



## OBSTRUCCIÓN SOLAR EN FUNCIÓN DE LA MORFOLOGÍA URBANA Y EDILICIA EN CIUDADES ANDINAS DE CLIMA ÁRIDO. EL CASO DEL AREA METROPOLITANA DE MENDOZA.

Arboit, Mariela<sup>1</sup> y de Rosa, Carlos<sup>2</sup>

Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA). Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda.  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Tel. 0261-5244054 –e-mail: [marboit@lab.cricyt.edu.ar](mailto:marboit@lab.cricyt.edu.ar)

**RESUMEN:** La factibilidad técnica del aprovechamiento del abundante recurso solar en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), mediante estrategias de calefacción solar pasiva y calentamiento solar de agua, ha sido demostrada en experiencias precedentes. En entornos urbanos de baja y alta densidad el empleo de sistemas solares pasivos y medidas adicionales de conservación posibilitará reducir los consumos energéticos invernales con aportes de energías renovables para el acondicionamiento ambiental del parque edilicio urbano, permitiendo ahorros sustanciales en el consumo energético. En dichos entornos urbanos, la sombra arrojada por volúmenes edilicios que producen obstrucción sólida y permeable producida por el arbolado urbano, sobre fachadas y techos potencialmente colectores, imponen limitaciones al acceso al recurso solar, cuyo valor es necesario conocer en forma precisa. Esta cuantificación es, en la práctica, de determinación compleja: para ello se utilizaron dos metodologías previamente desarrolladas en la UID: 1. relevamiento fotográfico in-situ (Córica, 2004) y 2. modelo gráfico computacional de cálculo (Mesa, 2000). La combinación de las dos herramientas permite completar un procedimiento metodológico para evaluar el potencial solar disponible en el medio urbano, incorporando datos complejos de la morfología urbana y edilicia.

Los resultados del estudio indican, que si bien, las variables edilicias: morfología, localización, orientación y dimensionamiento de las aberturas son importantes para la eficiencia energética, la captación solar a través del Área Colectora (AC) en medios urbanos está fuertemente comprometida por la incidencia de obstrucciones (diseño de carpintería, rejas, arbolado urbano y construcciones circundantes).

**Palabras clave:** energía solar, áreas colectoras, medios urbanos, obstrucción sólida y permeable.

### INTRODUCCION

El potencial solar de los entornos urbanos está determinado por la morfología urbana y edilicia, en sus distintas posibilidades de interacción entre la volumetría y el acceso al recurso solar. Entre ellas aparecen las superficies potencialmente colectoras: superficies verticales al norte +/- 15° y superficies de techos, tanto en su valor neto como en relación con el volumen edilicio al que pertenecen. La determinación de áreas asoleadas disponibles en fachadas al norte y techos por unidad de volumen es un resultado particularmente significativo y expresa la relación entre el potencial de utilización del recurso y la necesidad de calefacción o calentamiento de agua.

Partiendo de éste análisis se calcula la disponibilidad real de superficies colectoras, considerando como muestra un conjunto de 32 manzanas urbanas de baja densidad del AMM. Para determinar el aprovechamiento potencial de la energía solar disponible, mediante ganancia directa, fue necesario recopilar información sobre un total de 1200 edificios construidos y posteriormente desarrollar volumetrías de cada una de las viviendas edificadas en las unidades seleccionadas y de sus entornos urbanos inmediatos, modelado de los sólidos tridimensionales (manzanas urbanas).

El objetivo es calcular el volumen construido y las áreas de: muros exteriores y techos y posteriormente determinar el asoleamiento real de cada manzana y la obstrucción relativa del recurso solar.

