). Entre los prototipos con envolvente mejorada, los que tienen frente NO, presentan requerimientos energéticos en el orden de un 32% menores con respecto al frente SE. Así también, al comparar los requerimientos energéticos del prototipo mejor orientado (frente NO), para ambas situaciones de envolvente observamos que, al mejorar la resistencia térmica de los muros, se registra una reducción en las cargas de

Figura 5
Prototipo de vivienda analizado y radiación solar en las diferentes orientaciones.
Fuente: elaborado por las autoras.

Figura 6
Comportamiento térmico del prototipo de vivienda según niveles y orientaciones.
Fuente: elaborado por las autoras.

calefacción en el orden del 65% y una reducción del 28% en las cargas de enfriamiento. Una mayor reducción en las cargas de enfriamiento se lograría si se plantearan protecciones en las ventanas.

En un estudio posterior, se modificó el diseño de la planta bajo la premisa de lograr las mayores superficies de fachada y los principales locales orientados hacia el NO y mantener dicha orientación en todas las unidades, independientemente que el frente sea hacia el NO o SE.

Se plantearon aleros para la protección de la radiación solar en superficies opacas y celosías en las ventanas, se consideró también la posible incorporación de una galería, al frente NO de la vivienda, hacia los laterales, lo que significaría en este último caso, contar con un terreno con diferentes proporciones. La consideración de las estrategias básicas de diseño bioclimático, posibilitan mejorar el balance energético global. Se puede observar en Figura 9, en la página siguiente, una reducción de la carga térmica diaria, el prototipo original, en invierno presenta una pérdida de calor de 6.949 W y en verano una ganancia de 28.472 W, en cambio la vivienda

modificada, presenta en invierno ganancias en el orden de 2.000 W y en verano una carga térmica de 8.254 W.

Es posible afirmar que la solución más favorable presenta una notable reducción de los requerimientos energéticos para la calefacción y el enfriamiento, acercando la vivienda a mejores condiciones de confort ambiental, con una disminución del consumo energético.

La importancia del control solar en locales áulicos

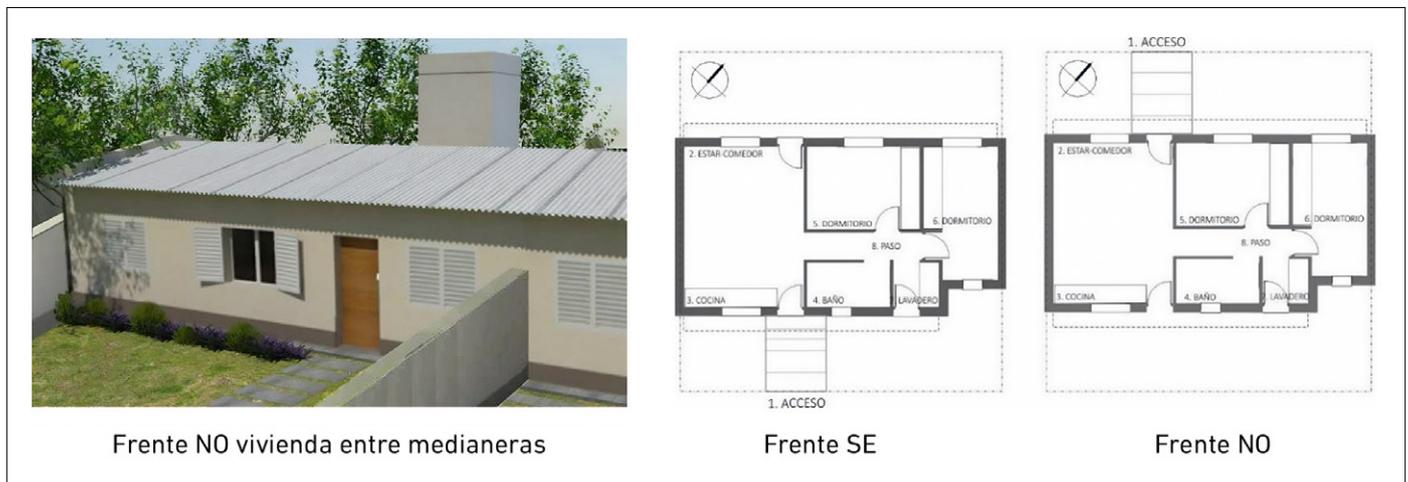
En el diseño de edificios escolares, es importante considerar los aspectos ambientales para lograr los mayores niveles de confort de manera natural, con el uso racional de las energías no renovables. Es fundamental diseñar una envolvente que considere el asoleamiento, tanto en invierno como en los meses cálidos (Muñoz, 2018). Las ventanas deben ser cuidadosamente diseñadas, con el fin de controlar la incidencia de radiación solar directa sobre el plano de trabajo para evitar el deslumbramiento y sobrecalentamiento del aire interior, principalmente en verano (Ré y Bianchi, 2020).

Figura 7

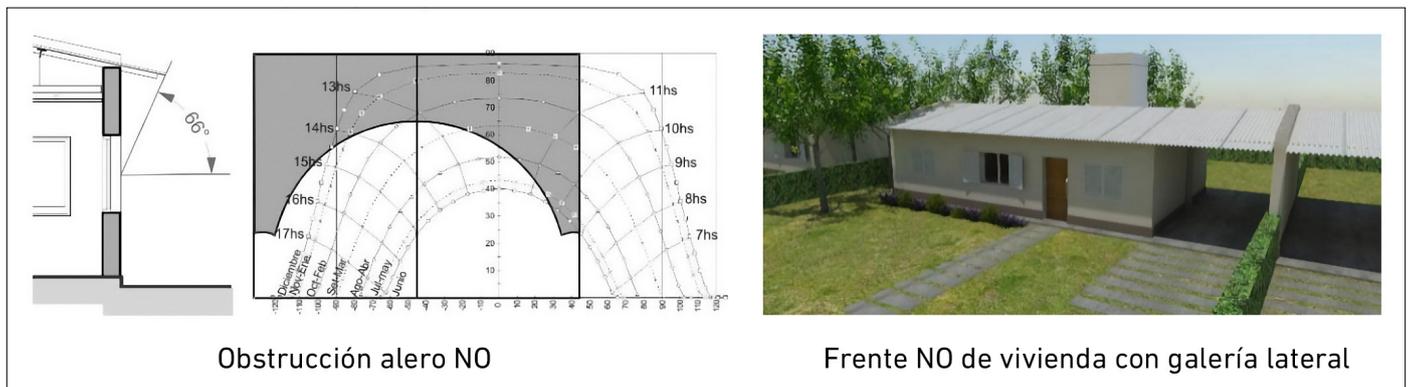
Vivienda propuesta con dos situaciones de acceso del lote.
Fuente: elaborado por las autoras.

