



ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL FACTOR DE ASOLEAMIENTO VOLUMÉTRICO EN TRAMAS URBANAS DE BAJA DENSIDAD EN EL AREA METROPOLITANA DE MENDOZA.

Arboit, Mariela¹; Diblasi Angela², y de Rosa, Carlos³

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:

El presente trabajo tiene como objetivo generar conocimientos y metodologías que permitan realizar propuestas conducentes a una mayor sustentabilidad energético-ambiental de los sistemas urbanos regionales, en función de sus características morfológicas y del recurso solar disponible. Se toma el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) como caso de estudio.

Las tareas ya realizadas y comunicadas han partido del reconocimiento de zonas urbanas morfológicamente homogéneas, identificación de variables morfológicas; selección de una muestra representativa de las unidades de análisis (manzanas urbanas); creación de indicadores relevantes del aprovechamiento solar, cálculo de los mismos e implementación de análisis convencional y estadístico multivariado, como herramientas de análisis.

El estudio que se presenta permite evaluar la correlación entre la energía total incidente sobre superficies verticales al norte y el volumen a calefaccionar determinada por el Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV) y expresa la relación entre morfología urbana y acceso al recurso solar para calefacción de espacios en el AMM.

Los resultados del análisis convencional y estadístico validaron del método con un nivel de confianza del 99% y han permitido evaluar el peso relativo de cada variable morfológica sobre el indicador, proponiendo además una ecuación sencilla que permite calcular el valor del indicador según distintas alternativas morfológicas y combinaciones de las mismas. Se espera en un futuro próximo, en base a los resultados obtenidos, elaborar lineamientos de diseño apropiados para formular e implementar una legislación que establezca rangos de valores para cada variable significativa, tendiente al aprovechamiento pleno del recurso solar en la ciudad, y por lo tanto al desarrollo ambiental y energéticamente sustentable.

Palabras clave: volumetría urbana, conservación, ahorros de energía, indicadores urbanos.

ABSTRACT

The present work's goal is to generate knowledge and methodologies in order to produce proposals aimed at attaining a greater level of energy and environmental sustainability in the regional urban

¹ Becaria de Formación Doctoral CONICET

² Profesional Principal CONICET

³ Investigador Principal CONICET

systems, as function of their morphologic features and the available solar resource. Mendoza's Metropolitan Area (MMA) has been chosen as a case study.

The already accomplished and published results have been developed from the recognition of morphologically homogeneous urban areas, identifications of the corresponding variables, selection of a representative sample of the analysis units (urban city-blocks) considered, creation of indicators relevant to describe solar potential, calculation of the indicators and implementation of conventional and multivariated statistical as analysis tools.

The present study allows for the evaluation of the correlation between the total impinging energy on north facing vertical surfaces and the volume requiring space heating in MMA.

The results of conventional and statistical analysis validated the method with a confidence level of 99% and have allowed to evaluate the relative weight of each morphological variable on the indicator, proposing besides a simple equation to calculate the indicator's value for different morphological alternatives and their combinations.

Developing from the present results, future studies aimed at proposing design guidelines for the prescription and implementation of norms establishing value ranges for each significant variable, leading to the optimal utilization of the solar resource in the city and thereby to the energy and environmental sustainable development.

Keywords: urban volumes, energy conservation, passive solar, urban indicators.

1. INTRODUCCION

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), cuyas coordenadas geográficas son: latitud $-32^{\circ}54'$, longitud $68^{\circ}50'$ y altitud 828msnm. Está integrada por seis departamentos administrativos que alojan una población de casi un millón de habitantes.

El AMM es el resultado del proceso de conurbación que integra las villas cabeceras de 5 municipios en un solo conglomerado urbano el Área Metropolitana de Mendoza (AMM). A partir de la ciudad capital de Mendoza, fundada en 1561 con características coloniales (damero de 5 x 5 manzanas). En 1861 un terremoto destruyó totalmente la ciudad; los rasgos estructurales del trazado antiguo dieron paso a la creación de la “ciudad nueva”, en la cuál se reformula el tradicional damero colonial de las ciudades fundadas por los españoles en América Latina a partir de una traza en cuadrícula de 8 por 8 manzanas, con una desviación cardinal del eje de las calles de 12° hacia el este. El tejido urbano está integrado por la geometría de las manzanas, la morfología construida, las áreas verdes, acequias y arboleda. Mendoza urbana fue creciendo en torno a la red de acequias que antiguamente regaron sus cultivos y sus calles se alinearon paralelamente a las hijuelas, respondiendo a la necesidad de sobrevivir en medio de un desierto; este crecimiento no previno el consecuente crecimiento anárquico ni la expansión sobre tierras cultivadas. El desarrollo urbano después de cuatro siglos, ha dado lugar a entornos de distintas densidades edilicias, desde altas en el centro de la ciudad hasta medias y bajas en zonas residenciales, periféricas.