### SITUACIÓN ACTUAL 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.

<sup>1</sup> Becaria de Formación Doctoral CONICET

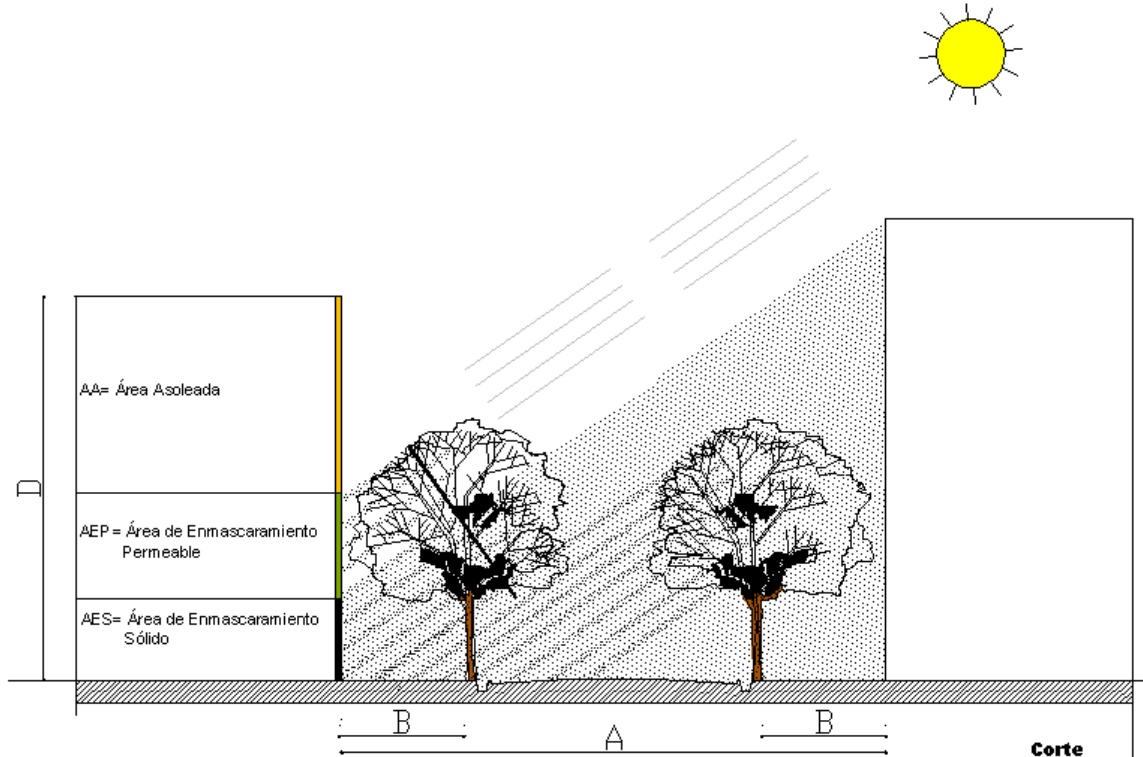
<sup>2</sup> Investigador Principal CONICET

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/m<sup>2</sup> día.

Por el momento el estudio considera solamente la componente directa de la radiación solar, en días de cielo claro, quedando la adición de las componentes directa, difusa y reflejada para trabajos futuros. El análisis se realizó para los días 21 de los meses de abril a septiembre para las 5 horas centrales del día, de 9.30 (hora solar) a 14.30 hs. (período de mayor disponibilidad energética, durante la estación de calefacción).

## METODOLOGÍA

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



- ACP: Área colectora potencial.
- ACN: Área colectora neta.  $ACN = ACP - AER$ .
- AES: Área enmascarada por volúmenes circundantes.
- AEP: Área enmascarada por la arboleda circundante.
- AER: Área enmascaramiento real.  $(AES + \% \text{ enmascarado del AEP})$

*Análisis de indicadores para el cálculo de superficies asoleadas*

## RESULTADOS DEL CÁLCULO DE AREAS POTENCIALMENTE COLECTORAS

A continuación se presentan los resultados de los 32 escenarios analizados que permiten evaluar la disponibilidad de áreas asoleadas a nivel urbano de las alternativas estudiadas.

Las Figuras 1 y 2 presentan los resultados alcanzados luego del análisis de 1920 imágenes tridimensionales de los entornos urbano-edilicios con y sin arbolado. Los valores de AES/ volumen construido se encuadran en un rango en fachadas norte (calefacción de espacios) de 0.008 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y 0.002 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y en techos (calentamiento de agua) el rango va de 0.20 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a 0.09 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Se observa una declinación coherente de los valores de áreas asoleadas disponibles con el incremento de la densidad edilicia.