Figura 8

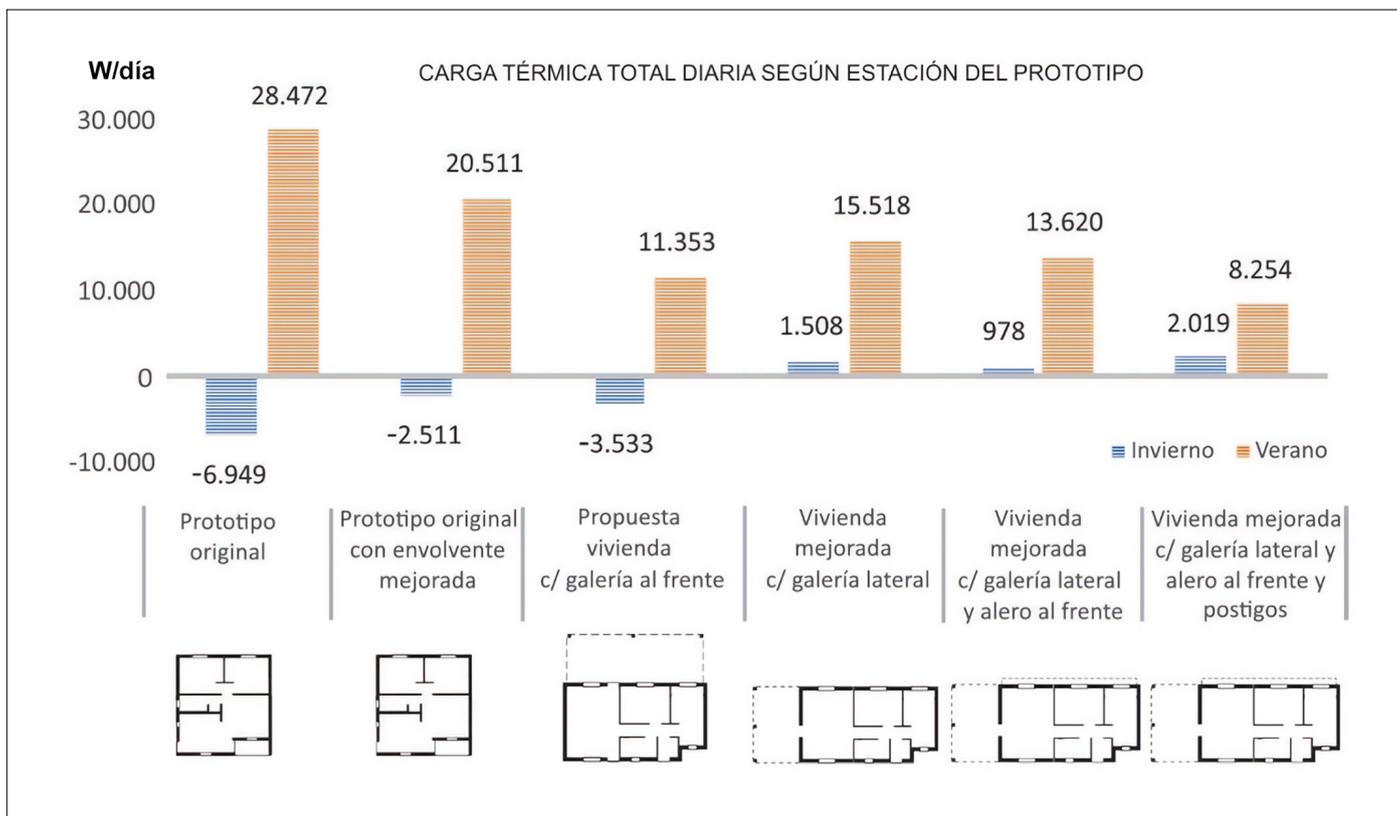
Planteo de aleros
Fuente: elaborado por las autoras.



7



8



9



10

Es habitual, en las escuelas que se construyen en la provincia, el uso de ventanas simples, en algunos casos con aleros o protecciones fijas tipo casetonados, de iguales dimensiones en todas las orientaciones de fachada. Relevamientos de escuelas prototípicas, muestran una falta de adecuación a las condiciones ambientales, resultando edificios altamente ineficientes tanto desde el punto de vista del control solar, como de la cantidad de luz proporcionada. Como un ejemplo sobre las mejoras posibles de alcanzar a partir de la incorporación de los aspectos ambientales en edificios escolares, se presenta una propuesta de diseño de

las ventanas, desarrollada con el objetivo de lograr el efectivo aprovechamiento de la iluminación natural y un adecuado control de la radiación solar. El sistema diseñado, de resolución constructiva simple y económicamente viable, se adapta a la situación económica de las escuelas públicas en nuestra provincia. En una etapa inicial, se estudió la incidencia en la distribución de la iluminación natural y el control de la radiación solar de parasoles prototípicos. Esto último se observa en la Tabla 2 que muestra la eficiencia porcentual de las obstrucciones medidas sobre el punto medio de la ventana. Los resultados alcanzados, permitieron concluir que la

Figura 9
Comportamiento térmico de prototipo original y de alternativas propuestas.
Fuente: elaborado por las autoras.

Figura 10
Protecciones solares de uso frecuente en escuelas de Tucumán.
Fuente: registro fotográfico realizado por las autoras.

mayor eficiencia frente a la obstrucción de la radiación solar para las diferentes orientaciones, la presentan los parasoles horizontales, en sus diferentes resoluciones, salvo la orientación S, en la cual se requieren pantallas verticales para conseguir una adecuada protección del sol (Ledesma, Gonzalo, Cisterna, Márquez Vega, Quiñones y Nota, 2004). Con el objetivo de analizar los sistemas de ventanas que garantizan un adecuado control y aprovechamiento de la radiación solar y una efectiva captación de la iluminación natural, en la búsqueda de mejorar las condiciones de confort térmico y visual de los usuarios, se analizaron diferentes resoluciones de ventanas con parasoles horizontales, situación que, como fue descrita en párrafos anteriores, resulta la más favorable. Los sistemas fueron desarrollados para ser aplicados en aulas organizadas de forma lineal, sobre un eje E-O, con galería de

circulación hacia un lado de estas y con ventanas enfrentadas, siendo el mencionado esquema el que se presenta con mayor frecuencia en los establecimientos escolares construidos de la provincia y el aconsejable para las condiciones climáticas. Dentro de las premisas de diseño que se consideraron, se pueden mencionar: (1) Plantear protecciones solares en las ventanas que impidan el ingreso de la radiación solar incidente en el período estival. (2) Proyectar ventanas superiores para mejorar la iluminación natural interior ya que permiten el ingreso de luz hacia la parte más profunda del local, el aporte de iluminación desde un sector más luminoso de la bóveda celeste. (3) Incorporar estantes de luz que reciban la radiación solar en invierno, obstruyan su incidencia sobre los planos de trabajo y favorezcan la distribución de iluminación natural.

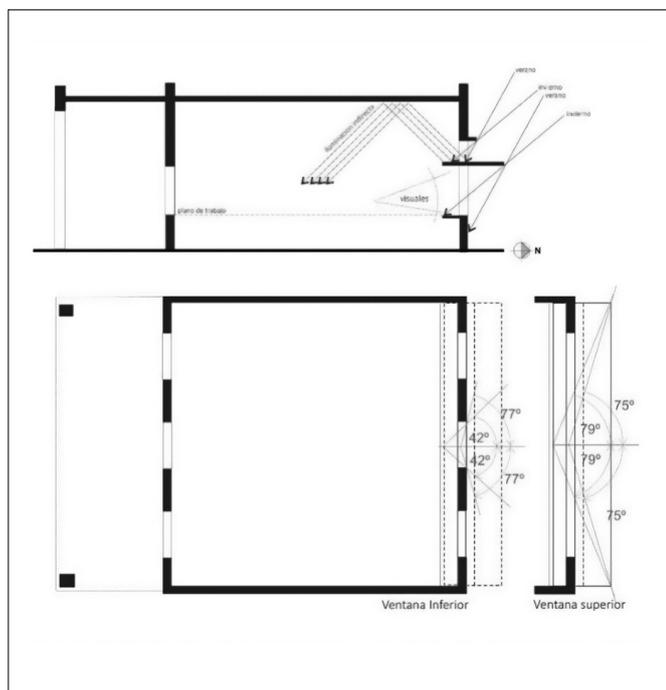
Figura 11
Propuesta de ventana para el aula.
Fuente: elaborado por las autoras.

Figura 12
Estudios iluminación y asoleamiento.
Fuente: elaborado por las autoras.

