

**MORFOLOGÍA URBANA Y POTENCIAL SOLAR DEL AMBIENTE
CONSTRUIDO EN CIUDADES ANDINAS DE TRAZADO HISPANICO.
AVANCES EN LA EVALUACIÓN DE ENTORNOS DE BAJA DENSIDAD DEL
ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA.**

Arboit, M.*; Mesa, A**, Basso, M.***; Fernández, J. C***; y de Rosa, Carlos**

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV- INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CRICYT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370 e-mail: marboit@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN: Se presenta una justificación de la necesidad de implementar estrategias morfológicas (diseño) para el control de la volumetría urbana en el futuro, tendiente a maximizar el uso de la energía solar en medios urbanos para calefacción de edificios y calentamiento de agua; describiendo la metodología elaborada para calcular el asoleamiento útil, de las superficies y el enmascaramiento debido a sombras arrojadas por edificios y árboles.

En este capítulo se presentan también los resultados de un caso de estudio de baja densidad en el Área Metropolitana de Mendoza. Se adelantan conclusiones parciales que deberán ampliarse y validarse para un conjunto de unidades urbanas (manzanas) representativas de la misma ciudad.

Palabras clave: Potencial solar, morfología urbana, baja densidad.

INTRODUCCIÓN

Los sectores científicos y los liderazgos informados de las sociedades más avanzadas han logrado ya un consenso global acerca del imperativo de alcanzar la sustentabilidad ambiental en medianos plazos. (Meadows, 1992; Jenks, 1996; Blowers, 1993; Smith, 1998) El uso racional de la energía en el ambiente construido es, sin duda, uno de los aspectos esenciales a ser considerados por planificadores y diseñadores que trabajan con ese objetivo ambicioso.

Mucho se ha discutido acerca de la interrelación entre consumo de energía y morfología urbana (Owens, 1986; Givoni, 1998; Breheny, 1996). El consumo de energía en ciudades puede dividirse groseramente en dos sectores principales: transporte y edificación. El primero refleja la influencia de la forma urbana en la escala “macro”, sus funciones internas y las conexiones regionales; el segundo es principalmente dependiente de la escala “micro”, de la configuración de vecindarios, espacios urbanos, morfología y tecnología de los edificios.

Mientras que los avances en tecnologías edilicias energéticamente eficientes ofrecen una contribución significativa y bien conocida en ese sentido, la morfología urbana presenta una limitante y compleja problemática en la que las mejores alternativas, física, económica y legalmente viables deben ser claramente definidas para poder minimizar el malgasto de energía y maximizar el uso potencial de energías renovables, fundamentalmente la radiación solar en edificios urbanos, considerando la calefacción de espacios pasiva y activa, el calentamiento de agua para uso doméstico y eventualmente la generación fotovoltaica “in situ” (Basso, 2003; Fernandez, 2001).

Dentro del PICT 98 N° 13-04605 desarrollado por la UID hasta mediados de 2003 no pudo completarse el estudio del potencial solar del total de los entornos representativos del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), quedando un importante campo a estudiar, por su participación cuantitativa sobre el área urbana: el de los entornos de baja densidad, en los que cobra particular relevancia la escala de las construcciones, las características de los espacios abiertos y la presencia de árboles en los espacios verdes, públicos y privados de la ciudad. Es imprescindible avanzar con el estudio de los mismos para completar los resultados de la investigación, extraer conclusiones y elaborar propuestas normativas transferibles que tiendan a mejorar las posibilidades de mayor eficiencia energética y a maximizar el acceso al recurso solar en los edificios urbanos.