Los resultados del AER/ volumen construido se presentan en la Figura 2.

En los escenarios analizados el rango de obstrucción sólida y permeable en fachadas norte, es de 0.006 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y 0.001 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, mientras en techos el rango es sensiblemente mayor, desde 0.19 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> a 0.08 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

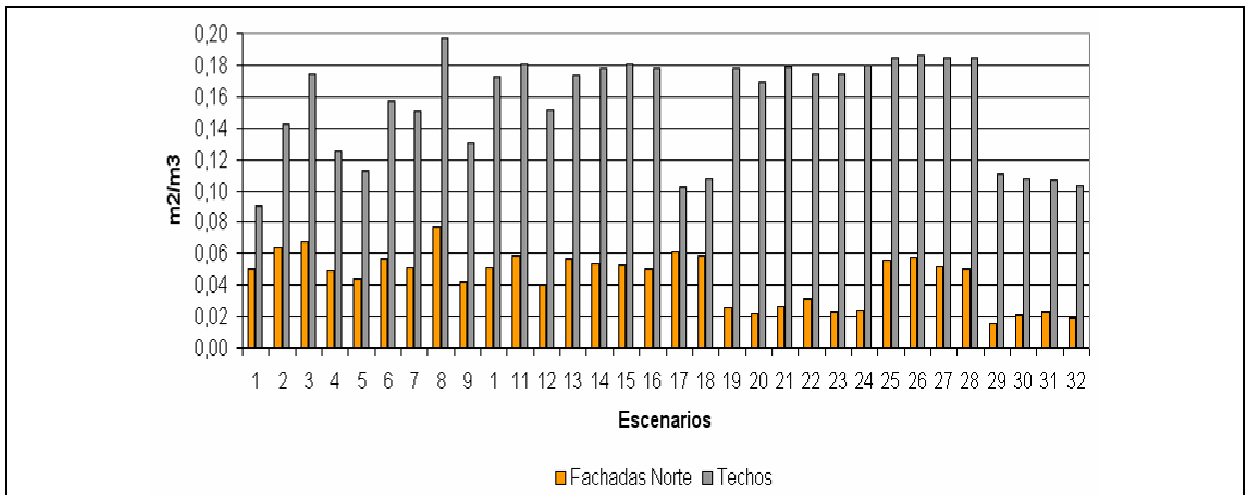


Figura 1: Área con obstrucción sólida por volumen construido m2/m3. (AES-c.e y c.a. / Vol.)