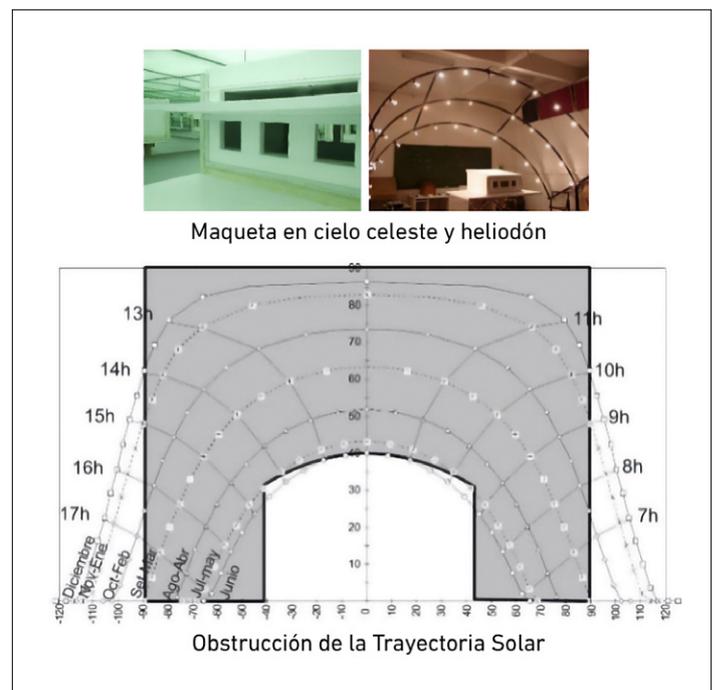
Tabla 2. Eficiencia frente a la obstrucción solar de parasoles

ORIENTACIÓN														
	ANUAL	ESTIVAL												
N	60,4%	75,9%	63,9%	96,5%	38,3%	32,7%	85,5%	93%	58,5%	62%	95%	96,5%	56%	60%
S	14,5%	14,5%	100%	100%	77,4%	77,4%	61%	61%	93,5%	93,5%	90,3%	90,3%	92%	92%
E-O	55,3%	53,9%	34,7%	33,7%	11,3%	-	63%	64%	27,6%	9%	90%	89,8%	41%	18%

Fuente: adaptado de Gonzalo, Nota, Martínez, Ledesma y Hernández (2007).



11



12

El modelo propuesto se estudió bajo diferentes posiciones y tamaños de las aberturas y orientación de la galería, se evaluó el comportamiento frente a la radiación solar y las condiciones de iluminación a partir de mediciones, en modelos construidos a escala. Una síntesis de los resultados del estudio se presenta en la Figura 13.

Los estudios realizados permitieron verificar que, (1) en ningún caso ingresa la radiación solar directa, a través de las ventanas, ni se presenta deslumbramiento por mancha solar sobre planos de trabajo, (2) en todos los casos se mejora notablemente la distribución de la iluminación natural y se verifica el cumplimiento de los valores de los Coeficientes de Luz Diurna (CLD) indicados en las Normas IRAM, en cada punto de medición y (3) las bandejas ubicadas al norte posibilitan la calefacción pasiva en los meses fríos, dado que la radiación directa ingresa al interior del aula a través de las ventanas superiores e incide sobre la superficie de las bandejas, la cual además de impedir la incidencia solar sobre los planos de trabajo, acumula y transmite calor al interior del aula. El estudio permitió verificar que es posible plantear diseños de ventanas que respondan a las premisas básicas de controlar la incidencia de la radiación solar directa sobre el plano de trabajo para evitar el deslumbramiento y sobrecalentamiento del aire interior en verano y favorecer las condiciones de iluminación y la calefacción solar pasiva de las aulas (Ledesma, Cisterna, Márquez y Nota, 2005).

Análisis de casos y evaluación de propuestas

Los beneficios de plantear los sistemas de ventanas superiores con bandejas antes mencionados, se verificaron en diversas escuelas existentes de la provincia, como el caso de la Escuela Paul Groussac –diseño del reconocido Arq. Eduardo Sacriste–, la Escuela García Hamilton y la Escuela

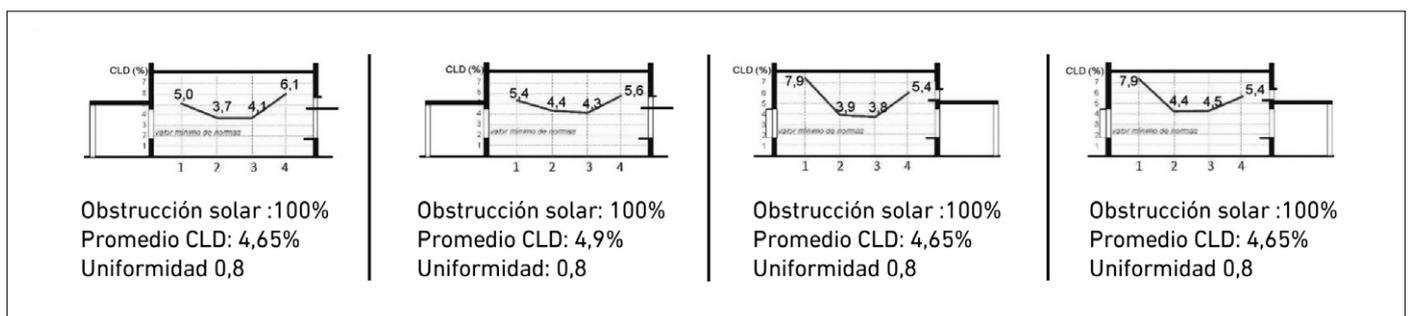
Nueva Lomas. Las tres escuelas públicas que se muestran a modo de ejemplo, pertenecen al nivel primario y responden a una tipología de aulas organizadas en hilera sobre un eje este-oeste, con ventanas hacia el N y S. Dado que fueron construidas en diferentes épocas, las soluciones constructivas de sus envolventes, las características de sus superficies vidriadas y por lo tanto las condiciones de asoleamiento e iluminación son diferentes, siendo inadecuados en los tres casos (Ledesma, Cisterna, Martínez, Nota, Gonzalo, Villa, Orio, Nagle, Villoria y Bilavcik, 2014).

Los estudios permitieron verificar que ninguna de las escuelas responde de manera adecuada a las estrategias básicas de aprovechamiento de la radiación solar para la calefacción solar pasiva en invierno y de la protección de la incidencia solar sobre pupitres durante todo el año.

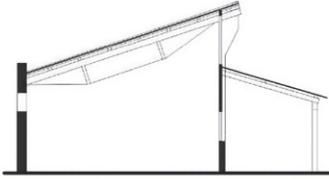
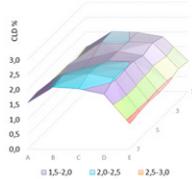
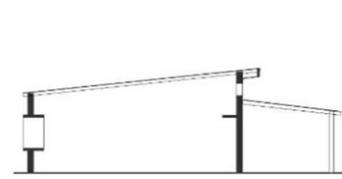
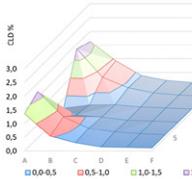
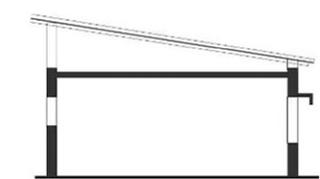
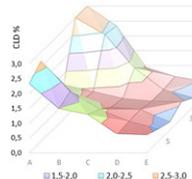
La Escuela Paul Groussac, durante el verano no registra ingreso de radiación solar, aún con ventanas de grandes dimensiones al norte, debido a que las ventanas superiores e inferiores se encuentran protegidas; pero en invierno presenta un importante ingreso de sol el cual incide sobre los planos de trabajo, generando deslumbramiento, así también se registran bajos niveles de uniformidad debido a la inadecuada distribución de la luz natural en el interior del aula. La Escuela García Hamilton presenta condiciones lumínicas inadecuadas, con insuficientes niveles de luz natural y bajos niveles de uniformidad. En cuanto al asoleamiento, no presenta ingreso de sol en todo el año lo que, si bien es conveniente para el período estival, no lo es para el invernal. Las aulas orientadas al N de la Escuela Nueva Lomas, presentan ventanas con aleros que, si bien protegen la incidencia solar en verano, posibilita en invierno su ingreso e incidencia sobre los pupitres generando deslumbramiento. Además, se registran bajos niveles de iluminación interior, sumado a los bajos niveles de uniformidad.

