



Factibilidad de Aprovechamiento de la Energía Solar e Impactos Previsibles de las Nuevas Reformas del Código Urbano y de Edificación: Propuestas para la Ciudad de Mendoza, Argentina

Solar Energy Use Feasibility and Foreseeable Impacts of the Recent Reforms to the Urban and Building Code: Proposals for the City of Mendoza, Argentina

Mariela Arboit ^(a); Angela Diblasi ^(b); Carlos de Rosa ^(c)

^(a) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Argentina – email: marboit@lab.cricyt.edu.ar

^(b) Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Cuyo – Argentina – email: adiblasi@mendoza-conicet.gov.ar

^(c) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – Argentina – cderosa@mendoza-conicet.gov.ar

RESUMEN

Palabras clave:

Desarrollo urbano sustentable
Morfología urbana
Potencial solar

El objetivo del trabajo es generar conocimientos que permitan realizar propuestas conducentes a una mayor sostenibilidad energético-ambiental de los sistemas urbanos regionales, en función de sus características morfológicas y del recurso solar disponible. En una primera etapa se ha realizado un análisis de las zonas de alta densidad edilicia a partir de los resultados de indicadores relevantes y su análisis estadístico. Los indicadores expresan relaciones entre morfología urbana y acceso al recurso solar en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), e incluyen: Factor de Asoleamiento Efectivo (FAE) y el Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV). Los resultados del análisis estadístico han permitido evaluar las correlaciones de cada variable morfológica sobre cada indicador, según distintas alternativas morfológicas y combinaciones de las mismas, lo que constituye la parte sustancial de este trabajo. En una segunda etapa se presentan los resultados parciales de un estudio que tiene como objetivo determinar los impactos energéticos ambientales de las recientes reformas del Código Urbano y de Edificación de la ciudad en estudio, en función del FAV y estimar la reducción del acceso al recurso solar respecto a la situación de referencia (actual, sin cambios) y situación futura, en una ciudad con el carácter único de Mendoza como “ciudad-oasis”. Los resultados obtenidos hasta el momento indican que la reducción de la energía solar disponible por unidad de volumen construido sería sustancial: 46,32% para muros al norte y 60,38% techos.

ABSTRACT

Keywords:
Sustainable urban development
Urban morphology
Solar potential

The aim of this study is to generate knowledge that allows proposing actions leading to greater measures of energy and environmental sustainability of the regional urban systems, as a function of their morphologic features and available solar resources. On the first stage, the work has concentrated on the analysis of urban zones of high density, considering the results obtained by the use of relevant solar energy indicators and the implementation of statistical analysis. The indicators show relationships between urban morphology and access to solar resources in Mendoza's Metropolitan Area. They include: Effective Insolation Factor (FAE) and Volumetric Insolation Factor (FAV). The results from the statistical analysis have allowed evaluating the relative weight of each morphologic variable on each indicator, in different morphologic alternatives and their combinations, which is the substantial part of this research. On the second stage, the preliminary results of a study are presented. It is aimed at determining the adverse environmental and energy consequences of implementing Mendoza's Municipality recently modified Urban and Building Code, with a function of FAV and the solar access reduction estimation from the reference situation (present without changes) and the future situation, on mid and long terms evolution of Mendoza's unique character, internationally recognized as a valuable example of an "oasis city", which should be presented. So far, the results indicate that the reductions of the available solar energy per unit of built volume, are substantial: 46,32% for north facing walls and 60,38% for roofs.

1. Introducción

En regiones áridas templado-frías con un generoso recurso solar, tales como las provincias andinas del centro-oeste de Argentina, es posible obtener importantes economías de energía convencional implementando sistemas solares pasivos de calefacción de espacios en edificios urbanos. Dichas economías están en función de una serie de variables definidas por las características morfológicas del medio urbano, de las construcciones existentes en el mismo y del microclima local.

Aún cuando el impacto del clima en las condiciones térmicas de los edificios es claramente predecible, resulta más difícil estimar sus efectos sobre las condiciones ambientales de los espacios urbanos abiertos, en los que existe una mayor complejidad de relaciones entre las variables intervinientes. Esta situación plantea dificultades cuando se apunta a optimizar el uso de la energía en los edificios urbanos existentes, lo que involucra decisiones a nivel de planeamiento urbano y diseño de los edificios, considerando además la incorporación de tecnologías adecuadas que permitan reducciones

en el consumo de energía convencional (Owens, S. 1986).

Por otra parte, el máximo reciclaje posible del parque edilicio existente es esencial para minimizar los impactos ambientales a lo largo de las tres etapas fundamentales del ciclo de vida de las construcciones: desde la reducción de las extracciones de materiales de canteras, a través de la mínima demanda de energía durante su ciclo operativo y sus consecuentes emisiones, hasta la máxima reducción de los residuos sobre el ecosistema en su disposición final.

El objetivo principal del presente trabajo es profundizar el conocimiento sobre los indicadores energéticos que permitirán el establecimiento de bases técnicas para normativas futuras.

Para obtener economías en el consumo de energía, se propone maximizar el uso del recurso solar a partir de la optimización de la morfología urbano-edilicia para calefacción de espacios, y mejorar las características de conservación de energía de los edificios, en el marco de políticas que apunten a alcanzar la mayor sustitución posible de combustibles fósiles y el mínimo impacto ambiental (Jenks et al., 1996).