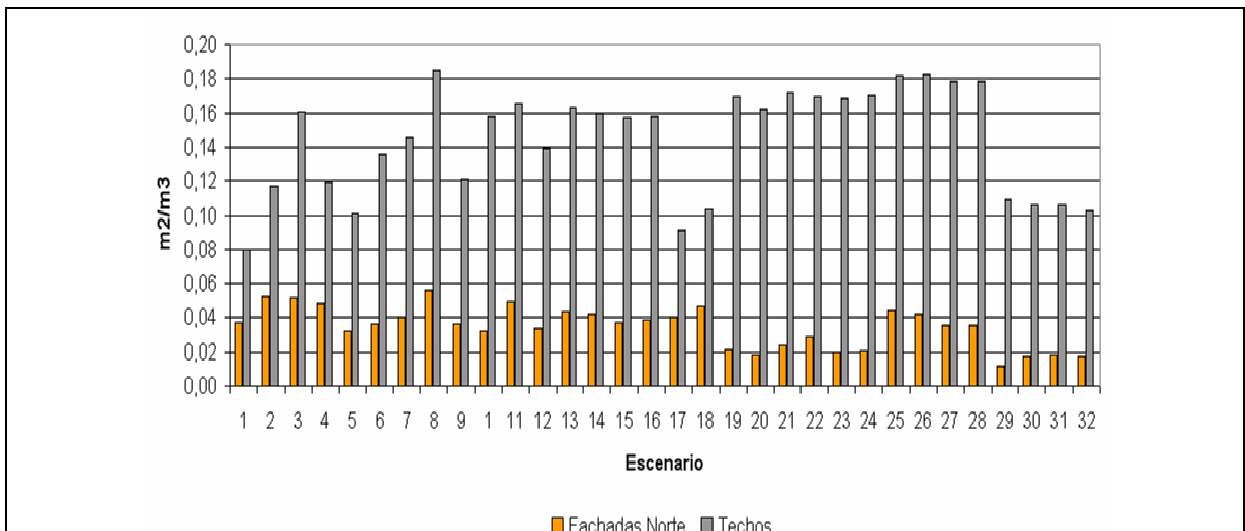


Figura 2: Área con obstrucción sólida y permeable por volumen construido m2/m3. (AER -c.e y c.a./ Vol.)

Los resultados se presentan como porcentajes de obstrucción media durante el período analizado. La presencia del arbolado urbano afecta un 5.38% del área de techos y un 20.51% el área de fachadas al norte como valor medio en la estación de calefacción; a estos valores no se les ha aplicado aún el factor de permeabilidad estacional de la arboleda, por lo tanto la situación no cambia, sigue existiendo una incidencia negativa de mayor obstrucción del recurso solar sobre fachadas verticales al norte que sobre techos horizontales. (Figura 3)

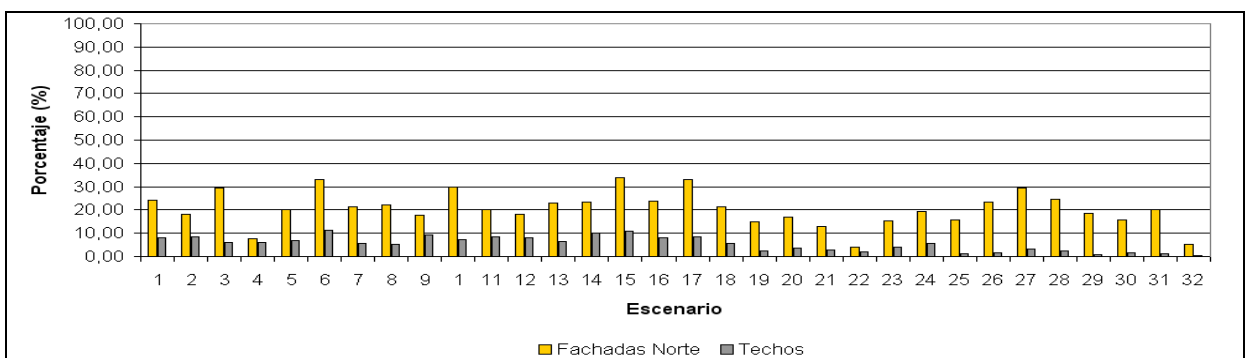


Figura 3: Reducción porcentual de la incidencia de sombras debido a la presencia de arbolado urbano.

A la superficie de fachadas al norte y techos colectores afectada por arbolado urbano se aplican los porcentajes de permeabilidad solar para determinar el área de captación real. En este caso se considera la superficie realmente asoleada. Se observa en la Figura 4 un rango de 0.19 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y 0.08 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> en techos, mientras en fachadas norte el rango es inferior de 0.06 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> y 0.01 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