El AMM ocupa un área de 3600Km², está desarrollada sobre un oasis de cultivo con riego artificial, emplazado en el extremo noroeste de la provincia, lindando su borde oeste con el piedemonte andino, es decir, el ecosistema desértico natural de la región. La superficie de los oasis constituye alrededor del 3% de la superficie total de la provincia que concentra aproximadamente el 97% de la población.

En el contexto de la región árida del centro-oeste del país, 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. El AMM presenta signos de deterioro ambiental motivados por la expansión de la mancha urbana que se extiende sobre el piedemonte y sobre las tierras agrícolas de

mayor fertilidad, con un desarrollo descontrolado que no contempla diseño ni tecnología apropiados. El entorno urbano-edilicio presenta un creciente deterioro de la infraestructura y ambiente construido; no obstante, la región posee una valiosa disponibilidad de recursos climáticos, humanos, tecnológicos y ambientales.

Un avance significativo hacia la sustentabilidad ambiental y energética futura plantea el mejoramiento de las características de conservación y aprovechamiento del recurso solar mediante el control de la morfología urbana y edilicia. El desarrollo del potencial de eficiencia energética requiere de la implementación de políticas para la planificación urbana y energética.

2. METODOLOGIA

El presente trabajo se inserta en una línea de investigación, la bioclimatología urbana, que se está desarrollando en el LAHV desde 1999. El objetivo es generar conocimientos y metodologías que permitan realizar propuestas conducentes a una mayor sustentabilidad energético-ambiental de los sistemas urbanos regionales, en función de sus características morfológicas y del recurso solar disponible. Se prevé la transferencia de resultados y conclusiones a organismos de planificación urbana y energética para la implementación de normas a ese fin.

Las tareas ya realizadas y comunicadas han partido del reconocimiento de zonas urbanas morfológicamente homogéneas, identificación de variables morfológicas; selección de una muestra representativa de las unidades de análisis (manzanas urbanas); creación de indicadores relevantes del aprovechamiento solar, cálculo de los mismos e implementación de análisis estadístico multivariado, como herramienta de análisis. El estudio que se presenta se desarrolla a partir de los indicadores relevantes propuestos y los resultados de su análisis estadístico. Los indicadores expresan relaciones entre morfología urbana y acceso al recurso solar para calefacción de espacios en el AMM.

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 2m³/m²

Área de Media densidad: Densidad volumétrica de 2 a 4m³/m²

Área de Alta densidad: Densidad volumétrica mayor de 4m³/m².

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 área de análisis en la que ha sido seleccionado un sector representativo que aloja tipologías de baja densidad.

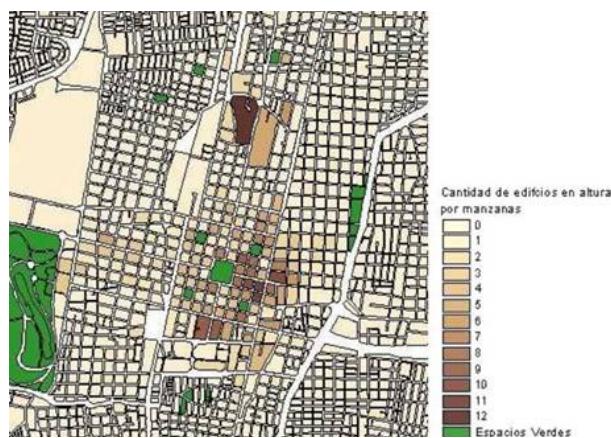


Figura 1: Densidades edilicias del AMM

METODOLOGÍA – TRABAJO ACTUAL

Si bien el desarrollo metodológico de esta investigación ha sido ya parcialmente informado en publicaciones previas (Arboit, et al. 2007), se estima necesario presentar aquí una síntesis del mismo con el fin de facilitar la comprensión de los resultados de las tareas recientes que se presentan por primera vez en este trabajo.

Las etapas ya concluidas han sido:

1. Recopilación de la información catastral disponible y mapeo de la misma para toda el AMM. Zonificación de áreas de baja densidad a considerar en el estudio.
2. Definición de un conjunto de variables morfológicas, urbanas y edilicias, para el análisis de su incidencia en el acceso al recurso solar de los edificios urbanos. Se toma a la manzana urbana como unidad de análisis.