Figura 13

Variación de niveles de iluminación en aulas según características de ventanas.
Fuente: elaborado por las autoras.



Cuadro 1. Comportamiento lumínico de aulas prototípicas

CORTES	VISTAS	ILUMINACIÓN NATURAL (CLD%)
<p>Escuela Paul Groussac</p> 	 <p>Frente N</p>  <p>Ventana N</p>	 <p>Uniformidad 0,23</p>
<p>Escuela García Hamilton</p> 	 <p>Frente S</p>  <p>Ventana N</p>	 <p>Uniformidad 0,26</p>
<p>Escuela Nueva Lomas</p> 	 <p>Frente N</p>  <p>Ventana N</p>	 <p>Uniformidad 0,28</p>

Fuente: elaborado por las autoras.

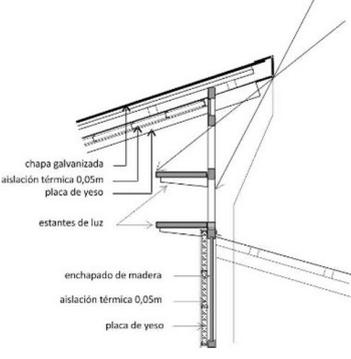
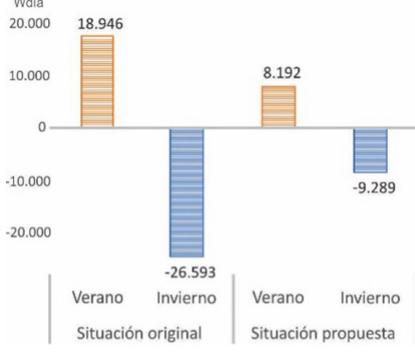
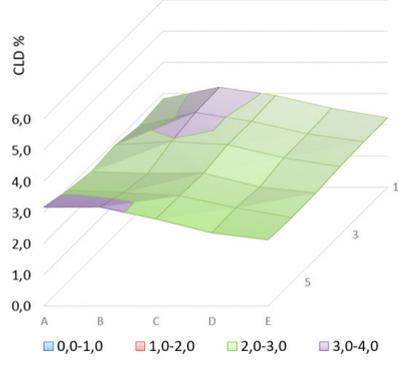
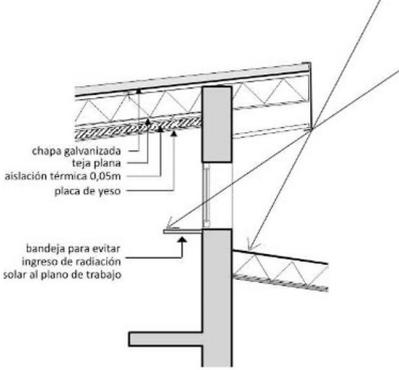
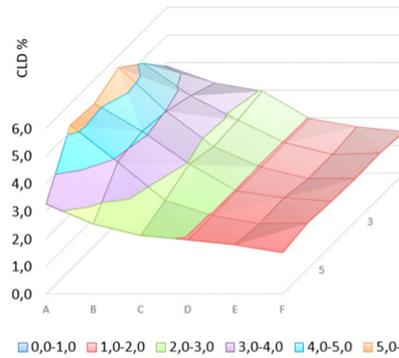
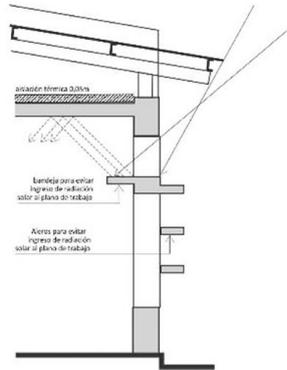
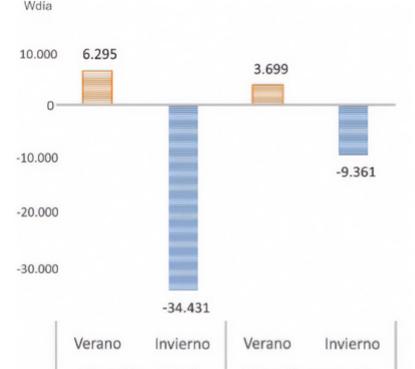
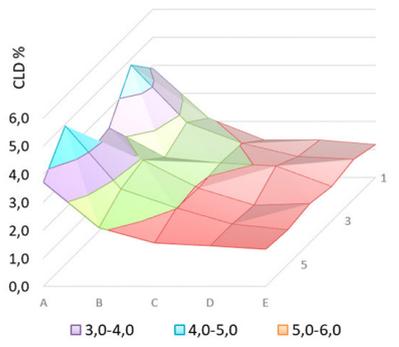
Se verificaron importantes mejoras en las condiciones térmicas y lumínicas de las aulas, a partir de implementar los sistemas de bandejas antes mencionados. El Cuadro 2, en la página siguiente, muestra una síntesis de los resultados de estudios realizados con el objetivo de evaluar la respuesta a diferentes propuestas de diseño.

En las tres escuelas se incorporaron bandejas reflejantes interiores en las ventanas al N, en las Escuelas García Hamilton y Nueva Loma, se propuso una ventana superior corrida orientada hacia el norte (Figuras 14 y 15, en la página 16). Las modificaciones planteadas muestran una notable mejoría térmica y lumínica en todas las escuelas. En la Escuela Paul Groussac, se verifica la obstrucción total de la mancha solar sobre pupitres; la cual mejora las condiciones de uniformidad lumínica del local, que asciende al valor de 0,73 y el cumplimiento de los valores de los CLD mayores a los normados.

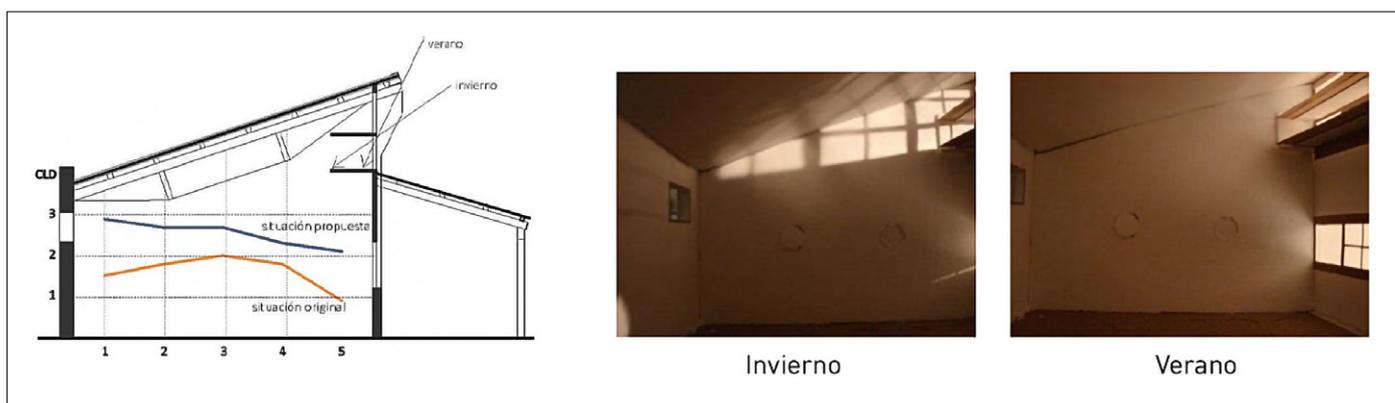
En la Escuela García Hamilton, se observa una mejora del nivel de uniformidad con un valor de 0,56 y en la totalidad de los puntos de análisis se superan los valores de los CLD de Normas y en la Escuela Nueva Lomas los niveles de uniformidad mejoran sustancialmente con respecto a la situación original, pasando de 0,28 a 0,42 y se verifican también que la mayoría de los puntos del aula se superen los valores de los CLD normados.