En la ciudad de Mendoza, el Código Municipal de Edificación (2000) ha incorporado recientemente una nueva ordenanza (Ord. 3.296/96) que apunta a mejorar las condiciones ambientales de iluminación y ventilación en edificios urbanos, mediante un control más estricto de las volumetrías y de los parámetros que las definen, fundamentalmente: valores de FOT y FOS, requerimiento de basamentos y retiros frontales, laterales y de fondo variables en función de la altura. Sin embargo, no se registran progresos en medidas específicas que tengan como meta incrementar la eficiencia energética de los edificios y menos aún el aprovechamiento solar. Esta notoria omisión tiende a profundizar y a extender hacia el futuro la dificultad de maximizar el aprovechamiento solar como fuente de energía en medios urbanos. La correcta orientación de los volúmenes y acceso al recurso solar no forman parte de las nuevas prescripciones del Código.

* Becario Doctoral CONICET; ** Investigador CONICET; *** Profesional Principal CONICET

Sobre los entornos de baja densidad, es posible formular varias hipótesis:

- El crecimiento urbano, según las tendencias presentes y la normativa que lo rigen, está afectando gravemente la sustentabilidad energética del parque edilicio urbano en todas sus densidades.
- En los entornos de baja densidad el rol de la arboleda urbana, pública o privada, tiene una influencia negativa de magnitud sobre el potencial solar de las construcciones, con fuerte dependencia de las especies utilizadas.
- En los mismos entornos los sistemas de calefacción de espacios estarán significativamente limitados por la morfología y escala de los patios, no así los sistemas de calentamiento de agua, que podrán satisfacer holgadamente la demanda.
- En los mismos entornos podrá corroborarse igualmente que la trama urbana en cuadrícula, acoplada con la actual estructura parcelaria, constituye una de las alternativas morfológicas de menor eficiencia energética.

SITUACIÓN DE REFERENCIA

Datos regionales

El estudio toma como universo de análisis al Área Metropolitana de Mendoza (AMM) que se asienta sobre el borde oeste del oasis norte de la provincia homónima. Su población es cercana al millón de habitantes y sus coordenadas geográficas son: latitud -32.85 , longitud 63.85 y altitud 870 msnm.

Los datos climáticos principales son: i. horas anuales: en confort $21,5\%$, calefacción necesaria $70,00\%$, enfriamiento necesario $8,5\%$, ii. grados-día anuales: calefacción (B18) 1384 , enfriamiento (B23) 163 , III. Radiación solar global media anual: $18,06$ MJ/m² día

Morfología urbana

El AMM se ha conformado a partir del efecto de la conurbación de 5 villas cabeceras de otros tantos municipios alrededor de la Capital Mendoza. La traza en cuadrícula es la característica morfológica dominante de las ciudades americanas de origen hispánico y tiene una gravitación relevante en la eficiencia energética del parque edilicio urbano. Conjuntamente con la estructura parcelaria y las normativas vigentes, la cuadrícula impone límites específicos a la volumetría edilicia que son determinantes de su comportamiento ambiental y su consecuente demanda de energía. En regiones templado-áridas con intensa radiación solar, tales como las de las provincias andinas de Argentina, es posible obtener importantes ahorros de energía para calefacción en el ciclo anual.

Dentro de las particulares características de la estructura urbana del AMM la clasificación de las manzanas según el valor de densidad volumétrica (relación entre volumen construido y superficie de terreno construible) quedan diferenciadas en tres grupos: (Mesa,2000)

- Área de Baja densidad: Densidad volumétrica de 1 a $2\text{m}^3/\text{m}^2$
- Área de Media densidad: Densidad volumétrica de 2 a $4\text{m}^3/\text{m}^2$
- Área de Alta densidad: Densidad volumétrica mayor de $4\text{m}^3/\text{m}^2$.

Para la formulación de la metodología se observa que, en el marco de dichas densidades, la configuración de baja densidad tiene una representatividad de más del 90% en la trama existente dentro del área urbana sobre trazas en cuadrícula y otras usuales del AMM, es por ello que queda definida como el área de análisis en la cuál ha sido seleccionado un sector representativo atendiendo a las tipologías de baja densidad.

METODOLOGÍA

A través de éste análisis se intenta evaluar el potencial solar disponible a nivel urbano. Para ello se han definido los siguientes indicadores:

AAES-c.e.: Área asoleada enmascaramiento sólido (calefacción de espacio) m².