En la segunda etapa del trabajo se presentan los primeros resultados de un estudio en avance, que se está llevando a cabo con el fin de predecir, con razonable aproximación, las consecuencias energético-ambientales adversas de la implementación de reformas al Código Urbano y de Edificación preparado por la Municipalidad de la ciudad de Mendoza (Argentina) cuyo objetivo principal ha sido densificar el tejido urbano.

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), cuenta actualmente con una población cercana al millón de habitantes y ocupa una extensión aproximada de 114.000 ha. La región estudiada está localizada en el centro-oeste de Argentina (latitud: -32,88, longitud: -68,85, altitud: 827 m.s.n.m.); presenta un clima mesotermal árido con inviernos templado-fríos, veranos cálido-secos e intensa radiación solar durante todo el año (media anual: 18,06 MJ/m² día); otros datos climáticos significativos son: horas anuales en confort: 21,53 %, calefacción necesaria: 70,14 % y enfriamiento necesario: 8,33 %. Los valores de las variables climáticas del AMM proveen suficiente justificación para proponer el máximo aprovechamiento del recurso solar en áreas urbanas, en conjunción con estrategias no-tradicionales de conservación de energía en las construcciones de la ciudad. Esto permitirá un avance significativo en el camino hacia la futura sustentabilidad energética y ambiental de los medios urbanos regionales (Basso et al., 2003), (Fernández et al., 2001).

2. Metodología - Trabajo Previo

La metodología de esta investigación ha sido desarrollada para evaluar entornos de baja densidad edilicia (Arboit, et al. 2010). Las etapas metodológicas ya concluidas han sido:

I. Recopilación de la información catastral disponible y mapeo de la misma para toda el AMM. Zonificación de áreas de alta densidad a considerar en el estudio.

II. 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.

- *Variables urbanas*: Orientación de las Manzanas (Orient): Se refiere al ángulo formado por el lado más largo de la manzana y la directriz N-S. Se determinaron diversos tipos en función del ángulo, resultando 0 (0°) para la directriz norte, +6 (+ 90°) para el este y -6 (- 90°) para el oeste. No han sido consideradas en el presente

estudio otras orientaciones ya que la trama en cuadrícula de alta densidad comparte la misma disposición angular en el tejido urbano regular con un rango de 0° a 13°. Ancho de los Canales Viales (Ancho): 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).

- *Variables edilicias*: Morfología edilicia (MfEd): está representada por seis tipos que consideran situaciones: homogéneas, heterogéneas, compactas y abiertas (combinadas) presentes en la morfología actual. 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, 2010) (Tabla 1).

Tabla 1: Valores de las variables urbanas edilicias del conjunto de análisis. Fuente: Elaboración Propia.

Table 1: Values of urban and building variables of the sample set. Source: Own Elaboration.

Manzanas	VARIABLES EXPLICATIVAS					
	VARIABLES URBANAS		VARIABLES EDILICIA			
	Orientación de la Trama Urbana (°)	Ancho de canal vial (m)	Morfología Edilicia	Factor de Forma Total	FOS	FOT
1	5	15,5	2	8,04	0,91	2,05
2	5	15,5	2	6,57	0,86	1,80
3	5	17,2	4	6,60	0,79	2,55
4	13	30,0	1	5,41	0,82	3,96
5	13	30,0	3	5,20	0,88	5,26
6	13	30,0	6	4,65	0,85	3,82
7	13	20,0	3	3,89	0,78	2,61
8	13	20,0	5	4,60	0,76	3,24
9	13	20,0	2	5,69	0,83	2,45
10	13	24,0	4	4,47	0,74	3,77
11	13	20,0	4	4,17	0,78	2,00

III. Selección de una muestra representativa de manzanas urbanas para su análisis detallado. En la actualidad se cuenta con los datos relevados de 32 manzanas urbanas del AMM de traza en cuadrícula, con un nivel de información detallada. De un universo total de 81 manzanas de alta densidad, típicas del centro de la ciudad de Mendoza, en el presente trabajo se ha

considerado necesario ampliar el conjunto de análisis a 11 manzanas. La metodología partió de determina un conjunto preliminar a partir de la representatividad porcentual de los distintos tipos de cada variable y según la misma, se procede a completar un conjunto de 11 unidades. La distribución espacial se realiza mediante un método aleatorio (*random*) (Fig. 1).

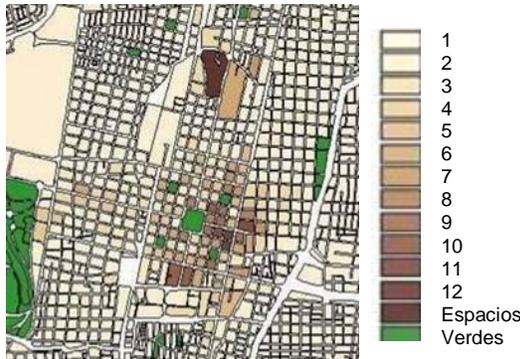


Figura 1: Densidad edificicia del AMM. Fuente: Basso et al., 2003.