En cuanto al comportamiento térmico, la captación de la radiación solar en las bandejas en el período invernal, sumadas a las mejoras de las soluciones constructivas de la envolvente opaca, determina la posible reducción de pérdidas y ganancias de calor con respecto a la situación original, en un 45% en invierno y en un 65% en verano para el caso de la Escuela García Hamilton, un 65% y un 57% en la Escuela Paul Groussac y un 17% y un 12% en la Escuela Nueva Lomas (Ledesma, Orio y Nota, 2017).

Cuadro 2. Comportamiento térmico y lumínico de ventanas optimizadas

PROPUESTA	CARGAS TÉRMICAS DIARIAS	NIVELES DE ILUMINACIÓN NATURAL									
<p>Escuela Paul Groussac</p> 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Situación</th> <th>Verano (W/día)</th> <th>Invierno (W/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Situación original</td> <td>18.946</td> <td>-26.593</td> </tr> <tr> <td>Situación propuesta</td> <td>8.192</td> <td>-9.289</td> </tr> </tbody> </table>	Situación	Verano (W/día)	Invierno (W/día)	Situación original	18.946	-26.593	Situación propuesta	8.192	-9.289	 <p>Uniformidad 0,73</p>
Situación	Verano (W/día)	Invierno (W/día)									
Situación original	18.946	-26.593									
Situación propuesta	8.192	-9.289									
<p>Escuela García Hamilton</p> 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Situación</th> <th>Verano (W/día)</th> <th>Invierno (W/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Situación original</td> <td>14.679</td> <td>-28.844</td> </tr> <tr> <td>Situación propuesta</td> <td>5.134</td> <td>-15.609</td> </tr> </tbody> </table>	Situación	Verano (W/día)	Invierno (W/día)	Situación original	14.679	-28.844	Situación propuesta	5.134	-15.609	 <p>Uniformidad 0,56</p>
Situación	Verano (W/día)	Invierno (W/día)									
Situación original	14.679	-28.844									
Situación propuesta	5.134	-15.609									
<p>Escuela Nueva Lomas</p> 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Situación</th> <th>Verano (W/día)</th> <th>Invierno (W/día)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Situación original</td> <td>6.295</td> <td>-34.431</td> </tr> <tr> <td>Situación propuesta</td> <td>3.699</td> <td>-9.361</td> </tr> </tbody> </table>	Situación	Verano (W/día)	Invierno (W/día)	Situación original	6.295	-34.431	Situación propuesta	3.699	-9.361	 <p>Uniformidad 0,42</p>
Situación	Verano (W/día)	Invierno (W/día)									
Situación original	6.295	-34.431									
Situación propuesta	3.699	-9.361									

Fuente: elaborado por las autoras.



14



15

Acerca de la incidencia solar sobre las superficies opacas

Un aspecto importante a tener en cuenta es la incidencia del sol sobre las superficies opacas, dado que va a determinar, en forma directa, el comportamiento térmico global de cada uno de los paramentos.

Frente a un mismo componente, las variables que van a incidir directamente en el balance térmico global serán, la orientación del paramento, por ser determinante de la radiación incidente; la absorción de la radiación solar, que dependerá fundamentalmente del color del paramento; y la existencia de obstrucciones solares, las cuales podrán o no ser beneficiosas.

Con el objetivo de conocer la incidencia relativa de cada una de las variables antes mencionadas, se evaluó el comportamiento térmico de paramentos verticales, resueltos con los materiales de uso frecuente en la región, bajo diferentes condiciones de resistencia al paso del calor, orientación, absorción de la radiación y de obstrucción solar; estudio que ha permitido valorar en forma comparativa las diferentes estrategias de diseño pasivos aplicadas.

Entre las soluciones estudiadas, se encuentran los muros de mampostería de ladrillo cerámico macizo de 0,20 m (LM20), de ladrillo cerámico macizo de 0,30 m (LM30) y de ladrillo cerámico hueco de 0,18 m (LH18) (Ledesma y Nota, 2019).

El estudio se realizó para las cuatro orientaciones, N, S, E y O; considerando diferentes situaciones de asoleamiento del muro, totalmente asoleado, totalmente obstruido y obstruido parcialmente por un alero de 0,85 m de profundidad, idéntico para todas las orientaciones. Se consideraron dos situaciones de color superficial exterior, color claro (coeficiente de absorción 0,2) y color oscuro (coeficiente de absorción 0,7). Los resultados del análisis de la carga térmica estival diaria, del muro de ladrillo cerámico hueco (LH18) se muestran en la Figura 16, en la página siguiente. En el análisis del comportamiento térmico del muro, puede observarse que la situación que presenta mayor ingreso de calor hacia el interior del local, es la de los muros sin aislamiento ($K: 1,91 \text{ W/m}^2\text{K}$), orientados hacia el E u O, pintados de color oscuro, sin protección solar, con un valor diario de 145 W/m^2 .

Figura 14

Comportamiento lumínico y de asoleamiento en aula. Escuela Paul Groussac. Fuente: elaborado por las autoras.