AAES -c.a.: Área asoleada enmascaramiento sólido (calentamiento de agua) m².

AAN: Área asoleada neta (calefacción de espacio) m². Área vertical de la fachada norte realmente asoleada.

AAEP-c.e.: Área asoleada enmascaramiento permeable (calefacción de espacio) m². Área vertical de la fachada norte afectada por el arbolado.

AAEP-c.a.: Área asoleada enmascaramiento permeable (calentamiento de agua) m². Área horizontal de techo afectada por el arbolado.

AAGD-c.a.: Área asoleada ganancia directa (calefacción de espacio) m².

AER -c.e.: Área enmascaramiento real (calefacción de espacio) m².

AER -c.a.: Área enmascaramiento real (calentamiento de agua) m².

Los pasos metodológicos definidos son los siguientes:

1-Identificación del Sector a analizar: se seleccionaron manzanas, que corresponden a la tipología de baja densidad edilicia del AMM. Quedaron determinados los sectores de estudio ambientalmente homogéneos, basándose en las características morfológicas de las unidades (manzanas de baja densidad) como así también en las de su entorno inmediato. Se identificaron 30 sectores, evaluando las características de la construcción, ancho de calles, arbolado urbano, etc.

2-Relevamiento in-situ: se aplica un proceso de relevamiento de campo acompañado de plantilla de datos cartográficos en formato digital de catastro, calles, arbolado público, cotas de nivel, etcétera. Apoyados en el análisis de estos mapas y aérofotogrametrías disponibles, se realizó un relevamiento del espacio para obtener información de contexto complementaria.

3- Digitalización de fotografías: a partir de la información relevada, se realizaron copias numeradas, por vivienda, de las plantas edilicias. Las imágenes digitales de las morfologías se escalaron según las dimensiones reales de las planchetas cartográficas que se toman como referencia. (Córlica, 2004) Sobre las imágenes se dibujan todas las líneas que constituyen los parámetros de referencia de la vivienda y se conforman regiones o polilíneas, de las zonas a evaluar.

4- Modelos 3D: sobre la base de la información obtenida y la digitalización de las imágenes se conforman modelos 3D en programación AutoCAD, sobre las polilíneas de referencia se construyen las volumetrías de las viviendas. Para finalizar se integran las volumetrías de las viviendas en cada manzana de baja densidad y se totalizan operativamente las componentes de estudio.

5- Arbolado Urbano: una vez confeccionadas las volumetrías de cada manzana se insertan las volumetrías del arbolado urbano tomando como referencia las escalas y ubicación en la información contenida en las imágenes del relevamiento. Para la inserción de los árboles se analizaron las características geométricas de las especies más usuales en las manzanas elegidas, incorporando su forma y se cálculo la incidencia de los mismos a través del modelo de cálculo.

Los valores de permeabilidad a la radiación solar del arbolado, se obtendrán de estudios realizados para las especies más usuales del AMM(Cantón 1996, 2001), con lo cuál se podrá cuantificar la magnitud real de la obstrucción.

6- Determinación y cálculo del área asoleada de fachada norte y techo: mediante el modelo gráfico de cálculo desarrollado en la UID (Mesa,2000), obtenemos las superficies en fachadas asoleadas norte y techos para los días 21 de los meses de abril a setiembre para las 5 horas centrales del día, de 9.30 a 14.30 hs. (hora solar).

Se evalúa cada área con y sin la inserción del arbolado urbano, es decir se realiza un total de 50 corridas del modelo de cálculo por caso.

Con el material obtenido se evaluaron los siguientes indicadores:

AAES-c.e.: Área asoleada enmascaramiento sólido (calefacción de espacio) m².

AAES -c.a.: Área asoleada enmascaramiento sólido (calentamiento de agua) m².

Se pueden obtener además del cálculo del área de corridas con arbolado:

AER: Área enmascaramiento real.

