

VARIABLES SIGNIFICATIVAS DE LA MORFOLOGÍA URBANA EN EL POTENCIAL SOLAR DE ENTORNOS DE BAJA DENSIDAD DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA.

Arboit, Mariela¹; Mesa, Alejandro²; Diblasi, Ángela³ y de Rosa, Carlos⁴

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)
Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA - CONICET)
C.C.131, (5500) Mendoza, ARGENTINA. Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370 e-mail: marboit@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN: En el contexto regional el problema de la sustentabilidad energético-ambiental de los edificios urbanos se agrava progresivamente ante el desconocimiento y el consecuente atraso de las normativas vigentes en materia de uso racional y fuentes renovables. El trabajo presenta los primeros resultados de un estudio orientado a definir criterios de diseño urbano adecuados en ciudades andinas, que permitan a sectores responsables de la producción del hábitat gestionar, diseñar e implementar respuestas de diseño técnica, económica y jurídicamente viables hacia el futuro, en el marco del desarrollo urbano ambiental y energéticamente sustentable.

El estudio analiza la relación entre la disponibilidad de energía solar en el ambiente urbano y la incidencia de las morfologías urbanas y edificaciones de los entornos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), en el acceso al recurso. Los resultados demuestran la disponibilidad energética potencial en el parque edilicio urbano actual para un conjunto determinado de casos y la incidencia de las variables significativas en dicho potencial.

Palabras clave: morfología urbana, desarrollo sustentable, energía solar.

INTRODUCCIÓN

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 las escalas urbana y edilicia es principalmente dependiente del clima del lugar, de la configuración de los espacios urbanos y la morfología y tecnología de los edificios. El sector edilicio urbano en zonas áridas ofrece un importante potencial al desarrollo urbano sustentable mediante la implementación de estrategias no tradicionales de conservación y la utilización energética de la radiación solar.

La problemática es de suma complejidad y su conocimiento involucra el análisis de una serie de variables interrelacionadas con distintos niveles de incidencia. El estudio que se presenta intenta profundizar dicho análisis, con el objeto de realizar aportes a dicho conocimiento para posteriormente elaborar bases técnicas transferibles a organismos responsables de la planificación y gestión del hábitat y la energía.

El universo de análisis de este estudio está constituido por el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), un conglomerado resultante de la conurbación de 6 municipios ubicado en la región árida del centro-oeste de Argentina. Su población es de 984.762 habitantes y su superficie 88,3 Km². La zona posee clima: mesotermal árido (1384 GD de cal..base 18 °C y ; 163 GD enf. base .23°C): La radiación solar global media anual es: 18,06 MJ/m² día.

El sistema energético actual esta conformado en su mayor parte por el uso intensivo de combustibles fósiles, con impactos deletéreos sobre el medio ambiente por lo que la reducción de los consumos energéticos y su progresivo reemplazo por energías renovables es un imperativo. La participación del sector residencial en el consumo energético total provincial es del 27.7%, con una eficiencia (Consumo Neto / Consumo Útil) del 55%, lo que significa que casi la mitad de la energía consumida se pierde. Del 100% de la energía utilizada en el sector edilicio, el 41,1% corresponde a calefacción y el 32,6% a calentamiento de agua (Gobierno de Mendoza, 1998). El combustible utilizado en estos casos es el gas natural, cuya relación Reservas / Producción fue recientemente estimada en 10 años (Herrera, 2003).

SITUACIÓN DE REFERENCIA

El objetivo del trabajo es profundizar el conocimiento de los niveles de disponibilidad energética y acceso al recurso solar en el parque edilicio urbano actual, en entornos urbanos de baja densidad del AMM y determinar las configuraciones de la morfología urbana y edilicia existentes que permiten obtener condiciones de máxima captación solar mediante el reciclado energético de los edificios existentes y/o la inserción de construcciones nuevas.