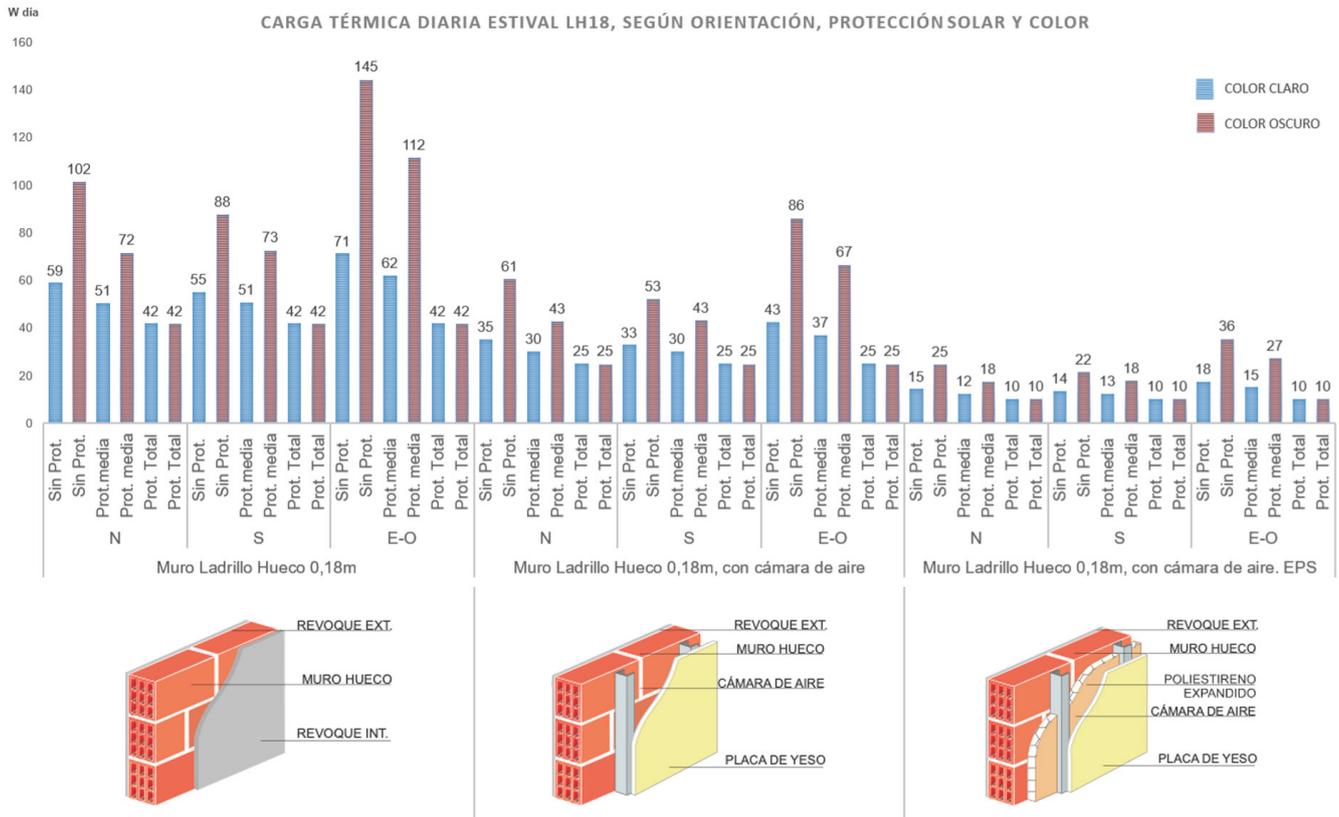
Figura 15

Propuesta de diseño de ventanas para aulas. Escuela Nueva Lomas. Fuente: elaborado por Ledesma, Orio y Nota (2017, p. 05.57).

Tabla 3. Coeficiente de transmitancia térmica (K) de paramentos analizados (W/m²K)

	MAMPOSTERÍA LADRILLO MACIZO 0,20 M (LM20)	MAMPOSTERÍA LADRILLO MACIZO 0,30 M (LM30)	MAMPOSTERÍA LADRILLO HUECO 0,18 M (LH18)
Ambas caras revocadas.	2,47	1,93	1,91
Caras revocadas y cámara de aire de 7 mm y placa de yeso.	1,33	1,18	1,14
Caras revocadas y placa EPS de 2", cámara de aire de 3 mm y placa de yeso.	0,49	0,47	0,46

Fuente: elaborado por las autoras.



La reducción de la incidencia solar directa y de la absorción de la radiación, produce una notable disminución de la carga térmica. El gráfico de la Figura 17, en la página siguiente, permite observar que el mencionado muro E u O, pintado de color claro y sin protección presenta una ganancia de calor de 71 W/m², o sea prácticamente una reducción del 50%. También se observa que el muro, con una protección parcial de la radiación solar, si es de color oscuro presenta una reducción de un 23% en la carga térmica y pintado de color claro, presenta una disminución del 57%. La obstrucción total de la radiación solar anulará la incidencia de la orientación y el color, y determinará una reducción del calor del 71%.

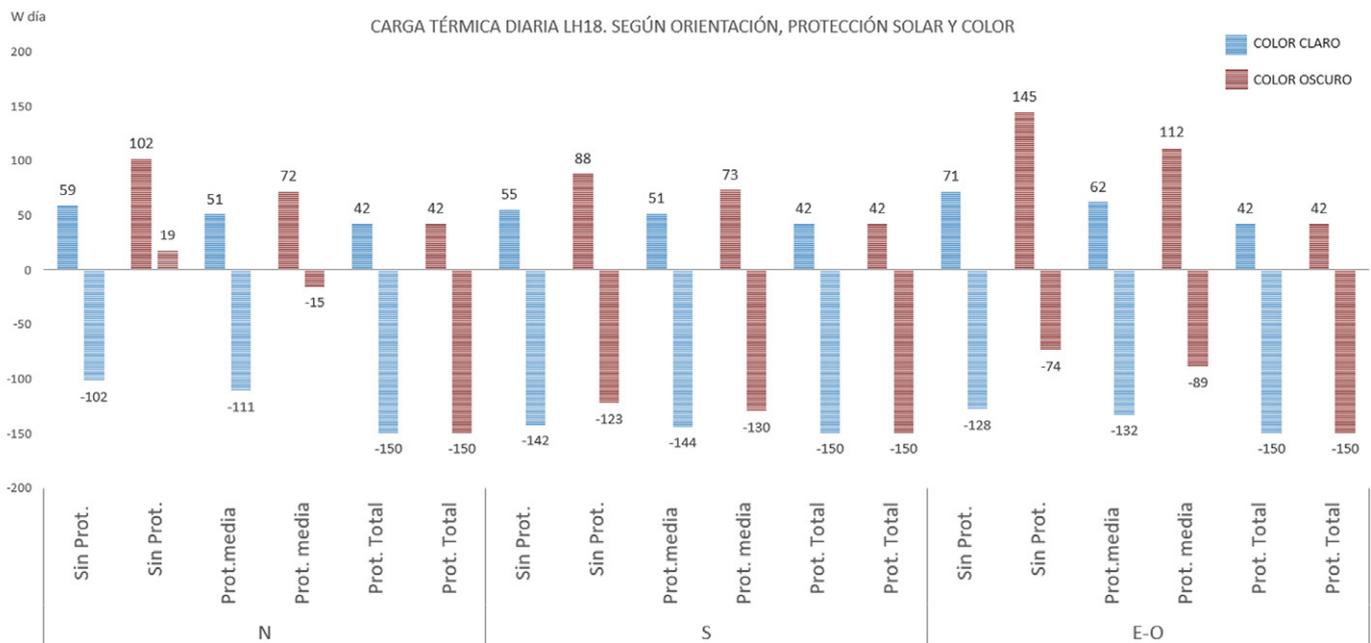
Al comparar las diferentes variantes de muro, se puede observar que el muro E u O sin aislación (K: 1,91 W/m²K)

de color claro, presenta una carga térmica menor que el muro E y O con una cámara de aire, o sea con un coeficiente de transmitancia térmica menor (K:1,14 W/m²K) de color oscuro, 71 W/m² y 86 W/m², respectivamente. Además, tiene un comportamiento térmico similar al muro de ladrillo hueco con cámara de aire, oscuro, con protección solar parcial (Figura 16).

La incidencia de la absorción de la radiación solar es notable al analizar el comportamiento térmico en verano del muro de ladrillo cerámico hueco sin aislación (Figura 17, en la página siguiente), donde se observa que un muro E u O que recibe una radiación solar diaria estival de 2.400 W/m², al estar pintado de color claro, presenta una carga térmica menor que un muro N pintado de color oscuro, que recibe una radiación diaria de 850 W/m²; siendo para cada caso las cargas térmicas de

Figura 16

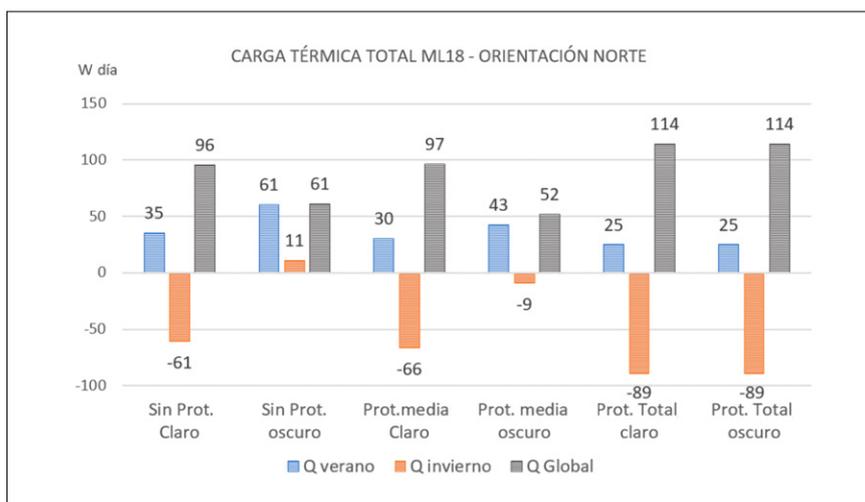
Carga térmica muros ladrillo cerámico hueco, variación según niveles de aislación.
Fuente: elaborado por las autoras.