AER = AAES-AAEP

7- Determinación de área de aberturas en fachadas: se definió primeramente la metodología a utilizar para la cuantificación y caracterización de las áreas de análisis. Una vez verificada la metodología se prosigue con el cálculo de:

AA: Área de aberturas destinadas a ganancia directa (calefacción de espacio) m².

AF: Área de fachadas (calefacción de espacio) m². Área vertical de fachada.

8- Cálculo de área asoleada de fachada y techo potencialmente colectora afectada por arbolado urbano: se calculó la incidencia de la permeabilidad real de los follajes en la radiación incidente sobre las fachadas a la radiación solar en el medio urbano en los casos de estudio. Mediante la información regional se estimó la permeabilidad de las especies basada en mediciones que permiten establecer valores medios de permeabilidad por especie expresados en porcentaje. (Cantón,2003) El valor de permeabilidad que se emplea es el correspondiente a cada día 21 de los meses de abril a agosto (meses en que hay mayor necesidad de calefacción), de especies representativas.

Una vez calculadas las áreas potencialmente colectoras (punto 6) se computa la diferencia entre las superficies de corridas con y sin la incidencia del arbolado urbano para los días 21 de los meses abril a setiembre, para las 5 horas centrales del día: de 9.30 a 14.30 hs. (hora solar) con el fin de determinar el área afectada por el arbolado urbano.

Se obtiene:

AAEP-c.e.: Área asoleada enmascaramiento permeable (calefacción de espacio) m². Área vertical de la fachada norte afectada por el arbolado.

AAEP-c.a.: Área asoleada enmascaramiento permeable (calentamiento de agua) m². Área horizontal de techo afectada por el arbolado.

Es decir se realiza una resta de las áreas completamente asoleadas y las asoleadas con obstrucción arbórea. Se obtienen las superficies parcialmente asoleadas (enmascaradas por el arbolado urbano).

AAEP = AAES-AER

Al área asoleada de fachada potencialmente colectora afectada por arbolado urbano se aplican los porcentajes de permeabilidad solar para determinar el área de captación real.

Se relacionan los valores de AAEP con los resultados arrojados por los valores de permeabilidad para cada mes del año.

9- Área de colectora real en fachadas: el cálculo del área de captación total en fachadas para calefacción de espacios se obtiene de la adición de los valores de las superficies en fachadas asoleadas norte sin árboles más las áreas asoleadas de fachada potencialmente colectoras afectadas por arbolado urbano (área del arbolado permeable).

Se estableció:

AAN: Área asoleada neta (calefacción de espacio) m². Área vertical de la fachada norte realmente asoleada.

AAN = AAEP + (% AAEP)

10- Calculo del área potencialmente disponible para la captación a través de la ganancia directa: una vez caracterizado el barrio y conociendo la superficie de aberturas en fachadas destinadas a ganancia directa, y la superficie de captación total de fachadas /asoleada; se calcula la superficie potencial de captación de la ganancia directa computando:

AAGD: Área asoleada ganancia directa (calefacción de espacio) m². AA: Área de aberturas destinadas a ganancia directa (calefacción de espacio) m². Área vertical de abertura.
 AAGD = relación porcentual entre AAN y AA