Figure 1: Building density of MMA. Source: Basso et al., 2003.

IV. Relevamientos de las unidades de estudio permite conocer y medir “in situ”, qué elementos existen en el lugar y cuál es su situación edificia, detallando cada uno de los componentes para poder posteriormente elaborar modelos 3D de las tipologías predominantes dentro de la trama urbana. Cada conjunto edificio 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.

V. Determinación del acceso al sol de superficies verticales orientadas al norte, mediante el uso de un modelo gráfico-computacional (Mesa, 2000) que permite dibujar y luego calcular las áreas de las morfologías graficadas sobre perspectivas axonométricas “vistas desde el sol”. Con el modelo se simulan las 5 (cinco) horas centrales del día y para 6 (seis) días-tipo mensuales de invierno.

VI. A continuación, se desarrolla como parte de la investigación un conjunto de indicadores solares expresivos de las distintas relaciones entre la morfología urbana y el aprovechamiento solar de las unidades de análisis:

- *Factor de Asoleamiento Efectivo (FAE)* (1): Expresa la relación entre la sumatoria de la radiación incidente sobre áreas de fachadas orientadas al norte (+/-15°), parcial y totalmente

asoleadas, para cada hora del día-tipo mensual de cálculo, durante un ciclo anual de calefacción, y la sumatoria de la radiación incidente sobre las mismas áreas, libres de todo enmascaramiento, durante el mismo periodo, como porcentaje. El FAE proporciona una medida del enmascaramiento de superficies potencialmente colectoras para calefacción de espacios, en función de las variables de la morfología urbana consideradas. Su expresión matemática es:

$$FAEfn = \frac{\sum_{m:4}^{08} \sum_{d:1}^{30} \sum_{h:9.3}^{14.30} [Afn - (Aes) \cdot R_{m-d-h}]}{Nm \cdot Nd \cdot Nh \cdot (Afn \cdot R_{max})} \quad (1)$$

Donde:

- Afn* Área total potencialmente colectora en fachadas norte (m²),
- Aes* Área de enmascaramiento sólido: fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por construcciones edilicias próximas (m²),
- R(m-d-h)* Radiación horaria diaria en fachadas norte para cada mes de la estación de calefacción (Wh/m²),
- Nm* N° de meses a calefaccionar (n),
- Nd* N° de días mensuales (n),
- Nh* N° de horas diárias(n)

- *Factor de Asoleamiento Volumétrico (FAV)* (2): 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.

Este indicador es posiblemente el que mejor describe el potencial solar para calefacción de espacios, ya que está relacionado con el volumen a calefaccionar mediante sistemas solares pasivos, en particular, la Ganancia Directa, en MJ/m² año. Su expresión matemática es:

$$FAVfn = \frac{\sum_{m:4}^{08} \sum_{d:1}^{30} \sum_{h:9.3}^{14.30} [Afn - (Aes + (Ap \cdot (1-P))) \cdot R_{m-d-h}]}{\text{Volumen a calefaccionar}} \quad (2)$$

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 (m^2),
Aes Área de enmascaramiento permeable (construcciones): fachada potencialmente colectora afectada por las sombras proyectadas por el arbolado,
R(m-d-h) Radiación horaria diaria en fachadas norte para cada mes de la estación de calefacción (Wh/m^2),
m N° de meses a calefaccionar (n), d. N° de días mensuales (n), h: N° de horas diarias (n).

Los dos 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.

Se calcularon los valores de los dos indicadores para el total del conjunto muestral de 11 unidades considerando la sumatoria de energía incidente en muros norte y techos (Tabla 2) (Fig. 2).

Tabla 2: Valores de los Indicadores. Fuente: Elaboración Propia.

Table 2: Indicators values. Source: Own Elaboration

ESCENARIOS	VARIABLES RESPUESTA	
	FAV	FAE
1	41,69	7,28
2	56,96	6,86
3	34,5	9,24
4	33,4	43,82
5	28,47	53,47
6	29,97	38,02
7	33,29	33,68
8	21,23	28,87
9	43,01	28,59
10	32,61	30,12
11	40,89	16,71



Figura 2: Típica zona de alta densidad. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 2: Typical downtown high density zone. Source: Own Elaboration

3. Metodología – Trabajo Actual

Los pasos metodológicos de la investigación han sido:

- Determinación, en entornos actuales de alta densidad, de las posibles relaciones y el nivel de incidencia de las variables morfológicas (variables explicativas: Orientación de las Manzanas, Ancho de los Canales Viales, Morfología Edilicia, Factor de Forma, Factor de Ocupación del Suelo, Factor de Ocupación Total) sobre los dos indicadores energéticos (variables respuesta: FAE y FAV), a partir de un Análisis Estadístico de Regresión Lineal Múltiple (MERLM).

- Determinación para un caso de estudio de alta densidad edilicia de áreas asoleadas de muros al norte y techos, en la situación de referencia (actual, sin cambios) y modificada (máxima densificación posible permitida por la nueva normativa propuesta) (Bragagnini, S. 2009). Estudio comparativo de los valores obtenidos para la manzana seleccionada y las reducciones del potencial solar producto de la inserción de nuevos edificios permitidos por las modificaciones al código propuestas por el municipio.