71 y 102 W/m², respectivamente. Se observa, además, que el muro claro presenta una ganancia térmica similar a un muro N oscuro, con obstrucción solar parcial, 72 W/m². También puede observarse la manera en que la obstrucción del sol, influye negativamente en el comportamiento térmico en invierno. El análisis del balance térmico del muro de ladrillo hueco muestra que la obstrucción total del sol resulta muy desfavorable ya que, al anular la incidencia solar, presenta los mayores valores de pérdidas de calor, para todas las soluciones constructivas analizadas. Son notables las diferencias de comportamiento en los muros N sin aislación, donde un muro color claro, con protección solar total, presenta un incremento de la pérdida de calor en el orden del 50%, con relación a un muro claro sin protección solar. Se observa una diferencia aún superior para iguales muros de color oscuro. Es posible observar el impacto de la radiación solar incidente, definida por la orientación, en el comportamiento térmico de los paramentos. Al comparar los muros al N de los orientados al O (Figura 18, en la página siguiente), se observa que, en el caso de muros claros sin protección el muro O presenta aproximadamente un 25% de mayor ganancia de calor y para el caso de muros oscuros la diferencia será en el orden del 40%. Esta discrepancia se atenuará a medida que el elemento tenga mayor protección solar. Para la situación invernal las diferencias son similares. Un Muro O claro sin protección presenta mayores pérdidas de calor, en el orden de un 22%, que el

orientado al N. El mejor comportamiento global de un muro orientado hacia el O, lo presenta el que posee obstrucción total del paramento, cualquiera sea su color. Nuevamente se observa que para la orientación N, la solución óptima es la del muro oscuro con protección media. En el análisis del comportamiento anual de cada paramento, es necesario profundizar el estudio de los muros con orientación N, dado que se contraponen la conveniencia del planteo de colores claros para el período de verano y oscuro para el de invierno. Esto se puede apreciar en el análisis del comportamiento global de un muro LM18 con cámara de aire, donde la situación más conveniente será la del muro oscuro con protección media (alero), dado que disminuye en un 15% los requerimientos energéticos globales, en relación con un muro oscuro sin protección; en un 54% con relación a un muro con protección total, cualquiera sea su color y en un 46% con relación a un muro claro sin protección (Figura 19, en la página siguiente). El estudio permitió verificar la incidencia de las diferentes variables, el color de las superficies exteriores, orientación del elemento y protección de la radiación solar, que se suman a la transmitancia térmica del elemento en la definición del balance térmico global de los componentes de la envolvente. Es importante señalar la incidencia que tienen los aspectos mencionados en la toma de decisiones proyectuales desde la forma del edificio, orientación, protecciones solares, hasta los colores superficiales de los paramentos.

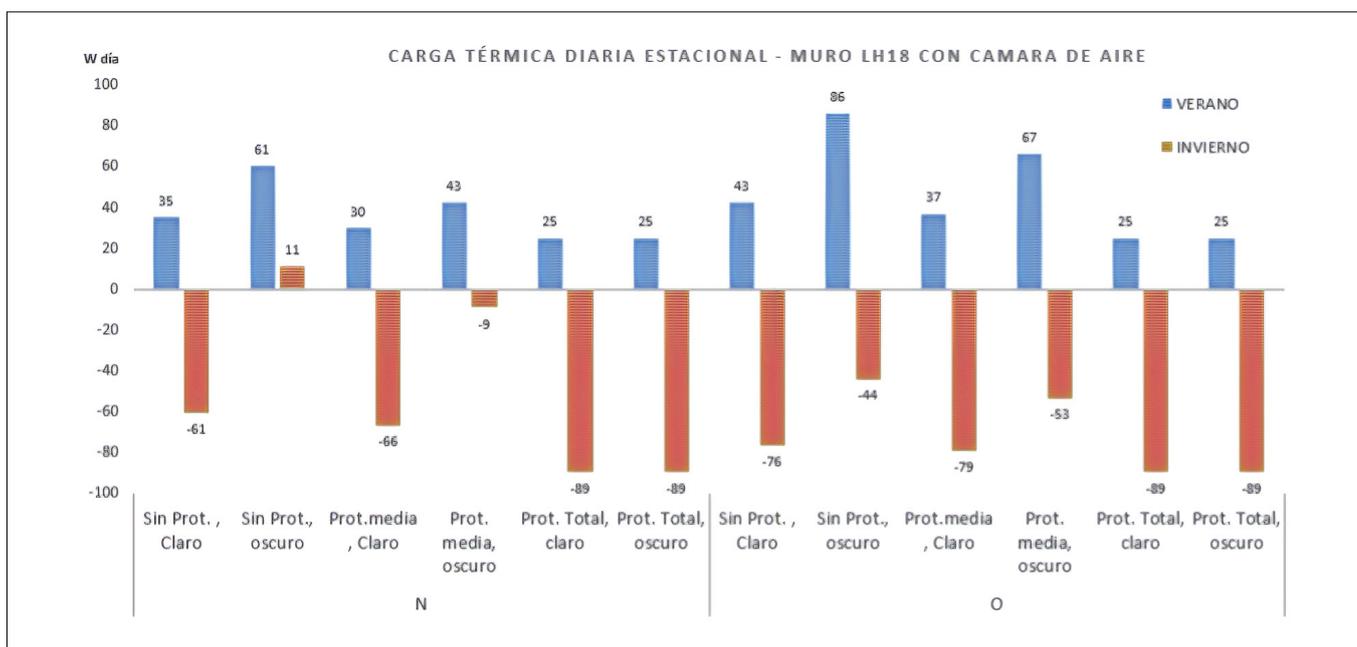
Figura 17
Carga térmica muros ladrillo cerámico hueco sin aislación.
Fuente: elaborado por las autoras.



18

Figura 18

Carga térmica según protección y color, muro ladrillo macizo con cámara de aire.
Fuente: elaborado por las autoras.



19

Figura 19

Carga térmica diaria estacional, de muro LH18, con cámara de aire, N y O. Variación de acuerdo con color y presencia de protección.
Fuente: elaborado por las autoras.

Conclusiones

En los diferentes estudios se presentan situaciones factibles de ser mejoradas a través de propuestas que se basan en criterios ambientales, conceptos y metodologías derivadas de la arquitectura bioclimática. Su incorporación en el diseño no solo permite llegar a soluciones integradas y en el equilibrio con las condiciones ambientales, específicamente con el asoleamiento, también mejora el desempeño energético de los edificios, produciendo importantes ahorros en los consumos y la disminución de los gases de efecto invernadero.

Existen importantes investigaciones en el campo de la arquitectura y su adecuación a la problemática energético ambiental, sin embargo, se continúa proyectando edificios que presentan inadecuados diseños de

ventanas, cuentan con protecciones solares ineficientes y su envolvente no presenta un correcto comportamiento térmico. Compartir los resultados de estudios pormenorizados sobre estos aspectos, como los presentados aquí, tiene el objetivo de concientizar y brindar herramientas conceptuales y metodológicas para ser utilizadas por los arquitectos en el diseño.