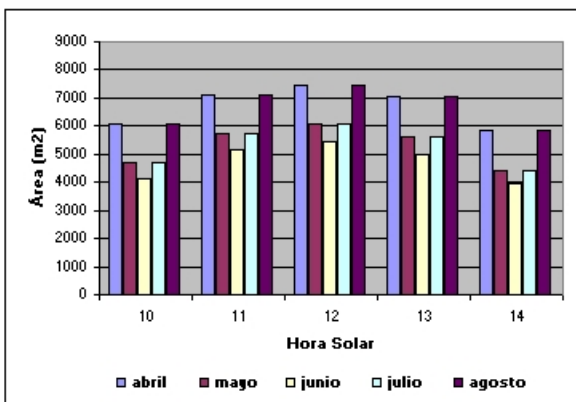
ANÁLISIS DE CASOS

Con el fin de evaluar en un caso real el procedimiento metodológico se tomó como base para el diagnóstico de la situación actual un conjunto habitacional de baja densidad, del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), en el departamento de Godoy Cruz. Se definió como unidad de análisis tres manzanas de un sector del Barrio Arizu, construido a partir de los años 80. Este barrio posee una morfología (volumétrica) de manzana homogénea, siendo la variación principal, la orientación de las manzanas y la característica geométrica de la trama urbana. Se analizaron manzanas con la misma orientación del eje principal E-O en la trama urbana con desviación en un rango de 6° y con distinta característica geométrica. Las viviendas que lo componen poseen características constructivas y espaciales similares.

RESULTADOS OBTENIDOS

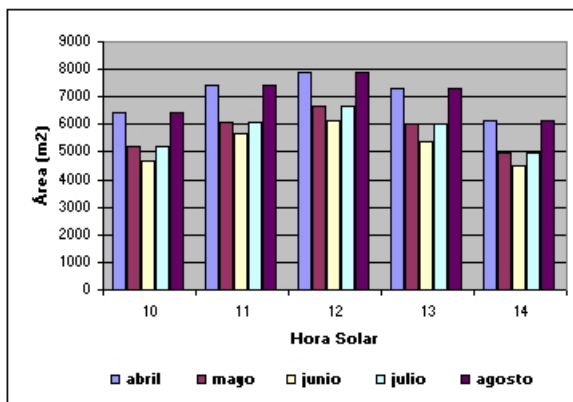
Determinación y cálculo del área asoleada en fachada y techo

Los valores de áreas soleadas, se analizaron con los registros de radiación disponibles para cada hora y día de análisis. En esta etapa también se evaluó el AER observándose una diferencia considerable entre ésta y las áreas asoleadas con enmascaramiento sólido (AAES-c.e. y AAES-c.a.) esto es por la influencia negativa de la arboleda urbana pública o privada en invierno. Los resultados obtenidos permitieron determinar gráficas características de relación entre áreas AAES-c.e. y AAES-c.a. para cada hora del mes en estudio. Esta relación entre el área de techos y de fachadas es proporcional, es decir si aumenta una aumenta proporcionalmente la otra. (figuras 1, 2, 3 y 4)

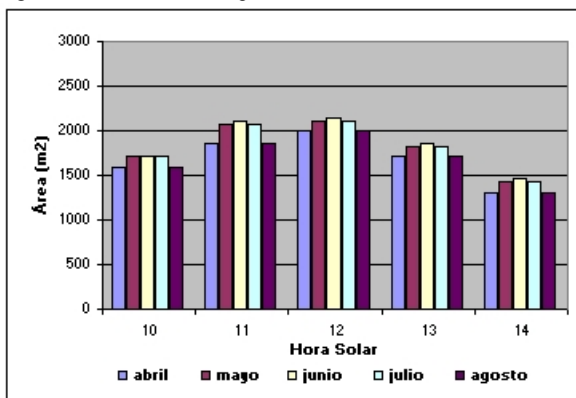


Valores de AAES-c.e

Figura 1: Valores de AAES para el área evaluada.

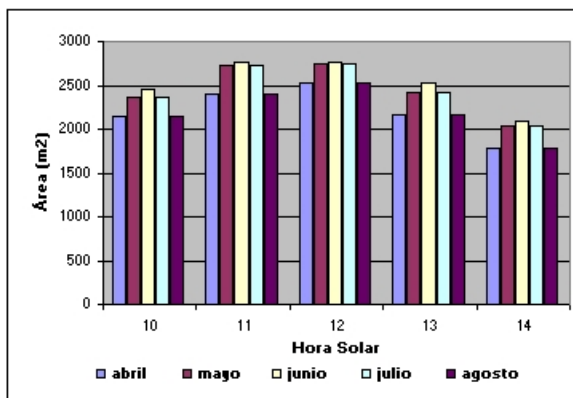


Valores de AAES-c.a.