¹ Becaria de Formación Doctoral CONICET

² Investigador Asistente CONICET

³ Investigador Principal CONICET

⁴ Investigador Principal CONICET

El análisis se realiza sobre dos grupos de variables: urbanas y edilicias, intentando determinar la influencia de cada una en la disponibilidad energética solar. En el primer grupo la morfología urbana está caracterizada por: forma y orientación de las tramas urbanas, ancho y profundidad de los cañones urbanos e incidencia del arbolado urbano. En el segundo grupo: la morfología edilicia, la dimensión de las parcelas típicas, la ocupación del suelo (FOS= Superficie construida en planta baja/ superficie total construible) y la densidad edilicia (FOT= Superficie construida total/ superficie total construible del terreno).

Los usos energéticos potenciales son, en primera instancia: calefacción solar de espacios pasiva y activa, calentamiento (solar) de agua y eventual generación FV "in situ". En forma complementaria, se consideran los efectos energético-ambientales de la arboleda urbana, de particular significación en el AMM.

METODOLOGIA

Se determinaron tres pasos metodológicos principales: 1. cuantificar la disponibilidad energética en el parque edilicio urbano actual para un conjunto determinado de casos por medio de un *Modelo Gráfico-Computacional*. 2. determinar las variables significativas que intervienen en la captación solar e interpretar la potencialidad energética de los entornos urbanos en función de un conjunto amplio de variables explicativas por medio de un *Modelo Estadístico*. 3. *Verificación de resultados*: determinación de la incidencia de las variables significativas en la disponibilidad energética para los escenarios analizados.

ANÁLISIS DE CASOS

El conjunto muestral queda definido por 11 sectores (escenarios) del AMM que permiten un diagnóstico energético-potencial de la situación actual en entornos urbanos de baja densidad. Las 11 unidades de análisis seleccionadas son representativas del 90% de la estructura urbana existente e integran un conjunto numeroso de posibilidades de combinación de variables; se describen en sus aspectos fundamentales en la Tabla 1. Las figuras 1 y 2 presentan dos ejemplos de las volumetrías de los escenarios 1 y 8, vistas desde el sol.

En una etapa previa, se identificaron las características geométricas de las manzanas existentes para la clasificación de los escenarios urbanos dentro del AMM, caracterizando la forma de las manzanas urbanas regulares según las proporciones de sus lados, determinando cinco tipologías: Tipología 5:5 a 5:1. (Arboit, 2006)

La morfología edilicia se caracteriza por volumetría regular perteneciente a conjuntos habitacionales ejecutados por el IPV e irregular cuyas morfologías son de construcción individual lote a lote.

Escenario N°	Variables urbanas					Variables edilicias			
	Manzanas		Canal Vial (m)	Arbolado		Morfología Edilicia	Parcelamiento (m ²)	FOS	FOT
	Forma	Orientación		Magnitud	Densidad				
1	5:2	-6°	20.00	2 ^a	Media	Irregular	246.72	0.67	0.91
2	5:3	+87°	20.00	2 ^a	Media	Irregular	209.94	0.71	0.95
3	5:4	-5°	20.00	1 ^a	Alta	Irregular	254.48	0.64	0.71
4	5:5	-1°	20.00	1 ^a	Media	Irregular	303.09	0.58	0.61
5	5:4	+74°	16.00	1 ^a	Media	Irregular	283.35	0.60	0.60
6	5:2	-23°	13.00	2 ^a	Alta	Regular	240.68	0.54	0.55
7	5:2	-23°	13.00	2 ^a	Alta	Regular	170.52	0.53	0.79
8	5:1	+65°	15.00	3 ^a	Baja	Regular	243.18	0.57	0.58
9	5:2	+65°	15.00	3 ^a	Baja	Regular	239.00	0.55	0.56
10	5:1	-24°	15.00	2 ^a	Media	Regular	213.65	0.57	0.57
11	5:3	+67°	18.00	1 ^a	Media	Regular	196.57	0.66	1.09