4. Análisis de Resultados

4.1 Para la variable FAE

En la Figura 3 se presentan las correlaciones y las tendencias estimadas de cada una de las variables consideradas en el eje horizontal con la variable FAE.

I. La gráfica superior de la izquierda muestra una tendencia creciente entre las medias de la variable FAE a medida que aumenta la Orientación de las Manzanas (Orient). Esta tendencia se refleja en el coeficiente de correlación positivo, $r=0.7746$, mientras que los valores estimados de estas medias son $m_1=7.79$ para la media de FAE con 3° de Orient y $m_2=34.16$ para 13° . Las variabilidades de FAE en cada una de estas categorías son marcadamente diferentes, $s_1=1.27$ y $s_2=11.09$. Para analizar esta variable habría que considerar un mayor número de observaciones.

II. Los gráficos centrales e inferior de la izquierda muestran la escasa correlación y casi nula tendencia de las variables Morfología Edilicia (MfEd) y FOS con la variable FAE (correlaciones absolutas menores a 0.1 en ambos casos).

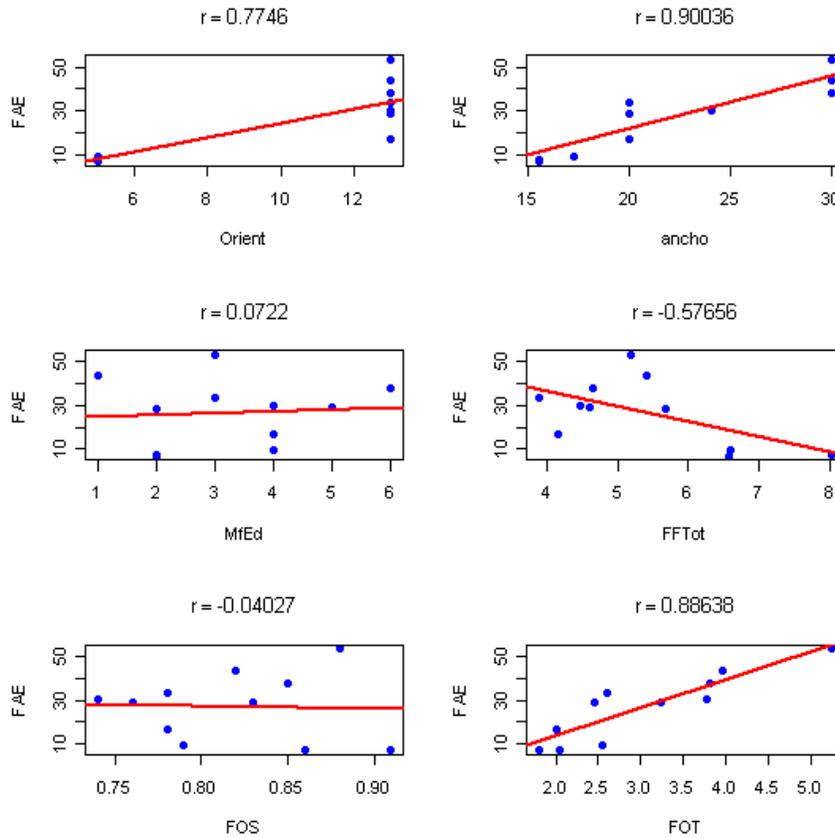


Figura 3: Rectas de regresión y coeficientes de correlación de la variable FAE con cada una de las variables explicativas. Fuente: Elaboración Propia

Figure 3: Regression lines and correlation coefficients for the variable FAE with each explanatory variable. Source: Own Elaboration

III. Tal como muestran los gráficos superior e inferior de la derecha las correlaciones entre ancho de los canales viales y FOT con FAE son positivas y considerables ($r=0.90036$ y $r=0.88638$). Esto implicaría una importante influencia de la explicación de FAE para estas variables.

IV. La gráfica del centro a la izquierda presenta una tendencia decreciente de FAE a medida que aumentan los valores de FFTot ($r=-0.57656$). Sin embargo, la relación entre ambas variables parecería ser no lineal.

Si consideramos un ajuste por mínimos cuadrados de la variable FAE en función de las variables anteriores, podemos observar un adecuado comportamiento de los residuos, tal como muestra la Figura 4. Sería de esperar en este caso que un aumento del tamaño de la muestra diera un buen ajuste para explicar la variable FAE mediante las restantes.

En el análisis de los resultados del FAE, el *Ancho de los Canales Viales* resulta claramente prioritario en el acceso al recurso solar efectivo

con valores más altos de disponibilidad solar a medida que aumenta el ancho de calles. Canales viales más anchos permitirán un menor enmascaramiento solar de fachadas potencialmente colectoras al norte sobre canales viales de dirección este-oeste.