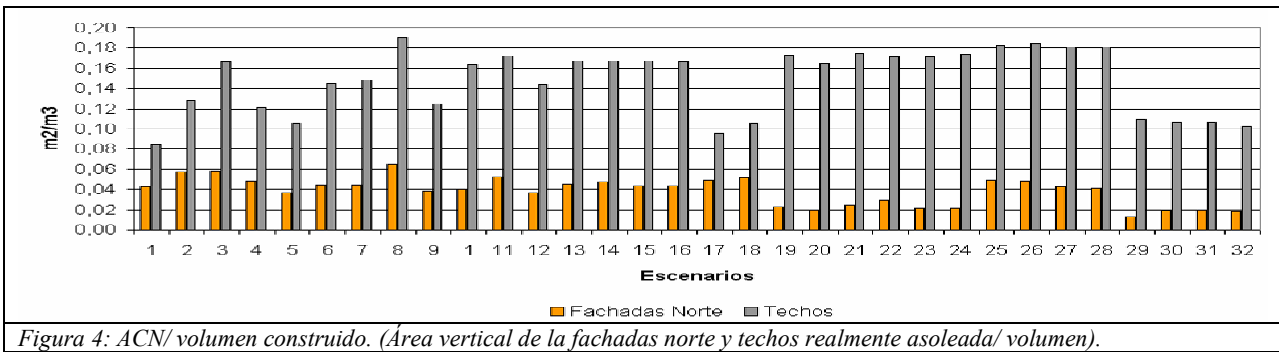
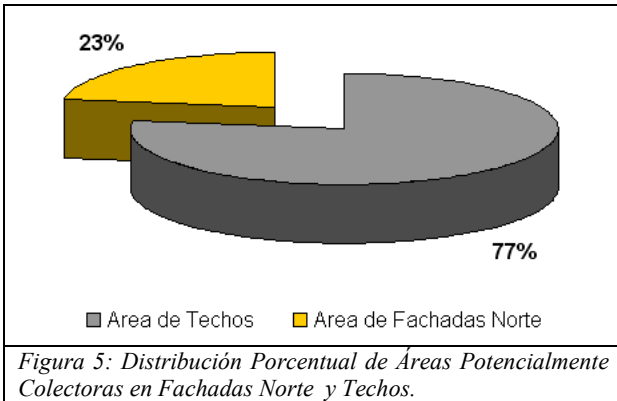


Figura 4: ACN/ volumen construido. (Área vertical de la fachadas norte y techos realmente asoleada/ volumen).

**Análisis de los resultados:**



Los resultados obtenidos demuestran que en las zonas urbanas de baja densidad, el predominio de la superficie de techos asoleada con relación a las áreas de fachadas norte, es notorio.

Figura 5: Distribución Porcentual de Áreas Potencialmente Colectoras en Fachadas Norte y Techos.

La relación entre áreas de fachadas norte (AFN) y techos (AT) y las áreas colectoras potenciales (ACP, considera la reducciones de áreas vistas desde el sol) presentan diferencias significativas, el área real de techos es 45% superior al área colectoras potenciales de techos, en fachadas norte la diferencia es del 27%. Las Figuras N° 6 y 7 muestran además las áreas colectoras netas (ACN) para ambas alternativas esta superficie está afectada por el sombreado de volúmenes edilicios de las manzanas y por el arbolado urbano generan la obstrucción del 26 % de la energía solar disponible sobre el medio urbano.

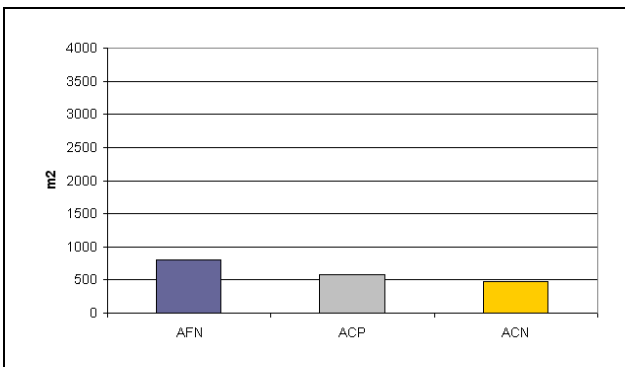


Figura 6: Comparación de áreas medias asoleadas en Fachadas Norte de las manzanas analizadas.