Tabla 1. Características dominantes de las unidades de análisis seleccionadas

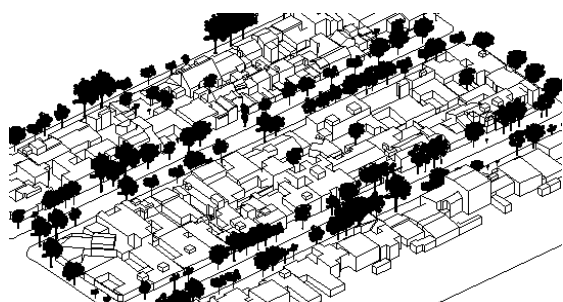


Figura 1: volumetrías del escenario 1

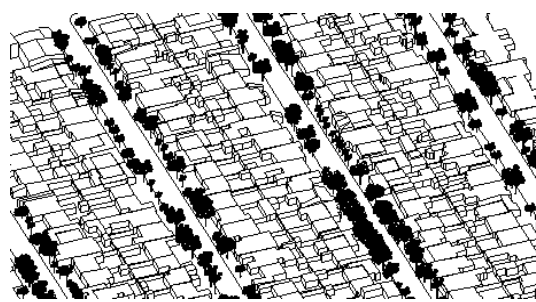


Figura 2: volumetrías del escenario 8

INDICADORES

Para el análisis de entornos urbanos de baja densidad, se definieron tres indicadores:

1. Factor de Asoleamiento Útil (FAU) en Wh/m²: expresa la relación entre la cantidad de energía recibida por fachadas al norte durante una estación de calefacción con respecto al total que se recibiría en todas las superficies de la manzana, como porcentaje, independientemente de su orientación y sin ningún enmascaramiento.

$$FAU_m = \frac{\sum_{21\text{Abril}-9:30\text{hs}}^{21\text{Sep.}-14:30\text{hs}} \text{Área colectora asoleada (fachadas norte)}(m^2) \times rh \text{ (radiación horaria)}(kj/m^2)}{\sum_{21\text{Abril}-9:30\text{hs}}^{21\text{Sep.}-14:30\text{hs}} \text{Área total de la sección normal del prisma límite de la manzana} (m^2) \times rh \text{ (radiación horaria)}(kj/m^2)} \times 100 \quad (1)$$

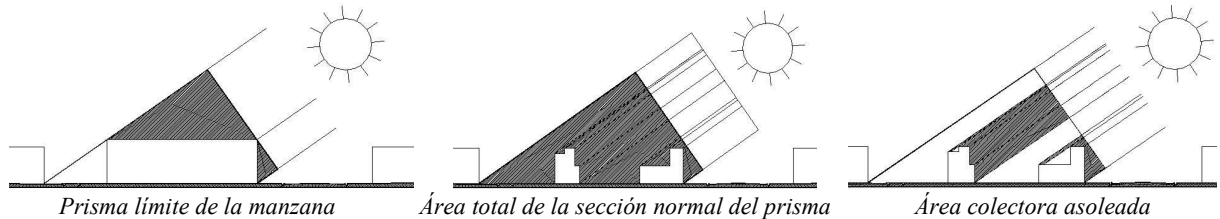


Figura 3: Corte esquemático de la manzana urbana

El recurso solar total disponible en la manzana es definido por los planos límites del “prisma máximo” (radiación directa incidente sobre la superficie edificable de la manzana) y los de la altura de los edificios sobre los lados E, S, y O que no sombreen a las manzanas vecinas sobre esas orientaciones, para el período estacional analizado.

2. Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV): expresa la relación entre la cantidad real de energía captada por las superficies verticales al norte y el volumen interior de los edificios a calefaccionar (m³). El FAV_m es el cociente entre la suma de las áreas de fachadas norte efectivamente asoleadas multiplicada por la radiación horaria y la suma de los volúmenes construidos en las manzanas urbanas.

$$FAV_m = \frac{\sum_{21\text{Abril}-9:30\text{hs}}^{21\text{Sep.}-14:30\text{hs}} \text{Área asoleada (fachada norte)}(m^2) \times rh \text{ (radiación horaria)}(kj/m^2)}{\sum \text{Volumen construido} (m^3)} \quad (2)$$

El segundo indicador cumple el propósito de relacionar la energía captada por las fachadas norte de las manzanas urbanas con los volúmenes edilicios totales a calefaccionar.