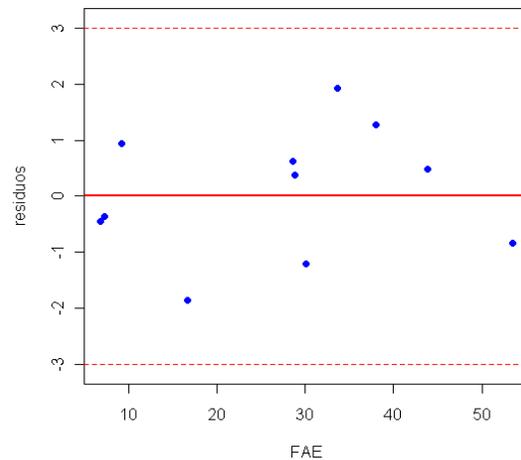


Figura 4: Gráfico de los residuos del modelo lineal ajustado versus la variable respuesta FAE. Fuente: Elaboración Propia

Figure 4: Plot of the Linear Model residuals against the response variable FAE. Source: Own Elaboration

FAE muestra además alta sensibilidad respecto a la variación del *FOT*, debido a que construcciones de varios niveles presentan fachadas más altas al norte aumentando el área de captación y disminuyendo la relación entre áreas potencialmente colectoras y áreas de enmascaramiento sólido.

4.2 Para la variable FAV

La Figura 5 muestra las correlaciones y tendencias estimadas entre la variable FAV y cada una de las variables que podrían considerarse como explicativas de su variabilidad.

En relación a la variable FAV podríamos considerar que todas las variables explicativas son prioritarias en el acceso al recurso solar, excepto el Ancho de los Canales Viales que tiene una menor correlación con la variable respuesta.

I. La gráfica superior de la izquierda muestra una mayor variabilidad de la variable FAV para la 5° de orientación que para la 13°. Para analizar esta diferencia de variabilidad habría que considerar un mayor número de observaciones. Las desviaciones típicas de FAV para estas categorías son, respectivamente, $s_1=11.47$ y $s_2=6.48$. Las medias, por otra parte, marcan una tendencia decreciente (como se observa a través del coeficiente de correlación negativo). Estas medias estimadas en cada una de estas categorías son: 5°, $m_1=44.38$, y $m_2=32.86$ para 13°.

II. En la gráfica superior de la derecha no se observa una tendencia en las medias de FAV para los valores del Ancho de los Canales Viales. El valor del coeficiente de correlación de Pearson en este caso es casi nulo ($r=0.00292$).

III. Las gráficas: central izquierda e inferior derecha, muestran comportamientos similares de las variables Morfología edilicia (Mf.Ed) y *FOT* en relación a FAV. En efecto, FAV presenta una tendencia negativa en relación a ambas marcadas por los coeficientes de correlación, $r=-0.54348$ y $r=-0.68145$ respectivamente.

IV. Por otra parte, las gráficas central derecha e inferior izquierda también muestran comportamientos similares de las variables *FFTot* y FOS en relación a FAV. En estos casos se observa una tendencia creciente, más marcada para *FFTot* que para FOS, lo cual podría indicar que la variable *FFTot* podría ser más importante para explicar la variación de FAV. Lo muestran

los coeficientes de correlación $r=0.49841$ para *FFTot* y $r=0.38011$ para FOS.

Si consideramos un ajuste por mínimos cuadrados de la variable FAV en función de las variables anteriores, podemos observar un adecuado comportamiento de los residuos, tal como muestra la Figura 6. Sería de esperar en este caso que un aumento del tamaño de la muestra diera un buen ajuste para explicar la variable FAV mediante las restantes. La gráfica siguiente muestra los residuos en función de los valores predichos por un ajuste por mínimos cuadrados.

En el análisis de los resultados el indicador *FOT*, relacionado a la altura edilicia, resulta claramente prioritario en el acceso al recurso solar, una mayor densidad de volumen produce una menor disponibilidad de energía por m³ construido y un mayor enmascaramiento de las superficies potencialmente colectoras.

El segundo indicador en importancia es *Morfología Edilicia*, con valores más altos para las situaciones compactas y homogéneas. En el caso de los conjuntos heterogéneos, la diversidad morfológica arroja situaciones desfavorables, si se comparan con conjuntos homogéneos y compactos que se acercan al diseño óptimo.

El Factor de Forma que expresa el grado de compacidad del volumen construido, tiene una importancia fundamental cuando se trata de minimizar los perímetros de pérdidas de las envolventes edilicias; cuanto menor sea el valor del FF, mayor será la eficiencia energética. En el caso del FAV, al haber una mayor disponibilidad de área expuesta en relación al volumen, se observa una tendencia creciente inversa que debe completarse con un estudio que relacione la carga térmica obtenida por el aprovechamiento de la radiación solar con las pérdidas energéticas. Lo mismo ocurre con el indicador FOS en relación a FAV; se observa una tendencia decreciente debido a la mayor disponibilidad de áreas colectoras en techos y muros.

4.3 Análisis del paisaje urbano actual y modificado

Se ha seleccionado un caso de estudio de la situación de máxima densidad edilicia dentro de la nueva zonificación propuesta por el municipio. Se ha elegido este caso de análisis por las características de las parcelas que lo componen y la disponibilidad de terreno baldío que posibilitan la construcción de mayores volúmenes y máximas alturas.