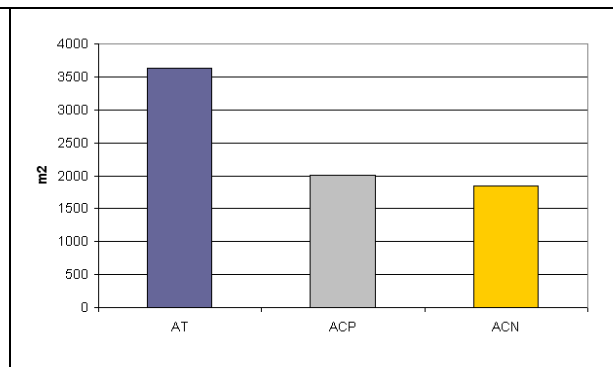


Figura 7: Comparación de áreas medias asoleadas en techos de las manzanas analizadas.

Seguidamente se presentan los resultados de un estudio comparativo entre las áreas de fachadas norte y techos que permiten determinar variaciones existentes. La diferencia entre áreas asoleadas y enmascaradas fue computada en forma porcentual a lo largo de toda la estación de calefacción. En muros un 73% del área de fachadas norte potencialmente colectoras está asoleada, mientras en techos el valor es del 90%; las obstrucciones a la radiación solar en fachadas norte se debe a la morfología edilicia que arrojan sombras sobre áreas potencialmente colectoras y producen enmascaramiento sólido (32%) y enmascaramiento permeable (15%); en techos el enmascaramiento del arbolado es inferior afectando el 3% del área colectoras potenciales en techos.

Debe tenerse en cuenta que la obstrucción de los ramajes desfoliados de las especies utilizadas es porcentualmente bajo: entre un mínimo del 0.3 % y un máximo del 21.8 % para los meses en estudio.

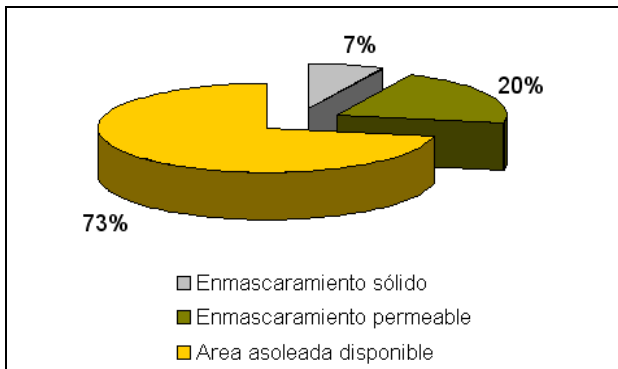


Figura 8: Distribución porcentual de áreas asoleadas y sombreadas en Fachadas Norte.

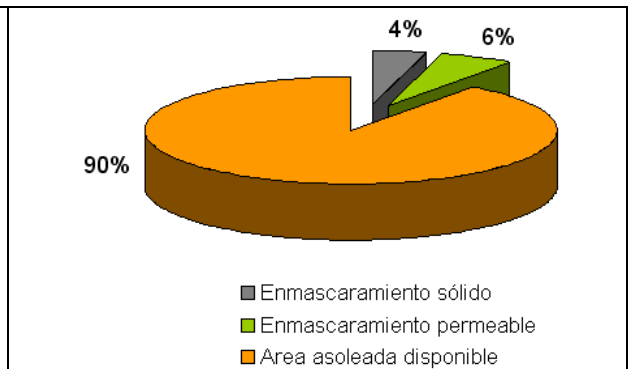


Figura 9: Distribución porcentual de áreas asoleadas y sombreadas en Techos.

## CONCLUSIONES

Sobre los resultados antes expuestos se elaboró la Figura 10 para simplificar en un solo valor porcentual la distribución de áreas asoleadas y enmascaradas, con la variante de considerar el 100 % de las áreas colectoras potenciales en la morfología urbano-edilicia.

Sumando áreas asoleadas en techos y en fachadas norte, el 86 % de las áreas colectoras potenciales (ACP) están asoleadas, con un valor medio de enmascaramiento del recurso solar del 14 %. Las obstrucciones de elementos sólidos que arrojan sombras sobre las superficies colectoras principales es del 5 % y la del arbolado urbano público y privado del 9 %.