3. Factor de Asoleamiento Efectivo (FAE): relaciona la cantidad de energía recibida sobre superficies verticales al norte parcialmente enmascaradas, con respecto a la energía que captarían las mismas superficies libres de todo enmascaramiento.

$$FAEm = \frac{\sum_{21\text{Abril}-9:30\text{hs}}^{21\text{Sep.}-14:30\text{hs}} \text{Áreas asoleada (fachada norte)}(m^2) \times rh \text{ (radiación horaria)} (kj/m^2)}{\sum_{21\text{Apr.}-9:30\text{hs}}^{21\text{Set.}-14:30\text{hs}} \text{Áreas potencial (fachada norte)}(m^2) \times rh \text{ (radiación vertical diaria)} (kj/m^2)} \quad (3)$$

Los tres indicadores definidos para el cálculo en superficies verticales (muros norte) son replicables para superficies horizontales de techos asoleados a fin de determinar el potencial solar de calentamiento de agua para uso doméstico.

MODELO GRÁFICO-COMPUTACIONAL.

En las escalas urbana y edilicia se define una muestra representativa, en cuanto a morfología y cantidad de entornos residenciales, incluyendo tipologías de manzanas y edificios, en entornos urbanos de baja densidad y uso de suelo residencial que representan el 90% de la trama actual. La información utilizada ha sido obtenida de mapas, aérofotogrametrías catastrales, y relevamientos “in situ”. Se elaboraron modelos 3D de las tipologías predominantes dentro de la trama urbana. Cada conjunto edilicio está compuesto por los edificios construidos sobre la misma manzana, unificando en el cálculo la sumatoria de todos los valores, como si se tratara de un solo edificio.

La superficie asoleada se considera como la sumatoria de la totalmente asoleada más la parcialmente asoleada (afectada por el arbolado urbano) (Cantón 1996, 2001), para cada unidad de análisis (manzana urbana) durante el ciclo anual de calefacción: 5 meses del año, centrados en el solsticio de invierno (21/04 al 21/09) y las 5 horas centrales del día (9.30 a 14.30 horas solares). La superficie asoleada se calculó mediante el uso del modelo gráfico-computacional desarrollado en el LAHV (Mesa, 2000), para determinar el asoleamiento real de volumetrías urbanas complejas sobre fachadas al norte (calefacción de espacios) y techos (calentamiento de agua) y se relacionaron los valores de superficie, con la radiación incidente para el mismo período de análisis a fin de determinar la energía solar disponible. En los valores horarios de radiación directa se tienen en cuenta la cantidad de radiación incidente en un día medio mensual.

Análisis de Resultados del Modelo Gráfico-Computacional.

En la Tabla 2 se presentan los valores calculados para las 11 unidades de análisis seleccionadas. Se identifican además las configuraciones de la morfología urbana existente que permiten obtener condiciones de máxima, mínima y cercanas a la media de captación energética solar.

ESCENARIOS	Factor de Asol. Útil		Factor de Asol. Volumétrico		Factor de Asol. Efectivo	
	FAU _{m.}	FAU _{t.}	FAV _{m.}	FAV _{t.}	FAE _{m.}	FAE _{t.}
1	8,8	26,6	78,1	234,8	0,71	0,87
2	6,7	23,0	64,6	220,2	0,70	0,84
3	5,9	24,3	68,6	281,8	0,70	0,89
4	5,7	22,3	75,9	296,9	0,68	0,89
5	4,5	20,7	66,1	303,2	0,72	0,84
6	4,6	21,8	67,2	320,4	0,75	0,93
7	7,7	19,4	77,6	196,4	0,71	0,84
8	2,5	22,8	35,6	328,7	0,70	0,97
9	2,6	21,7	39,6	330,3	0,73	0,97
10	5,2	24,7	72,4	345,2	0,72	0,98
11	3,5	24,5	28,9	203,5	0,51	0,96

Referencias

Valores mínimos

Valores medios

Valores máximos

Tabla 2. Cuadro comparativo de los valores calculados de los indicadores utilizados para superficies verticales al norte y techos

Observaciones sobre los resultados obtenidos a través del Modelo Gráfico-Computacional

Factor de Asoleamiento Útil (FAU)

Los resultados muestran la relación entre radiación directa recibida por fachadas norte con respecto a la radiación directa incidente sobre la superficie total potencial de la manzana, el entorno que posee valores cercanos a la media 5,2% es el Escenario 10, dicho valor revela que se desaprovecha un valor medio de 94,8 % de la radiación total disponible sobre el perfil edificable de la manzana. El rango de los valores de la energía recibida por fachadas al norte varía entre 8,8 % (Escenario 1) y 2,5 % (Escenario 8).