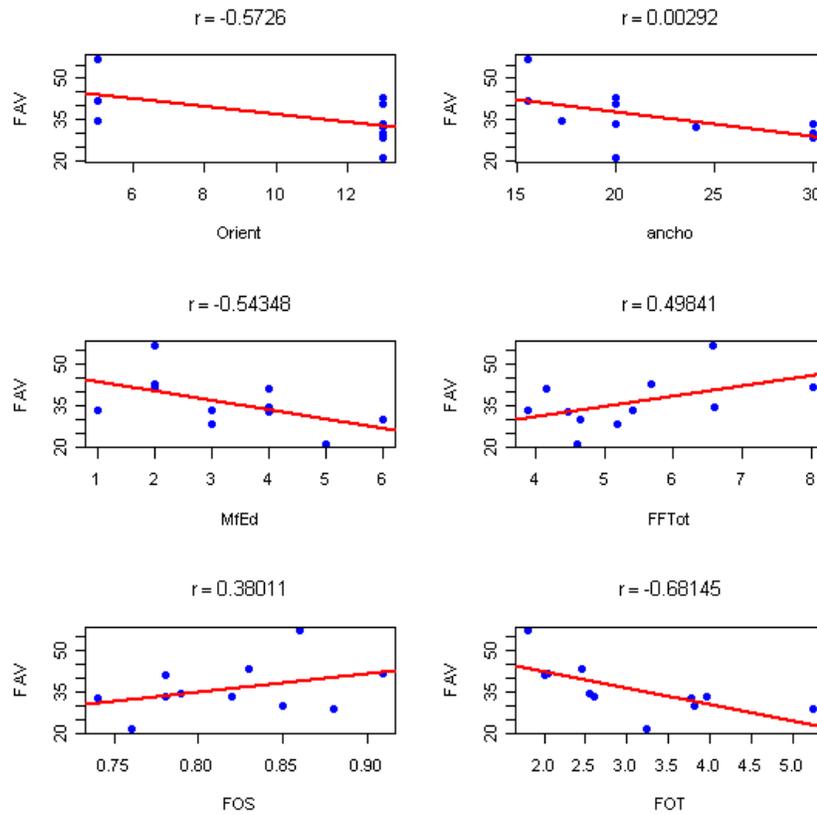


Figura 5: Rectas de regresión y coeficientes de correlación de la variable FAV con cada una de las variables explicativas. Fuente: Elaboración Propia

Figure 5: Regression lines and correlation coefficients for the variable FAV with each explanatory variable. Source: Own Elaboration

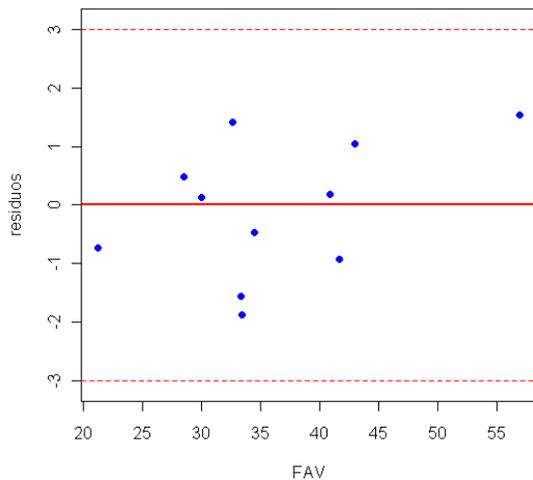


Figura 6: Gráfico de los residuos del modelo lineal ajustado versus la variable respuesta FAV. Fuente: Elaboración Propia

Figure 6: Plot of the Linear Model residuals against the response variable FAV. Source: Own Elaboration

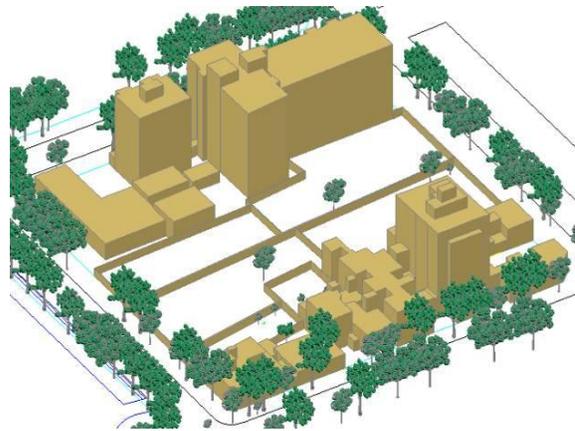


Figura 7: Zona Centro. Alta Densidad. Estado actual. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 7: Central Zone. High density. Present Status-Base Case (Present Situation). Source: Own Elaboration

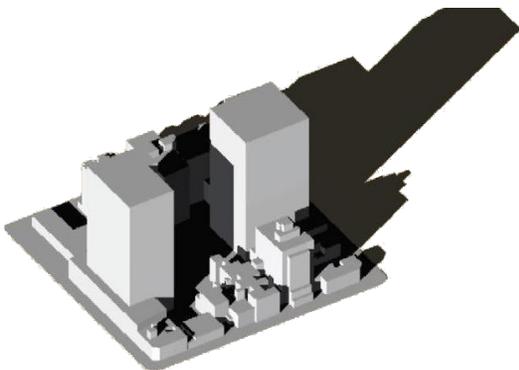


Figura 8: Reforma de máxima. Sombras proyectadas por los edificios. 21/06 - 9hs. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 8: Maximum reform. Shadows cast by buildings on June 21-9.00hs. Source: Own Elaboration.