Valores de AER-c.e

Figura 2: Valores de ACE para el área evaluada.



Valores de AER-c.a.

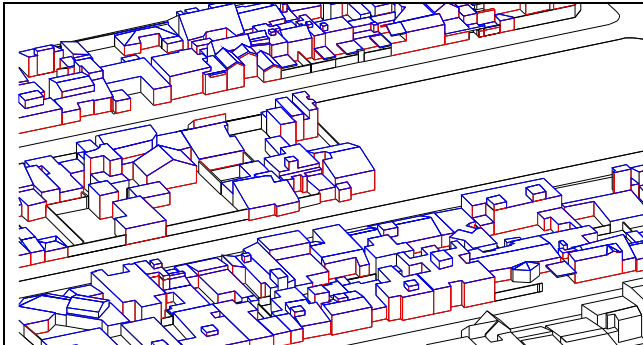


Figura 3: Imagen del cálculo del indicador AAES

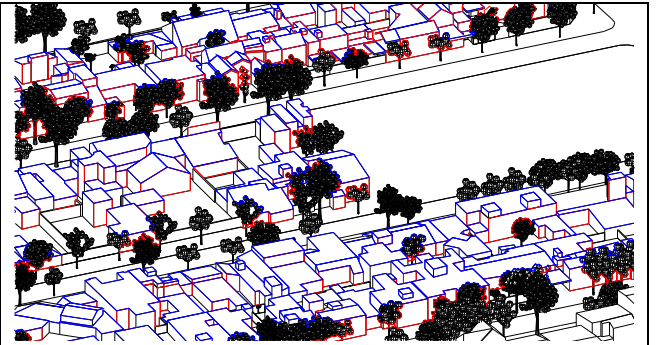


Figura 4: Imagen del cálculo del indicador AER

Cálculo de área soleada de fachada afectada por arbolado urbano

En esta etapa se evalúa la incidencia del arbolado urbano público o privado existentes en la trama urbana actual.

Podemos decir que la presencia del arbolado urbano:

- Afecta menos en las horas centrales de captación solar que en las horas de menor captación solar.
- Tiene una mayor incidencia negativa sobre fachadas verticales que sobre techos horizontales.
- Tiene una incidencia más negativa en junio que en agosto.

Cálculo del área soleada enmascaramiento permeable.

Si comparamos los valores de las áreas norte permeables y GD de calefacción requeridos para el mismo mes se observa una correlación entre dichos valores.

Junio es el mes que presenta mejores valores promedio de AAEP, a la radiación solar 273.46m^2 , mientras que julio posee valores promedio de 265.31m^2 . Los valores de permeabilidad se relacionan con la defoliación en la etapa invernal y es favorable para el aprovechamiento solar.

Los valores de permeabilidad son óptimos en los meses de junio y julio coincidente con los meses de máximo requerimiento de calefacción (junio posee 302° y julio 316° Grados Día de calefacción para temperatura base de 18°C).

El AAEP es más baja para los casos analizados es la del mes de abril con un total de 133.70m^2 esto se debe a que en éste mes la defoliación del arbolado urbano aún no se produce por lo que dificulta la permeabilidad de los mismos, esta disminución de las cifras no es desalentadora, se necesitan 91°C grados día de calefacción para temperatura base 18° para el mismo mes. (figura 5)

Área soleada neta en fachadas.

El horario de máxima captación es coincidente con el mediodía solar para todos los meses analizados y el AAN más significativa es el mediodía solar del mes de junio y tiene que ver con la posición del sol en relación a la captación energética.

En el período de máximo requerimiento las AAN son mayores esto es importante ya que la forma en que la radiación solar calienta la masa térmica interior, es lo que determina la eficiencia energética y el grado de confort térmico. Es elemental considerar los aspectos de intensidad de la radiación solar sobre la superficie ya que el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre una superficie determina la cantidad de energía que recibe.