La disponibilidad energética en el parque edilicio urbano de baja densidad es mayor en techos (70%) que en muros (30%). Sobre superficies horizontales, la configuración que representa el porcentaje medio de captación solar es el Escenario 8 (22,8%), el 50% de los casos analizados se posiciona por encima con un valor máximo de 26,6% (Escenario 1) y el 50% restante por debajo con un valor mínimo de 19,4% (Escenario 7).

Sumando la cantidad de energía recibida por fachadas al norte y techos en relación con el recurso solar disponible en la manzana, el 28,10% de la energía es utilizable mientras un 71,81% de la misma no se aprovecha.

Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV)

El valor medio de la relación entre la cantidad real de energía captada por las superficies verticales al norte y el volumen interior a calefaccionar es de 64,6 kj (Escenario 2) y de 63,63% mayor el número de casos que se poseionan sobre el valor medio. No obstante el entono de baja densidad con mayor disponibilidad energética en relación al factor analizado es el Escenario 1 (78,1 kj).

Existe una marcada variabilidad en el potencial solar en techos cuyo valor medio es de 281,8 kj (Escenario 3). El máximo corresponde al Escenario 10 (345,2 kj) y el mínimo al Escenario 7 (196,4 kj). En el FAV el rango de variación es mayor que en FAU y FAE analizados con valores de 54,5% en muros y 43,11% en techos.

El FAV es importante no sólo porque relaciona la cantidad real de energía captada por las superficies y el volumen interior del edificio a calefaccionar sino además para obtener una correlación directa de la energía captada y su demanda potencial.

Factor de Asoleamiento Efectivo (FAE):

El valor medio de enmascaramiento sobre superficie vertical es de 30 % (Escenario 8), esto significa que un 70% de fachadas norte están asoleadas, el 63% de los casos se encuentran sobre el valor medio. El Escenario 11 es el que posee el mayor enmascaramiento sobre las fachadas norte (51%) y un 49% de la energía potencialmente disponible sobre muros norte está bloqueada por enmascaramiento sólido o permeable. El Escenario 6 es el que presenta menor enmascaramiento: 25% en superficies verticales, por lo tanto el asoleamiento es del 75 %.

La cantidad máxima de áreas asoleadas sobre techos es de 98 % (Escenario 10) con un porcentaje medio de enmascaramiento de 11% (Escenario 4). El Escenario 5 posee el mayor valor de enmascaramiento sobre techos del parque edilicio urbano estudiado, 16% con una disponibilidad de áreas asoleadas de 84 %.

MODELO ESTADÍSTICO

Conocidos los niveles de disponibilidad energética en el parque edilicio urbano actual en entornos de baja densidad del AMM e identificadas las configuraciones de la morfología urbana existentes que permiten obtener condiciones de máxima captación solar, es necesario determinar los factores que intervienen para definir con precisión la posibilidad de acceder a los recursos climáticos disponibles. Los estudios sobre el potencial energético de los entornos urbanos conllevan la obtención de datos en un número más o menos extenso de variables. Un análisis apropiado, debe tener en consideración toda la información recogida sobre las variables de la morfología urbana y edilicia existentes que permiten obtener condiciones de máximo aprovechamiento solar. La dificultad surge cuando es necesario identificar, entre el conjunto de variables seleccionadas, aquellas que están relacionadas con los tres indicadores definidos (FAU, FAV, FAE) y que los explican de la forma más ajustada posible.

El objetivo del análisis es determinar el potencial energético de los entornos urbanos en función de un conjunto amplio de variables explicativas (forma y orientación de las manzanas, ancho de calles e incidencia del arbolado urbano, morfología edilicia, dimensión de lotes típicos, ocupación del suelo y altura de la edificación), siendo necesario considerar el uso de un modelo de regresión lineal múltiple que, a partir de valores calculados permite interpretar linealmente la variable respuesta.