Variables urbanas: **Forma de las manzanas:** Está referida a la proporción de los lados de manzanas aproximadamente rectangulares, según la misma se determinan 5 (cinco) tipos y se los identifica mediante dichas proporciones: 5/5 (cuadrada), 5/4, 5/3, 5/2 y 5/1. **Orientación de las manzanas:** Se refiere al ángulo formado por el lado más largo de la manzana y la directriz N-S. Se determinaron 12 tipos en tramos de 15° cada uno, resultando 0 (0°) para la directriz norte, +6 (+ 90°) para el este y -6 (- 90°) para el oeste. **Ancho de los canales viales:** Se toman los anchos reales de calles existentes entre líneas municipales en el AMM: 13 y 16 m. (secundarias), 18 y 20 m. (primarias) y 30 m. (avenidas). **Características de la arboleda urbana:** Se compone de 3 variables: magnitud, permeabilidad y plenitud. *Magnitud:* es función del tamaño del fenotipo de la especie arbórea; se definen 5 tipos: 1(uno) especies de mayor tamaño de diámetro de copa y altura, sucesivamente hasta 5 (cinco) para ejemplares jóvenes no más altos de 1,5 m. *Permeabilidad:* se refiere a la cantidad de radiación global media invernal que atraviesa la copa de los árboles, respecto a la cantidad de radiación global en el mismo periodo, sin obstrucciones. Se la considera en valores porcentuales. *Plenitud:* expresa la relación porcentual entre el número de árboles existentes alrededor de una manzana urbana y la cantidad máxima posible considerando la distancia adecuada entre individuos, en porcentaje.

Variables edilicias: **Morfología edilicia:** está representada solamente por 2 (dos) tipos: 1. homogéneas (conjuntos de viviendas sociales morfológicamente homogéneas), 2. heterogéneas (manzanas de construcción lote a lote morfológicamente heterogéneas). **Factor de Forma (FF):** es la relación entre el área de la envolvente de un edificio y su volumen interior. Se expresa en m²/m³. **Factor de Ocupación del Suelo (FOS):** es la relación entre el área de un edificio construida en planta baja y la superficie total construible del terreno. Se expresa como fracción. (Código de Edificación de Mendoza, 2000). **Factor de Ocupación Total (FOT):** es la relación entre el área total construida de un edificio y la superficie total construible del terreno. Se expresa como fracción. (Código de Edificación de Mendoza, 2000)

Las últimas 3 (tres) variables se calculan como sumatorias de todos los edificios situados en cada manzana, resultando en un valor único, como si se tratara de un solo edificio. (Tabla 1)

3. Selección de una muestra representativa de manzanas urbanas para su análisis detallado. Se determina un conjunto preliminar de 32 unidades para cada una de las 3 (tres) variables consideradas como primarias: forma de las manzanas, orientación de las manzanas y morfología edilicia; a partir de su lectura sobre el mapa confeccionado. Se establece la representatividad porcentual de los distintos tipos de cada variable y según la misma, se procede a completar un conjunto de 32 unidades por variable. La distribución espacial de las mismas se realiza mediante un procedimiento aleatorio (random). Se completa el mismo relevando “in-situ” el resto de las variables: características de la arboleda y el cálculo de los tres variables secundarias restantes: FF., FOS. y FOT. La muestra definida por el presente trabajo comprende las siguientes condiciones: 1. El uso del suelo exclusivamente residencial, (admitiendo pequeños negocios comerciales y usos secundarios en edificios residenciales). 2. Las construcciones no deben exceder 3 niveles de altura.

Tabla 1: Listado de valores de las variables urbanas y edilicias del conjunto muestral.