Una vez calculados estos valores se pueden obtener los porcentajes reales afectados por el arbolado urbano. El área media de afectación en muros para los meses estudiados es del $9,37\%$. Los resultados obtenidos son alentadores, ya que el porcentaje de muros afectados con obstrucciones proveniente del arbolado es bajo. Más del 90% de la superficie restante está libre y con posibilidades de captación solar. (figura 6) El estudio si bien se dirige a convalidar la metodología a utilizar, da una idea de la capacidad de captación de la energía solar en baja densidad. (figura 7)

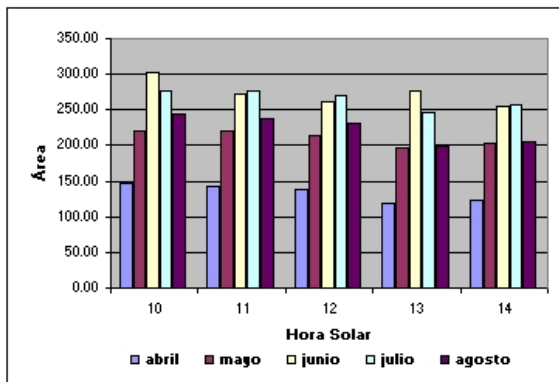


Figura 5: Valores de AAEP-c.e. para cada mes analizado.

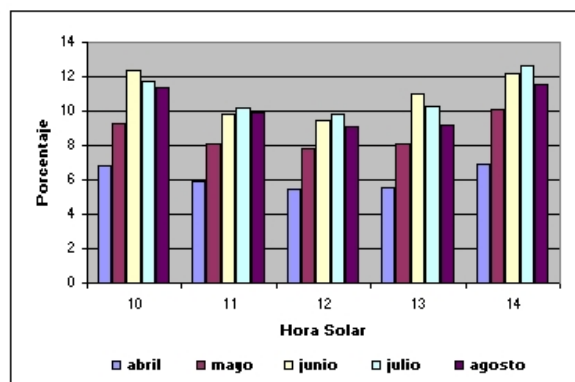


Figura 6: Valores porcentuales de obstaculización de fachadas norte del recurso solar para cada mes analizado

Cálculo del área colectora asoleada de fachada

La superficie de ganancia directa real que puede obtenerse se ha calculado y puede decirse que existe una correlación directa entre el AAGD y el AAN en fachadas norte. Por lo que el horario de máxima captación para ganancia directa es coincidente con el mediodía solar para todos los meses analizados y el AAGD más significativa es el mediodía solar del mes de junio y tiene que ver con la posición del sol en relación a las aberturas norte. (figura 8)

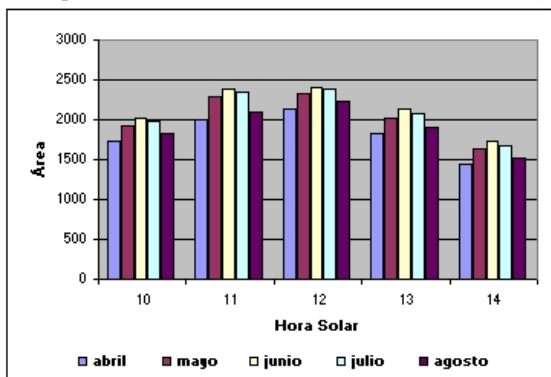


Figura 7: Valores AAN-c.e. para cada mes analizado.