Análisis de Resultados del Modelo Estadístico

El modelo de regresión lineal múltiple utilizado permite determinar las variables significativas que intervienen en la captación solar y cuantificar la energía solar disponible en los entornos urbanos, en función de las características de la morfología y de la cuantificación de los valores de potencial solar en el parque edilicio urbano actual. Conjuntamente permite descartar variables que no resultan significativas.

El método propuesto, determina un valor estadístico “p-level” para cada variable, que expresa la significación (peso) de la misma para explicar FAU, FAV y FAE, a menor valor de “p-level”, más alta es la incidencia de la variable (Tabla 3). Para descartar variables no significativas se utilizó el valor umbral de 0,05 para un nivel de confianza del 95% lo que equivale a un nivel de significación de 0,05.

1. Factor de Asoleamiento Útil (FAU): para explicar FAU_m las variables que resultan más significativas son: orientación de las manzanas, morfología edilicia, forma de la manzana y parcelamiento. (Tabla 3).

VARIABLES	Forma	Orientación	A. de Calles	Parcelamiento	Arb. M.	Arb. D.	Morf. Edi.	FOS	FOT
p-level	0.009850	0.000023	0.071625	0.037382	0.448343	0.114250	0.000076	0.082635	0.067600

Tabla 3. Sumatoria de regresión para FAU_m . Valores p-level

Con el fin de relacionar los resultados de los modelos gráfico-computacional y estadístico se comparan, tres escenarios con valores de máxima, mínima y cercanos a la media de captación solar, tomados de los casos de análisis (Tabla 2). La Tabla 4 presenta los valores del indicador FAU_m de las 3 unidades de análisis seleccionadas y los valores de las variables significativas.

Las variables orientación y morfología edilicia presentan los mejores valores estadísticos “p-level” en relación con las demás variables. Inclusive una morfología edilicia irregular con orientación 6° presenta mayor disponibilidad energética que una regular, con forma 5:1 pero con orientación 65°. En el Escenario 10 la incidencia de la morfología edilicia regular, de forma 5:1 se acerca a los valores medios de FAU_m aún con superficie de parcelamiento mínima y con orientación intermedia (24°).

Escenario	Forma	Orientación	Morfología Edilicia	Parcelamiento	FAU_m
1	5:2	-6°	Irregular	246.72	8.8
8	5:1	+65°	Regular	243.18	2.5
10	5:1	-24°	Regular	213.65	5.2

Tabla 4. Valores máximos, mínimos y medios aproximados de FAU_m .

El segundo análisis referido al Factor de Asoleamiento Útil en techos (FAU_t), permitió determinar que ninguna de las variables explicativas tiene una incidencia importante en el potencial energético del parque edilicio urbano actual. Aplicando el modelo de regresión lineal múltiple para cada una de dichas variables los valores “p-level” son mayores a 0,05 por lo que no se evidencia una relación entre la variable respuesta y las variables explicativas.

2. Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV): Las variables que resultan más significativas para explicar FAV_m son morfología edilicia, orientación de las manzanas y parcelamiento (Tabla 5).

VARIABLES	Forma	Orientación	A. de Calles	Parcelamiento	Arb. M.	Arb. D.	Morf.Edi.	FOS	FOT
p-level	0.541722	0.000969	0.147230	0.046609	0.714616	0.138448	0.000822	0.051860	0.668522

Tabla 5. Sumatoria de regresión para FAV_m . Valores p-level.

Los entornos urbanos cuya orientación se aproximan a 0° , con morfologías edilicias homogéneas y mayor dimensión en lotes son aquellos con mejor disponibilidad energética del parque edilicio. La Tabla 6 compara 3 escenarios con valores máximos, mínimos y medios aproximados de FAV_m , comparando los valores del escenario 2 y 8, la variable respuesta FAV_m es mayor en el primer caso, a pesar de que ambos entornos poseen una mala orientación la configuración irregular mal orientada permite mayor disponibilidad de superficies de captación.