Escenario	VARIABLES URBANAS				VARIABLES EDILICIAS							
	Nº	Manzanas		Ancho del Canal Vial (m)		Arbolado Urbano		Morfo logía	Factor de Forma	FOS	FOT	
		Forma	Orien tación	Magni tud	Permea bilidad	Pleni tud						
1	05:02	-5	20	2 ^a	52	57	Irregular	0.49	0.74	0.97		
2	05:03	-6	20	2 ^a	52	55	Irregular	0.64	0.56	0.78		
3	05:02	-6	20	2 ^a	52	65	Irregular	0.6	0.72	0.98		
4	05:03	87	20	2 ^a	43	69	Irregular	0.61	0.69	0.91		
5	05:03	86	20	2 ^a	52	70	Irregular	0.59	0.74	1.00		
6	05:04	-6	20	1 ^a	35	77	Irregular	0.68	0.6	0.66		
7	05:05	-5	20	1 ^a	43	71	Irregular	0.63	0.68	0.75		
8	05:05	-1	20	1 ^a	51	81	Irregular	0.89	0.57	0.61		
9	05:04	-1	20	1 ^a	51	79	Irregular	0.64	0.58	0.61		
10	05:04	74	20	1 ^a	43	76	Irregular	0.65	0.62	0.62		
11	05:04	74	20	1 ^a	43	68	Irregular	0.88	0.52	0.52		
12	05:04	74	16	1 ^a	43	69	Irregular	0.57	0.67	0.67		
13	05:02	-23	13	2 ^a	43	64	Regular	0.62	0.55	0.57		
14	05:02	-23	13	2 ^a	43	74	Regular	0.63	0.55	0.56		
15	05:02	-23	13	2 ^a	43	85	Regular	0.64	0.51	0.52		
16	05:02	-23	13	2 ^a	43	76	Regular	0.59	0.53	0.54		
17	05:02	-23	13	2 ^a	43	83	Regular	0.53	0.53	0.8		
18	05:02	-23	13	2 ^a	43	67	Regular	0.54	0.52	0.79		
19	05:01	65	15	3 ^a	43	54	Regular	0.68	0.52	0.55		
20	05:01	65	15	3 ^a	43	57	Regular	0.56	0.61	0.61		
21	05:01	65	15	3 ^a	43	54	Regular	0.62	0.57	0.59		
22	05:02	65	15	3 ^a	39	47	Regular	0.62	0.58	0.58		
23	05:02	65	15	3 ^a	39	67	Regular	0.64	0.55	0.56		
24	05:02	65	15	3 ^a	39	56	Regular	0.7	0.52	0.53		
25	05:02	-24	15	2 ^a	43	66	Regular	0.63	0.60	0.6		
26	05:02	-24	15	2 ^a	43	71	Regular	0.61	0.57	0.57		
27	05:01	-24	15	2 ^a	43	67	Regular	0.61	0.58	0.58		
28	05:02	-24	15	2 ^a	43	57	Regular	0.64	0.54	0.54		
29	05:03	67	18	1 ^a	43	79	Regular	0.58	0.63	1.05		
30	05:03	67	18	1 ^a	43	68	Regular	0.56	0.65	1.08		
31	05:03	67	18	1 ^a	43	74	Regular	0.56	0.66	1.08		
32	05:03	67	18	1 ^a	43	68	Regular	0.53	0.69	1.16		

4. Determinación del acceso al sol de superficies verticales orientadas al norte, mediante el uso de un modelo gráfico- computacional: (Mesa et al.,2000) el mismo trabaja dibujando y luego midiendo las áreas de los distintos sectores graficados sobre perspectivas axonométricas “vistas desde el sol”.

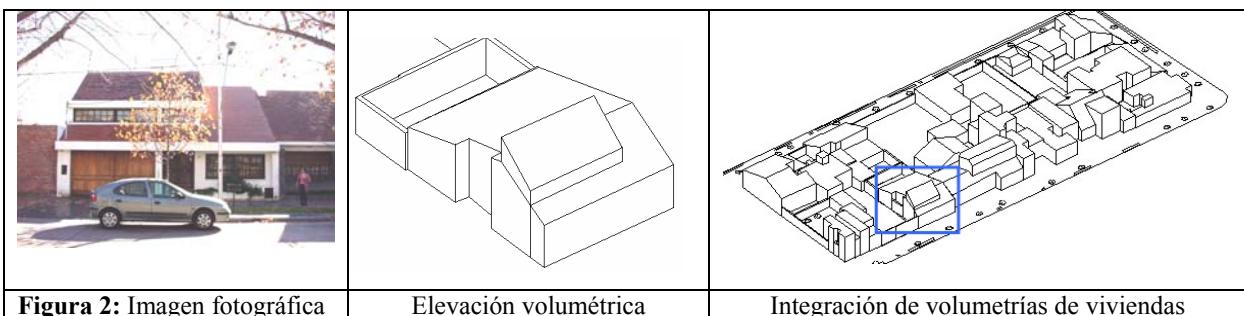


Figura 2: Imagen fotográfica Elevación volumétrica Integración de volumetrías de viviendas

El modelo se corre para las 5 (cinco) horas centrales del día y para 6 (seis) días-tipo mensuales de invierno. Se realizan 2 (dos) series de corridas, una con enmascaramientos sólidos (edificios), la restante con enmascaramientos sólidos + permeables (edificios + árboles) (Cantón et al., 1994).

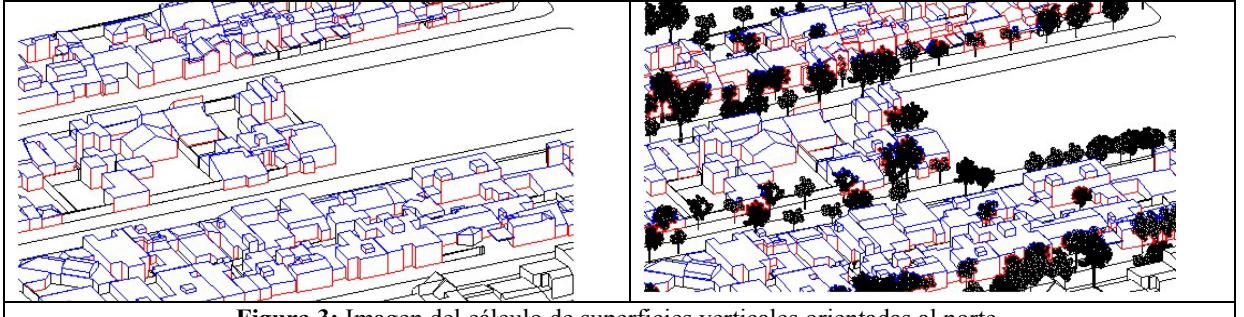


Figura 3: Imagen del cálculo de superficies verticales orientadas al norte.