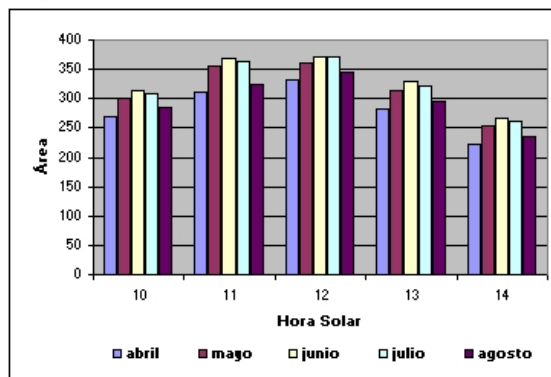


Figura 8: Valores de AAGD-c.e. para cada mes analizado.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que en las áreas urbanas de baja densidad, el predominio de la superficie de techos asoleada con relación a las áreas de fachadas norte, es notorio. Se debe pensar en el aprovechamiento de manera de maximizar el uso potencial de energía solar, considerando el calentamiento de agua para uso doméstico, la calefacción de espacios y eventualmente generación fotovoltaica.

Debe tenerse en cuenta que la obstrucción de los ramajes desfoliados de las especies utilizadas es porcentualmente bajo: entre un mínimo del 5.50% y un máximo del 12.65 % para los meses en estudio. Los resultados obtenidos hasta el momento permiten sólo extraer conclusiones provisorias, aunque se estima que la orientación de las unidades de análisis y la orientación tendrán una importancia fundamental en el potencial solar de entornos urbanos de baja densidad en el AMM.

REFERENCIAS

- Basso, M., et al. (2003) Urban morphology and solar potential of the built environment in Andean Cities of Hispanic Layout. Assessing proposals towards a more sustainable energy future. PLEA 2003, Santiago – Chile.
- Blowers, A. (Ed.) (1993) Planning for a sustainable environment. A Report by the Town and Country Planning Association. Earthscan Publications Limited. London.
- Breheny, M. (1996) Centrist, Decentrist and Compromisers in The Compact City. E & FN Spon, London.
- Canton, M.A., et al, (1994). Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. Energy and Buildings, Berkeley, USA, Vol. 20, N° 3, pp.219-230.
- Canton, M.A., Cortegoso, J.L. y de Rosa, C. (1994) Cuantificación del efecto del arbolado en tramas urbanas. Primeros resultados de la aplicación de un modelo de cálculo analítico-computacional". ASADES, Rosario.
- Canton, M.A., Mesa, A., Cortegoso, J.L. y de Rosa, C. (2003) Assessing the solar resource in forested urban environments: results from the use of a photographic-computational method. Architectural Science Review, Vol. 46, N° 2, pp. 115-123.
- Córica, L., et al (2004) Iluminación natural de espacios habitables en función de la morfología urbana circundante, para climas soleados. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 8, Ed. Millor, Salta, Argentina.
- Givoni, B. (1998) Climate considerations in building and urban design. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Jenks; M. et al., 81996) Compact Cities and Sustainability: an introduction to the Compact City. E & FN Spon, London.
- Meadows, D. H., Meadows, D.L., Randers, J. (1992) Beyond the limits. Earthscan Publications Limited. London.
- Owens, S, 81986) Energy, Planning and Urban Form. Pion Ltd., London.
- Smith, M., Whitelegg, H. y Williams, N. (1998) Greening the Built Environment". Earthscan Publications Limited. London.
- Mesa N. et al., (2000). Determinación de áreas de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, a través de un modelo gráfico computacional. Memorias del Ises Millennium Solar Forum 2000, ANES, PP. 1-6, Mexico.
- Fernández, J. C. et al. (2001) An assessment of the solar potential of the built environment in the city of Mendoza, Argentina. A study in advance. Proceedings of the 18th PLEA Conferencia, Florianopolis, Brasil.

ABSTRACT: The paper presents a justification of the need to implement building morphological strategies (design), aimed at maximizing the use of solar energy for space and domestic water heating in urban environments in the future. The methodology developed to assess the useful insolation of the building surfaces is discussed, considering the masking due to neighboring obstructions, such as buildings and trees. Also, the results from a case-study of a low density unit (city block), within Mendoza's Metropolitan Area are discussed. Provisional conclusions are forwarded and will be extended and validated for a larger number of representative units of the same city.