Escenario	Orientación	Morf. Edil.	Parcela	FAV_m
1	6°	Irregular	246.72	78.1
2	87°	Irregular	209.94	64.6
8	65°	Regular	243.18	35.6

Tabla 6. Valores máximos, mínimos y medios aproximados de FAV_m .

A partir de valores obtenidos de *Factor de Asoleamiento Volumétrico en techos (FAV)*, la variable que resulta más significativas es FOT (Tabla 7).

VARIABLES	Forma	Orientación	A. de Calles	Parcelamiento	Arb. M.	Arb. D.	Morf.Edi.	FOS	FOT
p-level	0.674201	0.826861	0.310001	0.488634	0.202781	0.105871	0.557255	0.116992	0.000019

Tabla 7. Sumatoria de regresión para FAV_t . Valores p-level

La Tabla 8 relaciona los resultados de las variables independientes significativas y la variable respuesta para tres escenarios. El Escenario 10 expresa la mejor relación entre la cantidad real de energía captada por las superficies de techos y el volumen construido, mientras que el Escenario 7 es aquel con menor disponibilidad solar.

Escenario	FOT	FAV_t
3	0.71	281.8
7	0.79	196.4
10	0.57	345.2

Tabla 8. Valores máximos, mínimos y medios aproximados de FAV_m .

3. Factor de asoleamiento efectivo (FAE): de las 9 variables seleccionadas para explicar FAE_m , las que resultan más significativas son morfología edilicia, ancho de calles y FOT (Tabla9).

VARIABLES	Forma	Orientación	A. de Calles	Parcelamiento	Arb. M.	Arb. D.	Morf.Edi.	FOS	FOT
p-level	0.366844	0.129344	0.002319	0.402448	0.277291	0.170646	0.000782	0.485888	0.025779

Tabla 9. Sumatoria de regresión para FAE_m . Valores p-level

Los resultados obtenidos de tres escenarios (3, 6 y 11) con valores máximos, mínimos y medios aproximados de FAE_m , respectivamente muestran la correlación entre las variables explicativas y el Factor de Asoleamiento Efectivo (Tabla 10). En el Escenario 6, la incidencia de la variable significativa: morfología edilicia regular acompañada de bajos valores de FOT presenta mejor valor de energía recibida sobre una superficie vertical al norte con respecto a la energía que captaría la misma superficie libre de todo enmascaramiento, aún cuando posee calles de 13m.

Si bien el cálculo determina que las variables: morfología edilicia, ancho de calles y FOT son las de mayor incidencia para determinar la potencialidad solar, todos los indicadores no tienen el mismo peso, en este caso la combinación de dos variables compensa la carencia de la variable ancho de calles (Escenario 6).

Escenario	Ancho	Morfología	FOT	FAE_m
3	20	Irregular	0.71	0.70
6	13	Regular	0.55	0.75
11	18	Regular	1.09	0.51

Tabla 10. Valores máximos, mínimos y medios aproximados de FAE_m .

La interpretación del valor estadístico “p-level” para FAE_t (Tabla 11), indica mayor incidencia de tres variables: FOS, morfología edilicia, y FOT.

VARIABLES	Forma	Orientación	A. de Calles	Parcelamiento	Arb. M	Arb. D.	Morf.Edi.	FOS	FOT
p-level	0.468116	0.124761	0.449732	0.957538	0.367993	0.511386	0.014213	0.002449	0.018879

Tabla 11. Sumatoria de regresión para FAE_t Valores p-level

Al analizar las características de las variables significativas en el Escenario 10 se observa una correspondencia entre valores bajos de FOS y FOT y una morfología regular que se ve reflejado en el valor obtenido de FAE. En tanto el peso de la variable FOS tiene incidencia en el mayor enmascaramiento de la energía disponible en el Escenario 5 en relación a la energía potencialmente disponible. (Tabla 12)

Escenario	Morfología	FOS	FOT	FAE_t
3	Irregular	0.64	0.71	0.89
5	Irregular	0.60	0.60	0.84
10	Regular	0.57	0.57	0.98

Tabla 12. Valores máximos, mínimos y medios aproximados de FAE_t

CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología que permite evaluar el potencial solar de los entornos urbanos de baja densidad existentes en el AMM, a partir de datos reales y determinar las configuraciones más eficientes para la captación y utilización del recurso solar en forma generalizada.