5. Definición del indicador solar expresivo entre la morfología urbana y el volumen a calefaccionar de las unidades de análisis:

Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV): Expresa la relación entre la energía total neta incidente sobre superficies verticales al norte (+/- 15°), no enmascaradas, durante un ciclo anual de calefacción y el volumen total de los espacios a calefaccionar. El indicador es posiblemente el que mejor describe el potencial solar para calefacción de espacios mediante sistemas solares pasivos, en particular, la Ganancia Directa, en MJ/m² año. Su expresión matemática es:

$$\text{FAV} = \frac{\sum_{m:4}^{\text{08}} \sum_{d:1}^{30} \sum_{h:9.30}^{14.30} [\text{Afn} - (\text{Aes} + (\text{Aep} \cdot (1-P))) \cdot R]}{\text{Volumen a calefaccionar}}$$

Donde:

Afn: Área total potencialmente colectora en fachadas norte (m²)

Aes: Área de enmascaramiento sólido (construcciones): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por construcciones edilicias próximas (m²)

Aep: Área de enmascaramiento permeable (árboles): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por el arbolado urbano, se aplican los porcentajes de permeabilidad solar de cada especie vegetal, para determinar el área de captación real (m²)

P: Factor de Permeabilidad: porcentajes de permeabilidad solar de cada especie vegetal (%).

R (m-d-h): Radiación horaria diaria en fachadas norte para cada mes de la estación de calefacción (Wh/m²).

m: N° de meses a calefaccionar (n), d. N° de días mensuales (5), h: N° de horas diarias(n).

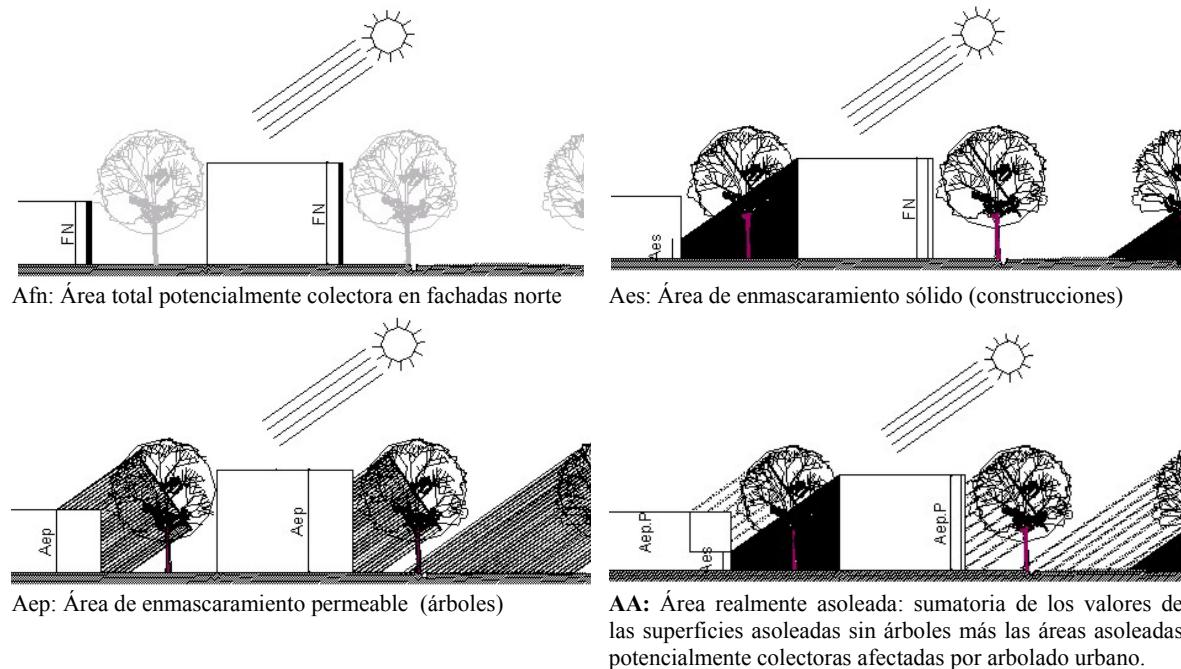


Figura 4: Esquemas descriptivos de la Afn, Aes, Aep y AA

6. Análisis Estadístico:

Vista la cantidad y complejidad, de las variables, de sus interrelaciones y diferentes niveles de incidencia, se decidió recurrir al Análisis Estadístico de Regresión Lineal Múltiple (MERLM) con el fin de determinar el nivel de incidencia de las variables morfológicas (variables explicativas) sobre el indicador energético (variables respuesta), y poder descartar aquellas variables de mínimo impacto. Paralelamente, se obtiene, una ecuación sencilla que permite calcular el valor del mismo, evitando la pesada tarea de determinación del asoleamiento real mediante las 60 corridas necesarias