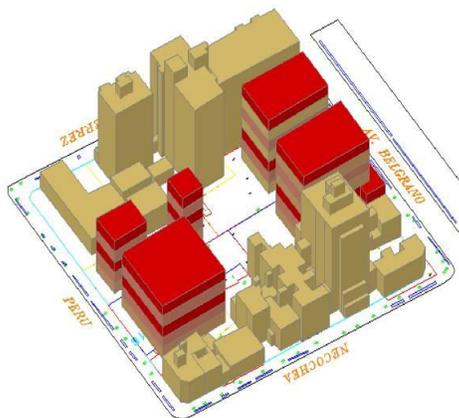


Figura 9: Zona Centro. Comercial C1. Alta Densidad. Reforma de mínima. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 9: Central Zone. Commercial C1. High density minimum reform. Source: Own Elaboration

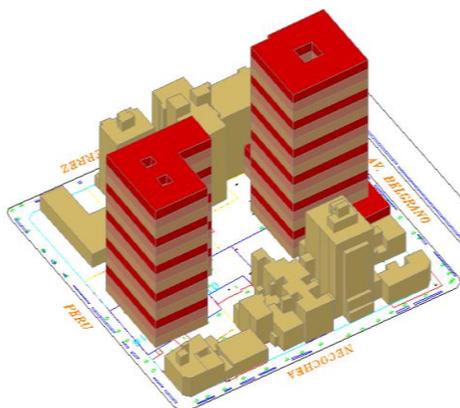


Figura 10: Zona Centro. Comercial C1. Alta Densidad. Reforma de máxima. Fuente: Elaboración Propia
Figure 10: Central Zone. Commercial C1. High density maximum reform. Source: Own Elaboration.

Conclusiones

El trabajo permitió analizar zonas de alta densidad edilicia a partir de los resultados de

indicadores relevantes y su análisis estadístico, determinando las relaciones entre la morfología urbana y acceso al recurso solar en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), y evaluar las correlaciones de cada variable morfológica sobre cada indicador, según distintas alternativas morfológicas. Las variables: FOT, Morfología Edilicia y Ancho de Calles resultan ser prioritarias en el acceso al recurso solar.

En cuanto al estudio para determinar los impactos energéticos ambientales de las recientes reformas del Código Urbano y de Edificación de la ciudad en estudio, en función del FAV: si se compara la situación de referencia (actual, sin cambios) y modificada (máxima densificación propuesta por el nuevo código de edificación), los valores están demostrando que la estrategia de densificación de la trama urbana no es de aplicación ilimitada. (Tabla 3; Figuras 11 y 12).

Tabla 3: Comparación de los resultados. Fuente: Elaboración Propia.

Table 3: Results contrast. Source: Own Elaboration

Referencia: SITUACIÓN ACTUAL		
FAV _{muros norte}	93,51	MJ/m ³
FAV _{techos}	90,98	MJ/m ³
Modificada: MÁXIMA DENSIFICACIÓN		
FAV _{muros norte}	50,2	MJ/m ³
FAV _{techos}	36,05	MJ/m ³

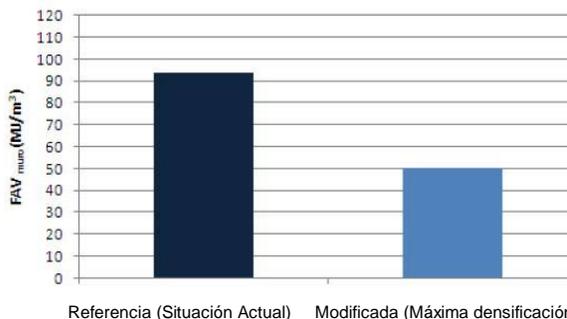


Figura 11: Valores de FAV- fachadas norte. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 11: FAV values- North facing walls. Source: Own Elaboration

Los resultados obtenidos indican una considerable reducción de energía solar disponible por unidad de volumen para alta densidad: 46,32% para muros al norte y 60,38% techos. En lo ambiental, el deterioro previsible de la calidad del paisaje urbano, podría ser duradero y difícilmente recuperable.

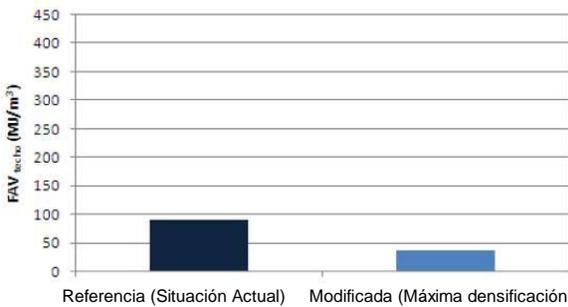


Figura 12: Valores de FAV- techos. Fuente: Elaboración Propia.

Figure 12: FAV values- roofs. Source: Own Elaboration.

Por último, cabe mencionar que los resultados del Modelo Estadístico constituyen un aporte metodológico y práctico de primera magnitud para el desarrollo de investigaciones futuras en la problemática del uso del recurso solar en medios urbanos de la región y por lo tanto, uno de los resultados más valiosos de esta investigación. En este sentido el estudio en avance de la “Factibilidad de la Implementación de Energías Renovables para el Desarrollo Sostenible del Sector Edificio Urbano” y las propuestas de normativas municipales para la implementación progresiva de dichas estrategias son fundamentales.