El uso de un Modelo Grafico-Computacional permitió cuantificar la disponibilidad energética en el parque edilicio urbano actual, y determinar los escenarios de la morfología urbana existente que permiten obtener condiciones de máxima captación solar. El Factor de Asoleamiento Útil (FAU) posibilitó establecer que un 71.81% de la energía recibida por las superficies de la manzana se desaprovecha. Las variables significativas relacionadas son: forma y orientación de las manzanas, morfología edilicia y parcelamiento. Además existe un predominio de disponibilidad solar en techos (70%), sobre lo disponible para calefacción de espacios (30%) en los entornos de baja densidad analizados.

En promedio se capta sobre fachadas norte un 5.2% del potencial solar incidente sobre en relación al perfil edificable de la manzana (prisma solar máximo); a su vez, si relacionamos el valor 5.2% disponible sobre muros norte con el Factor de Asoleamiento Efectivo (FAE) existe un enmascaramiento del 49%. El conocimiento y corrección de las variables que influyen sobre dicho enmascaramiento permitiría aumentar radiación directa real a un 10.61% sobre la radiación directa incidente sobre el perfil edificable de la manzana.

Se espera, con el avance del estudio, desarrollar un programa que permita cuantificar la energía solar disponible en medios urbanos a partir de las variables de la morfología urbana y edilicia existentes; apuntando a 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 edificios urbanos. Se espera que esta transferencia permita a tomadores de decisiones gestionar, diseñar e implementar respuestas de diseño y tecnología económica y jurídicamente viables hacia el futuro.

REFERENCIAS

- Arboit, M.; Mesa, A. y de Rosa C. (2006). Evaluación de la morfología urbana tendiente a maximizar la eficiencia energética. Estudio de entornos de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza. ANES. México.
- 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, Vol. 20, N° 3, pp.219-230. USA.
- 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.
- Givoni, B. (1998) Climate considerations in building and urban design. John Wiley & Sons, Inc., USA.
- Duffie J., Beckman W. (1974). Solar Energy Thermal Processes. John Wily & Sons, Inc., USA.
- Gobierno de Mendoza, Ministerio de Ambiente (1998). Estudio Energético Ambiental de la Provincia de Mendoza.
- Grambill, F. (1976). The theory and Application of the Linear Model. North Scituate, Duxbury Press.
- Herrera C., García M., (2003). A 10 años de la privatización de YPF, CREEPaCe.
- Mesa N., Cortegoso, J.L. y de Rosa, C. (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, Mexico.
- Montgomery, D. and Peck E. (1982). Introduction to Linear Regression Analysis. New York. John Wiley.
- Owens, S, (1986) Energy, Planning and Urban Form. Pion Ltd., London.
- Shaviv E. (1984). Design tools for solar rights and sun-shades determination. In. Proceeding of the 9th national passive solar conference, ASES. Columbus Ohio.

TITLE

URBAN MORPHOLOGY'S SIGNIFICANT VARIABLES ON THE SOLAR POTENTIAL OF LOW-DENSITY ENVIRONMENTS IN MENDOZA'S METROPOLITAN AREA.

ABSTRACT: In a regional context the problem of the energy and environmental sustainability of urban environments worsens steadily as a consequence of the lack of knowledge and the backwardness of the norms in force on the rational use and renewable sources of energy. The paper presents the first results of a study aimed at defining urban design criteria in Andean cities that would allow decision makers to manage, design and implement design responses, juridically viable towards the future, within the framework of environmental and energy sustainability.

The study analyzes the relationship of solar energy availability in the urban environment and the incidence of urban and building morphologies of low-density urban tissues of Mendoza's Metropolitan Area, on the access to the resource. The results demonstrate the energy availability in the present urban building stock, for a sample group of cases and the incidence of the significant variables on the solar potential of the studied environments.

Keywords: Urban morphology, sustainable development, solar energy.