del modelo gráfico-computacional (por cada manzana analizada). Se elaboró un MERLM para el indicador estudiado Factor de Asoleamiento Volumétrico.

La contribución del análisis estadístico es doble: i. Provee un listado jerarquizado según su nivel de incidencia de las variables explicativas (morfológicas) para explicar las variables respuesta (indicadores energéticos), descartando todas las variables no-significativas; ii. Aporta una herramienta de cálculo simple a partir de los datos obtenidos de la muestra y de los resultados de los 2 (dos) modelos, gráfico y estadístico, mediante una ecuación sencilla.

Con el objeto de generalizar los resultados, a partir de un número limitado de casos, el MERLM permitió correlacionar los valores del potencial solar del parque edilicio urbano actual, resultantes de las simulaciones realizadas con el modelo gráfico-computacional, con el conjunto de variables explicativas urbanas y edilicias. Dichas correlaciones permitieron identificar las alternativas morfológicas más eficientes para las situaciones analizadas.

Los pasos para construir el modelo de la regresión lineal fueron los siguientes: i. Comprobación de los supuestos del modelo. ii. Aplicación de la transformación de Box & Cox. iii. Selección de un subconjunto de variables como las más significativas en la explicación de la variable respuesta mediante el procedimiento step- wise. iv. Estudio de la significación de cada variable (p-value), test de la bondad de ajuste para el modelo, coeficientes de correlación al cuadrado que simbolizan la varianza explicada por el modelo y v. Obtención del error estándar residual (Faraday, 2005), (Venables, 2002), (Box & Cox, 1964).

4. RESULTADOS

Se presentan los valores del FAV calculados para las 32 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.

Tabla 2. Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV) Cuadro comparativo de los valores calculados de los indicadores utilizados para superficies verticales al norte

Escenarios	FAV	Escenarios	FAV
1	79	17	96
2	106	18	100
3	110	19	46
4	91	20	39
5	71	21	49
6	86	22	63
7	86	23	44
8	116	24	43
9	75	25	100
10	81	26	97
11	100	27	85
12	69	28	83
13	91	29	30
14	88	30	38
15	80	31	41
16	80	32	37

Referencias

- Valores mínimos
- Valores medios
- Valores máximos

Los valores Factor de Asoleamiento Volumétrico en muros norte (FAV) varían substancialmente con una media de 75 MJ/m³ por estación de calefacción, extendiéndose de un mínimo de 30 MJ/m³ a un máximo de 116 MJ/m³; en la actual configuración de las manzanas urbanas de la baja densidad un porcentaje muy alto de la radiación total en muros norte está enmascarada por los edificios vecinos (sólidos) y el arbolado urbano (permeable) (Figura 5). Los valores del FAV representan el 23% de la energía total necesaria para calefacción de espacios en la estación de calefacción (324 MJ/m³).

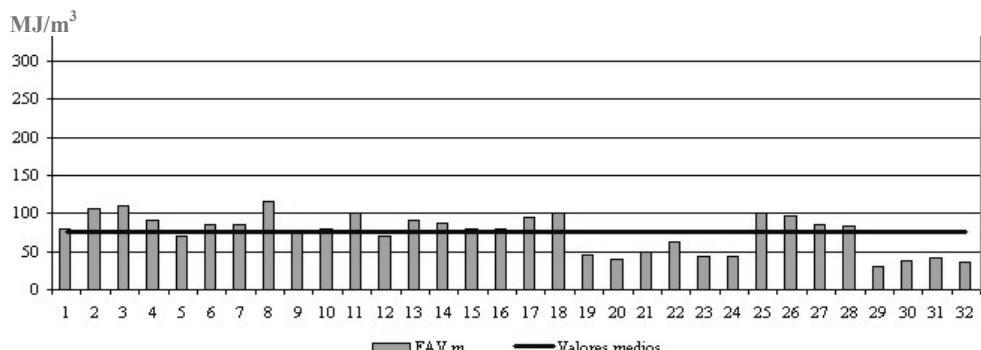


Figura 5: Valores calculados del Factor de Asoleamiento Volumétrico Fachadas Norte (FAV)

El escenario 29, presenta el valor más bajo de asoleamiento volumétrico (30 MJ/m^3) de las manzanas urbanas varias razones apoyan este resultado:

- Posee una orientación no-favorable (67° este del norte) que impide el asoleamiento de la fachada longitudinal más extensa, que combinada con la morfología edilicia homogénea reducen sustancialmente la posibilidad de acceder a la radiación solar.
- La alta densidad edilicia expresada por los valores altos de ocupación del suelo (FOS) y de ocupación total (FOT), en 0.63 y $1.05 \text{ m}^2/\text{m}^3$, respectivamente.
- La magnitud del arbolado urbano (2^a) y los altos valores de plenitud 79% en la manzana proporcionan una razón adicional para el reducido asoleamiento.