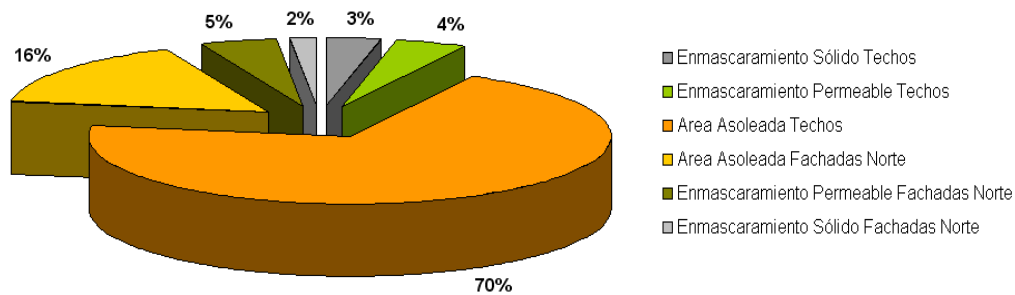
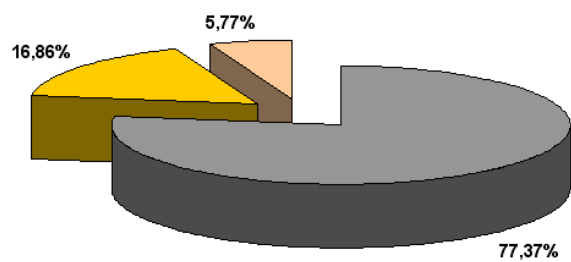


Figura 10: Distribución porcentual de áreas asoleadas y enmascaradas en Fachadas Norte y Techos.

Las posibilidades de implementar calefacción de espacios por GD está condicionada por la potencialidad solar de los entonos urbanos, por lo expresado las superficies asoleadas verticales son de fundamental importancia y alcanzan un 16 % del total de áreas colectoras potenciales (Figura 10).



■ Área de Techos ■ Área de Fachadas Norte ■ Área de Ventanas Norte

Figura 11: Distribución Porcentual de Áreas Colectoras Potenciales en Fachadas Norte, Ventanas Norte y Techos de las manzanas analizadas.

Al considerar las aberturas norte, el 48 % de áreas potencialmente colectoras están asoleadas mientras el 52 % restante posee enmascaramientos. El enmascaramiento sólido es del 7 % mientras el enmascaramiento del arbolado es del 20 %. Debe tenerse en cuenta que la obstrucción de rejas, mochetas y marcos de aberturas alcanzan una representatividad del 25% del total de área de aberturas norte. (Figura 12)

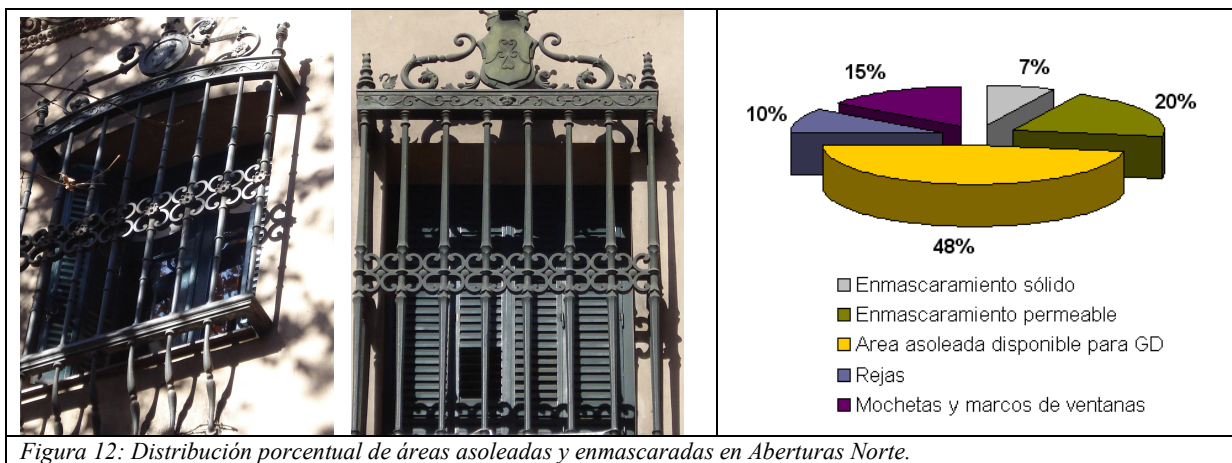


Figura 12: Distribución porcentual de áreas asoleadas y enmascaradas en Aberturas Norte.