Decisiones que se deben tomar durante el proceso de diseño, como los materiales de la envolvente, ubicación, tamaño y materiales de las ventanas, protecciones de la radiación solar, colores de las superficies exteriores y muchos otros, son aspectos que luego incidirán en el confort térmico y en el desempeño energético del edificio. Resulta posible contar con herramientas y pautas claras para apoyar estas decisiones, para adecuar los edificios a las demandas actuales de sustentabilidad ■

> REFERENCIAS

- AA.VV. (2007). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano. GEO San Miguel de Tucumán*. [Archivo PDF]. San Miguel de Tucumán: UNT/PNUMA/Municipalidad de San Miguel de Tucumán. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/read/24691931/geo-san-miguel-de-tucuman-programa-de-naciones-unidas-para->
- Akbari, H. (2002, marzo). Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. [Archivo PDF]. *Environmental Pollution*, 116(1), pp. 119-126. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00264-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0)
- Ando, T. (2002). Prólogo [p. 6]. En J. Ll. David *Arquitectura y Entorno. El Diseño de la Construcción Bioclimática*. Barcelona: Editorial Blume.
- Ente Provincial Regulador de Energía-EPRE. (2016, 23 de febrero). Producción y consumo de energía en el país. [En línea]. Recuperado de <http://epre.gov.ar/web/>
- Evans, J. M. y De Schiller, S. (2016, octubre). Sustentabilidad e impacto del hábitat edificado. [Archivo PDF]. *AREA*, (22), pp. 21-35. Recuperado de https://area.fadu.uba.ar/wp-content/uploads/AREA22/AREA22_Evans_DeSchiller.pdf
- Evans, J. M., Eguía, S., Pérez, A. y Evans, J. (2003). Evaluación de impacto del sol en envolventes vidriadas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 7, pp. 37-42.
- Fernández R. (2013). *Inteligencia proyectual: Un manual de investigación en arquitectura*. [Archivo PDF]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Teseo. Recuperado de <https://uai.edu.ar/media/109510/inteligencia-proyectual.pdf>
- Gonzalo, G. (2003). *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Buenos Aires: Editorial NOBUKO.
- Gonzalo, G., Ledesma S. y Nota V. (2015). Propuestas para la adecuación climática de viviendas de interés social en San Pedro de Colalao, Tucumán [pp. 92-115]. En S. De Schiller y J. M. Evans (Eds.) *Eficiencia Energética en el Hábitat Construido. Serie Hábitat y Energía 1*. Buenos Aires: FADU/UBA.
- Gonzalo, G., Ledesma S. y Nota V. (2000). *Habitabilidad en Edificios. Propuestas de Normas para Tucumán*. San Miguel de Tucumán: Editorial Santamarina.
- Gonzalo, G., Nota, V., Martínez, C., Ledesma, S. L. y Hernández, S. (2007). *Diseño bioclimático de oficinas: Pautas para San Miguel de Tucumán*. San Miguel de Tucumán: FAU-UNT.
- Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático-IPCC. (2013). *Cambio climático. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas*. [Archivo PDF]. s.d.: IPCC/OMM/PNUMA. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
- Guerra Menjívar, M. R. (2012, diciembre). Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones. [En línea]. *Ing-novación*, 3(5), pp. 123-133. Recuperado de <https://core.ac.uk>
- Higueras García, E. (1998, setiembre). Urbanismo bioclimático. [Archivo PDF]. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, (24), pp. 230-240. Recuperado de <http://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/238/234>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-INDEC. (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda*. Buenos Aires: Ministerio de Economía de la República Argentina.
- Kahn, M. E. (2006). Green Cities: Urban Growth and the Environment [Ciudades verdes: crecimiento urbano y medio ambiente] [pp. 1-7]. [Archivo PDF]. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.933669>
- Ledesma, S. L. (2018). Reflexiones sobre la conciencia ambiental en arquitectura. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Arquitectura y Urbanismo (Trabajo de doctorado inédito).
- Ledesma, S. L. (2017). Arquitectura ambientalmente consciente, un aspecto clave para el cambio. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Arquitectura y Urbanismo (Trabajo de doctorado inédito).
- Ledesma S. L. y Nota V. M. (2019). Evaluación Térmica y Económica de Soluciones Constructivas para la Envolvente de Edificios Escolares en San Miguel de Tucumán. [Archivo PDF]. *AVERMA*, 7, pp. 42-52. Recuperado de <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/1134>
- Ledesma, S. L., Nota, V. M. y Gonzalo G. (2012). Evaluación ambiental de prototipos de vivienda del IPVYDU en Tucumán. [Archivo PDF]. *AVERMA*, 3, pp. 140-150. Recuperado de <http://ceehas.org/gestor/wp-content/uploads/2017/12/1-EVALUACIÓN-AMBIENTAL-DE-PROTOTIPOS-DE-VIVIENDA-DEL-IPVYDU-EN-TUCUMÁN.pdf>
- Ledesma, S. L., Orio, S., Nota V. M. (2017). Condiciones lumínicas en aulas prototípicas de escuelas de reciente construcción de la provincia de Tucumán. Evaluación y propuestas. [Archivo PDF]. *AVERMA*, 5, pp. 130-140. Recuperado de <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/1258>
- Ledesma, S. L., Cisterna, S., Márquez, G. y Nota V. M. (2005). Evaluación del ahorro energético en iluminación artificial en aulas de Edificios escolares en Tucumán. [Archivo PDF]. *AVERMA*, 9, pp. 19-24. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/82324>
- Ledesma, S. L., Gonzalo, G., Cisterna, M. S., Márquez Vega, S. G., Quiñones, G. I. y Nota, V. M. (2004). Evaluación comparativa de eficiencia de parasoles y su incidencia en la iluminación natural de aulas en San Miguel de Tucumán. [Archivo PDF]. *AVERMA*, 8, pp. 55-60. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81696>

Ledesma, S. L., Cisterna, M. S., Martínez, C. F., Nota, V. M., Gonzalo, G., Villa, C., Orio, S., Nagle, F. C., Villoria, J. A. y Bilavcik, J. I. (2014). Análisis cuali-cuantitativo de la iluminación de aulas en escuelas primarias de Tucumán: Propuestas de mejoramiento [pp. 05.115-05.129]. [Archivo PDF]. En *Actas de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/280386465>

Mazria, E. (1983). *El libro de la energía solar pasiva*. México DF: Gustavo Gili.

Muñoz, C. A. (2018, noviembre). Diseño pasivo de aulas escolares para el confort térmico, desde una perspectiva para el cambio climático. [Archivo PDF]. *Arquitecturas del Sur*, 36(54), pp. 70-83. Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/AS/issue/view/288>

Olgay, V. (2008). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.

Pérez Galaso, J. L. (2015, febrero). Simbiosis entre clima, lugar y arquitectura. Desarrollo de estrategias bioclimáticas aplicadas en la Costa del Sol Occidental. [Archivo PDF]. *Publicaciones y Divulgación Científica*, 1, pp. 63-70. Recuperado de <https://core.ac.uk>

Ré, M. G. y Bianchi, M. F. (2020). Metodología de evaluación y calificación de la sustentabilidad ambiental y la eficiencia energética en edificios escolares existentes. [Archivo PDF]. *AVERMA*, 45, pp. 39-49. Recuperado de <https://avermaexa.unsa.edu.ar/index.php/averma/issue/view/1>

Singh, M. K., Mahapatra, S. y Atreya, S. (2010, febrero). Estudio del comportamiento térmico y evaluación de temperaturas de confort en edificios vernáculos del noreste de la India. [Archivo PDF]. *Building and Environment*, 45(2), pp. 320-329. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001541>

Tornero J., Pérez Cueva A. J. y Gómez Lopera F. (2006). Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes. [Archivo PDF]. *Cuadernos de Geografía*, (80), pp. 147 a 182. Recuperado de https://www.uv.es/cuadernosgeo/CG80_147_182.pdf