El escenario 8 presenta los valores más altos de asoleamiento en fachadas norte y responde a:

- La orientación conveniente de la manzana (1° oeste del norte)
- El valor más alto de Factor de Forma (0.89)
- Valores de ocupación del suelo (FOS) por debajo de la media (0.57) y valores bajos de FOT, $0.61 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- La permeabilidad levemente mayor de las copas del arbolado en invierno, (51%) aumentan la radiación disponible sobre fachadas norte.

Análisis Estadístico de las variables urbanos- edilicias:

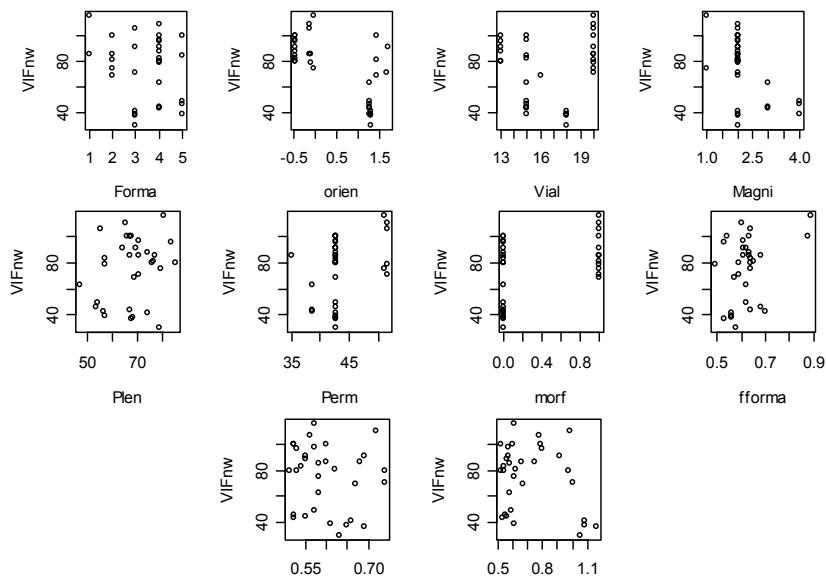


Figura 6: Gráfica del análisis de los valores calculados del Factor de Asoleamiento Volumétrico Fachadas Norte (FAV)

Modelo volumétrico = lm (FAV ~ Forma de la manzana +orientación de la manzana +Ancho de Canal Vial+Magnitud del arbolado+Plenitud del arbolado+Permeabilidad del arbolado+morfología edilicia+factor de forma+FOS+FOT) resumen (modelo volumétrico)

Antes de seleccionar variables

Tabla 3: Variables analizadas por el MERLM para FAV.

	Coeficientes:	Estimación	Error Estándar	Valor - p
FAV	(Intercepción)	98.8660	66.9313	1.477 0.15448
	Forma de la Manzana	9.7425	4.0424	2.410 0.02520 *
	Orientación de la Manzana	-14.3237	3.8528	-3.718 0.00127 **
	Ancho de Canal Vial	-6.0351	2.1490	-2.808 0.01053 *
	Magnitud del Arbolado	-12.5189	6.0683	-2.063 0.05170
	Plenitud del Arbolado	-0.3128	0.3056	-1.024 0.31770
	Permeabilidad del Arbolado	-0.8925	0.7159	-1.247 0.22623
	Morfología Edilicia	56.8161	11.0255	5.153 4.18e-05 ***
	Factor de Forma	148.2856	47.5472	3.119 0.00519 **
FOT	FOS	-15.2942	63.3348	-0.241 0.81152
	FOT	47.5589	23.9571	1.985 0.06034
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 11.03 on 21 degrees of freedom				
Multiple R-Squared: 0.8644, Adjusted R-squared: 0.7998				
F-statistic: 13.38 on 10 and 21 DF, p-value: 5.366e-07				

Después de la selección de variables

Tabla 4: Variables seleccionadas por el MERLM para FAV.