La complejidad del ambiente urbano requiere que las hipótesis efectuadas puedan ser verificadas para llegar a conclusiones y propuestas que puedan implementarse a través cláusulas obligatorias en los códigos de edificación.

Se conoce además que un sistema pasivo eficiente, como el de GD, es efectivo solo en una profundidad aproximada de seis metros, desde la fachada norte (GOULDING, 1994). Cuando se trabaja con un objetivo a mediano y largo plazo resulta inaceptable que una importante cantidad de energía no pueda ser aprovechada, para el mismo uso, especialmente cuando se trate de grandes volúmenes, de una profundidad mucho mayor de 6m que quedaría así sin otra posibilidad que recurrir a la calefacción convencional. Para “superar” tentativamente esta limitación se propone implementar un sistema activo complementario de calentamiento de aire que, mediante un colector vertical, conductos horizontales aislados y un pequeño ventilador establezca un “loop” convectivo forzado con los espacios principales de la cara opuesta del edificio, la validez de esta suposición y su viabilidad económica, debe ser puesta a prueba por estudios futuros (FERNÁNDEZ, 2003).

La reglamentaciones municipales vigentes (Código Urbano y de Edificación de la Ciudad de Mendoza) que regulan las construcciones en medios urbanos, establecen para los distintos tipos de locales, valores mínimos admisibles de superficies de aberturas destinadas a ventilación e iluminación. En la actualidad esos porcentajes están en relación con el área de pisos del local, y para los locales principales se establece como valor mínimo el 12% (MUNICIPALIDAD DE MENDOZA, 2000). De lo expuesto surge que el porcentaje de aberturas exigido por las Ordenanzas Municipales no son suficientes para aprovechar al máximo el recurso solar disponible. Otro aspecto a considerar es que este valor mínimo del 12% (si bien está referido al área de pisos exigido es de los locales principales), no contempla la superficie en dirección Norte ni las obstrucciones producidas por elementos sólidos o permeables. Además no considera las áreas de GD relacionadas al volumen a calefaccionar. Si bien las Ordenanzas Municipales representan un esfuerzo interesante para mejorar las condiciones ambientales queda aún pendiente, definir lineamientos de diseño que sirvan de base a una legislación futura que controle variables significativas para la optimización y generalización del aprovechamiento solar en entornos urbanos.

## 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, Decentrists 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., (1996) 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, (1986) 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 18<sup>th</sup> PLEA Conferencia, Florianopolis, Brasil.

**ABSTRACT:** The technical feasibility of using the generous solar resource available in Mendoza's Metropolitan Area, through passive space and water heating strategies, has been conclusively demonstrated by earlier experiences. In low and high density urban environments, the use of passive solar systems, coupled with additional conservation measures, will allow significant reductions of winter's energy consumption in the urban building stock. In such urban environments, the shadow cast by building volumes producing solid masking plus the permeable masking due to trees, of potentially collecting walls and roofs, will impose reductions to the useful solar resource which need being precisely assessed. In practice, such assessment is of complex determination. Two methodologies, previously developed by the R+D unit, were used: i. the "on-site" photographic image recovery (Córica, 2004) and: ii. a graphic-computational model (Mesa, 2000). The combined use of both tools allows completing a methodological procedure for the assessment of the available solar potential in city environments, from urban and building morphologies complex data.

The study's results indicate that , even though the building variables: morphology, location, orientation and opening's dimensions are important for the energy efficiency in urban environments, the solar collection through the Collecting Area (CA) ,is strongly conditioned by the incidence of obstructions: window details, security bars, urban trees and adjacent constructions).

**Keywords:** solar energy, collecting areas, urban environments, solid and permeable masking.