Recomendaciones

En cuanto a las recomendaciones formales en el planeamiento de la ciudad de Mendoza se adjunta un listado de los aspectos generales relevantes y las estrategias a tener en cuenta para confrontarlos:

- Provisión de energía solar al sector edilicio urbano ante el agotamiento cierto de los combustibles fósiles, el gas natural en particular, en plazos relativamente breves y el acceso al sol restringido por la edificación en altura, cuando no se ha tenido en cuenta su utilización energética.

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, debida a la combustión de energéticos fósiles en medios urbanos, lo que es condicionado por el punto precedente, ante la evidencia de que el cambio climático global ya se ha iniciado (Correa, E. 2008).

- Creación de un sistema de transporte urbano eficiente y “limpio” que sustituya al automóvil particular para movilizar a la población hacia y desde sus lugares de trabajo, evitando el despilfarro de energía y minimizando la contaminación.

- Preservación de los servicios ambientales y funciones de la arboleda urbana en el ambiente hostil que se generaría debido a la multiplicación de construcciones en altura en las que no se ha tenido en cuenta el espacio vital y el asoleamiento requerido por los árboles para su supervivencia.

- Preservación de la fisonomía ambiental de Mendoza, reconocida internacionalmente como valioso ejemplo de “ciudad oasis”.

- Mitigación del fenómeno de “isla de calor urbana” que se verá seguramente agravado por la presencia masiva de edificación en altura y una arboleda en progresivo deterioro y por el calentamiento global.

- Reducción de los flujos de energía y materia (insumos y deshechos) a través del sistema urbano, que son necesarios para el funcionamiento de altas densidades poblacionales y edilicias.

- Refuncionalización de las redes de servicios existentes para abastecer a cantidades de población muy superiores a las originalmente previstas.

Muchos otros podrían citarse, en las escalas macro, micro-urbanas y edilicia.

- Control de la expansión de la periferia urbana sobre las tierras del ecosistema pedemontano y del oasis productivo.

- Máximo uso de los vacíos urbanos existentes compatible con proporciones recomendadas de espacios abiertos vegetados (parques y plazas).

- Ambas estrategias propuestas precedentemente apuntan a lograr en el futuro un hecho urbano que se aproxime al modelo urbanístico conocido como “ciudad compacta”.

- Asegurar para la ciudad futura una presencia del arbolado público que defina la fisonomía de la misma y asegure los máximos beneficios ambientales y energéticos posibles en ambas estaciones extremas, es decir: reducción de la “isla de calor” en verano y máxima permeabilidad solar en invierno.

- Adecuada orientación de las tramas vehiculares en nuevos loteos, para maximizar las posibilidades de captación solar.

- Minimizar el sellamiento de suelos en los espacios públicos y establecer límites para el sellamiento en espacios abiertos privados.

Agradecimientos

A la Arq. Mirza Basso y al Ing. Jorge Fernández Llano por su gran contribución y asistencia en sus respectivas especialidades.

La mayor parte del trabajo presentado fue realizado dentro del proyecto de investigación "Factibilidad económica de la implementación de energías renovables para el desarrollo sostenible del sector edilicio y urbano en ciudades andinas con climas secos. Caso área Metropolitana de Mendoza", desarrollado en el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA), perteneciente al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Referencias bibliográficas

ARBOIT, M; MESA, A; DIBLASI, A; FERNANDEZ LLANO, J. y DE ROSA, C. Assessing the solar potential of low density urban environments in andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. 2nd. Part. *Renewable Energy* 35:1551-1558, 2010.

BASSO, M; FERNANDEZ, J y DE ROSA, C. Urban

morphology and solar potential of the built environment in Andean Cities of Hispanic Layout. Assessing proposals towards a more sustainable energy future. *En: PLEA*. Chile: 2003.

BRAGAGNINI, S. Una propuesta para orientar el desarrollo de la ciudad. Info-guía de la Arquitectura. Mendoza: Colegio de Arquitectos de Mendoza, 2009.

CORREA, E. Tesis Doctoral: Isla de Calor Urbana – El caso del Área Metropolitana de Mendoza. Universidad Nacional de Salta. Inédito. 2008.

FERNÁNDEZ, J; ESTEVES, A. y DE ROSA, C. Zonificación climática de la Provincia de Mendoza. XV Reunión de Trabajo de ASADES. San Fernando del Valle de Catamarca. 2001.

JENKS, M; BURTON, E; WILLIAMS, K. The Compact City. A Sustainable Urban Form?, 1a ed. UK, E&FN SPON. 1996.

MESA, N. Determinación de áreas de fachadas potencialmente colectoras en medios urbanos, a través de un modelo gráfico-computacional. *En: ISES MILLENNIUM Solar Forum*, Mexico, DF. Asoc.Nacional de Energía Solar, México, 113-117. 2000.

OWENS S. Energy planning and urban form. London Pion Ltd. 1986.

Recibido: 12|04|2012
Aceptado: 03|05|2012