	Coeficientes:	Estimación	Error Estándar	Valor - p				
FAV	(Intercepción)	34.320	37.415	0.917 0.368127				
	Forma de la Manzana	8.459	3.403	2.486 0.020288 *				
	Orientación de la Manzana	-13.968	3.672	-3.804 0.000864 ***				
	Ancho de Canal Vial	-5.676	2.014	-2.818 0.009519 **				
	Magnitud del Arbolado	-8.643	5.357	-1.613 0.119747				
	Morfología Edilicia	50.62	9.322	5.430 1.40e-05 ***				
	Factor de Forma	141.079	41.018	3.439 0.002139 **				
	FOT	35.746	21.513	1.662 0.109601				
	Residual standard error: 10.89 on 24 degrees of freedom							
Multiple R-Squared: 0.849, Adjusted R-squared: 0.805								
F-statistic: 19.28 on 7 and 24 DF, p-value: 2.028e-08								

Los resultados obtenidos por ambos métodos, gráfico-computacional y estadístico, fueron similares en los 32 casos de estudio analizados (Figura 7), esto permite afirmar la validez de la utilización del modelo estadístico, para evaluar la disponibilidad del recurso solar en las zonas de análisis.

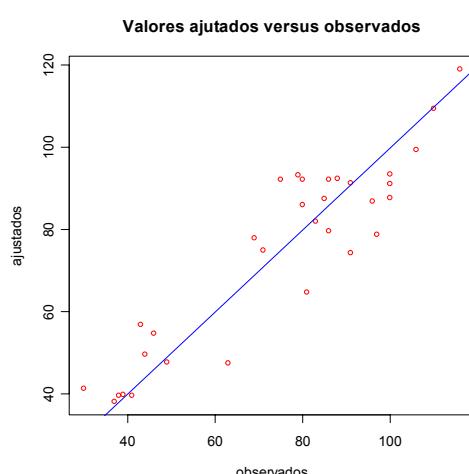


Figura 7: Valores comparados de FAV del Modelo Gráfico- Computacional y del Modelo Estadístico para las 32 unidades de análisis.

5. CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos del conjunto muestral y, los resultados de los modelos Gráfico y Estadístico, se desarrolló una herramienta de cálculo en formato de planilla Excel, que infiere el valor de los indicadores del potencial solar de los entornos urbanos de baja densidad, a través de un cálculo sencillo.

El análisis estadístico de un número importante de casos de estudio permitió correlacionar linealmente los valores calculados de los índices seleccionados con los resultantes de las simulaciones obtenidas por el modelo gráfico-computacional, e identificar las alternativas morfológicas más eficientes para la situación de referencia analizada, (actual sin cambios). Dicha herramienta permite en forma sencilla obtener resultados, comparada con la modelización 3D y cálculo a través del modelo gráfico computacional y ampliar los casos de estudio al total la trama urbana de baja densidad pudiéndose determinar la energía disponible en los entornos urbanos para los usos mencionados. La herramienta derivada del MERLM, alcanza en promedio un nivel de confianza del 99%.

La verificación posterior y convalidación fuera del conjunto muestral principal se realizó, obteniéndose una varianza explicada del 71 %.

6. REFERENCIAS

- Balcomb JD, Jones R., Kosiewicz C., Lazarus G., McFarland R., Wray W. (1983). "Passive Solar Design Handbook". American Solar Energy Society, Inc. New York.
- Basso Mirza, Fernández Jorge C., Mesa Néstor A., Córica María L., de Rosa Carlos "Urban morphology and solar potential of the built environment in Andean Cities of Hispanic Layout. Assessing proposals towards a more sustainable energy future". 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA 2003, Santiago – Chile, Nov. 2003.
- Box, G.R.P & Cox, D.R. (1964) "An Analysis of Transformations", Journal of the Royal Statistical Society, series B, 26, 211-252.
- Canton Maria A., Cortegoso José L. y de Rosa Carlos. "Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina". Energy and Buildings, Berkeley, USA, Vol. 20, N° 3, pp.219-230, 1994.
- Faraday, J.A. (2005). Linear Models with R, Chapman & HLL/CRC, Boca Raton, London, New Cork, Washington DC.
- Fernández Jorge, Basso Mirza, Mesa Alejandro, de Rosa Carlos "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 Conference, Florianopolis, Brasil, 2001.
- Jenks Mike, Burton Elizabeth, Williams Katie (Editors). "The Compact City- A Sustainable Urban Form". E & FN Spon. London, 1996.
- Mesa Nestor A., Cortegoso José L., de Rosa Carlos. (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, México, D. F.
- Municipalidad de Mendoza. "Código urbano de Edificación. Recopilación y Actualización". Ciudad de Mendoza, 2000.
- Owens Susan, "Energy, Planning and Urban Form". Pion Ltd., London, 1986.
- Venables W. N., Ripley B. D. (2002) "Modern Applied Statistics with S-Plus", Springer-Verlag, Berlin New York, Heidelberg-London.