

## **EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN LA EDILICIA URBANA DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA.**

**Arboit, Mariela<sup>1</sup>, Mesa, Alejandro<sup>2</sup>, Diblasi, Ángela<sup>3</sup> y de Rosa, Carlos<sup>4</sup>**

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:** La implementación de estrategias de calefacción solar de espacios, y conservación de energía posibilitaría reducir los elevados consumos invernales con aportes de energías renovables para el acondicionamiento ambiental del parque edilicio urbano, permitiendo un ahorro sustancial en el consumo energético. Dentro de las estrategias de calefacción solar pasiva, optimizando los sistemas de ganancia directa (GD), se pueden alcanzar importantes ahorros de energía. Optimizar las dimensiones y la tecnología utilizada en la envolvente son estrategias de conservación que permitirían minimizar las pérdidas por trasmisión de los componentes constructivos y por infiltración. El presente trabajo evalúa metodologías y obtiene resultados de la incidencia de dichas variables sobre el comportamiento térmico de entornos urbanos, considerando como conjunto de análisis 32 manzanas de baja densidad del Área Metropolitana de Mendoza (AMM). En el estudio de la incidencia de la tecnología constructiva, a la situación considerada como representativa de la media actual, se realizaron mejoras de diseño y tecnología, que fueron evaluadas con el método SLR (Solar Load Ratio) del LANL (Los Álamos National Laboratory). Posteriormente mediante el uso de un Modelo Estadístico de Regresión Lineal Múltiple se determinó que variables significativas tienen mayor incidencia sobre la eficiencia energética de los edificios urbanos.

**Palabras clave:** morfología urbana, evaluación estadística, potencial solar, medidas de conservación energética.

### **INTRODUCCION**

Los problemas del ambiente y la energía han sido debatidos con intensidad por los sectores científicos acerca de la importancia de alcanzar la sustentabilidad ambiental en medianos plazos (Meadows, 1992; Jenks, 1996; Blowers, 1993; Rees, 1998; Smith, 1998). La preocupación con respecto al futuro del medio ambiente y los recursos del mundo ha logrado un consenso global que está fuera de todo cuestionamiento.

El debate ha incluido una variedad de temas relacionados con población, consumo de energía, calentamiento global y contaminación. Mientras que el conjunto de problemas ambientales es importante y todos están interrelacionados, el urbanismo plantea aspectos complejos y difíciles de resolver, con un crecimiento descontrolado de las ciudades a expensas de los ecosistemas que las sostienen y un alta demanda de recursos de todo tipo.

Aún cuando los problemas son ampliamente conocidos, la complejidad de las ciudades y la búsqueda de soluciones efectivas es una tarea ardua. El uso de la energía en el ambiente construido es, sin lugar a dudas, uno de los aspectos esenciales a ser encarados por planificadores y diseñadores en el camino hacia este objetivo ambicioso y elusivo.

Mucho se ha discutido acerca de la interrelación entre consumo de energía y morfología urbana (Owens, 1998; Givoni, 1998; Breheny, 1996; Mascaró, 1996). El consumo de la energía en la edificación es principalmente dependiente de las condiciones de la escala "micro" de la configuración de la morfología urbana y edilicia.

Mientras que los avances en tecnologías edilicias energéticamente eficientes ofrecen una contribución significativa y bien conocida en este sentido, la morfología urbana presenta una problemática de alta complejidad. Las distribuciones espaciales, deben ser claramente definidas para poder minimizar el malgasto de energía y maximizar el uso potencial de energías renovables, fundamentalmente la radiación solar en edificios urbanos, considerando calefacción de espacios, calentamiento de agua para uso doméstico y eventualmente generación fotovoltaica "in situ" (Basso, 2003; Fernández, 2001).

En los entornos urbanos de baja densidad los sistemas de calefacción de espacios están significativamente limitados por la morfología edilicia, los sistemas de calentamiento de agua, en cambio, satisfacen holgadamente la demanda (Arboit, 2005).

A pesar de que la región estudiada cuenta con un generoso recurso solar, el problema de la sustentabilidad energético-ambiental de los medios urbanos se agrava progresivamente. En el análisis de la matriz de consumo el sector edilicio residencial provincial representa el 27.7% de la demanda energética total (59.8 % Gas Natural, 11.2% Gas Envasado, 15.5% Electricidad, 10.7% Leña y 2.8% otros) con una eficiencia (Consumo Neto/Consumo Útil) del 55%. Del 100% de energía utilizada en el sector, el 41,1% es utilizada para calefacción y el 32,6% para calentamiento de agua. Si consideramos enfriamiento y refrigeración el consumo es del 0,5% (Ministerio de Ambiente y Obras Públicas, 1998).

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

<sup>2</sup> Investigador Asistente CONICET

<sup>3</sup> Profesional Principal CONICET

<sup>4</sup> Investigador Principal CONICET

Evaluar la cantidad e intensidad de radiación solar disponible, la utilización potencial de la misma para calefaccionar espacios interiores, combinadas con la optimización de la envolvente de los edificios, es una meta alcanzable que puede brindar importantes ahorros referidos al consumo de energía de origen fósil. Con lo cual su consideración dentro de las planificaciones urbanas es de fundamental importancia, para que en épocas futuras la utilización del recurso, no se vea limitada por la estructura urbana ya existente.

#### *Situación de Referencia*

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM), se encuentra situada en el piedemonte andino, a 750 m.s.n.m. de altitud media, dentro del denominado Oasis Norte. La zona se caracteriza por presentar inviernos templado - fríos, con valores entre 1300 y 1500 °C grados día anuales de calefacción, contando con un generoso recurso solar (16.5 a 20 MJ/m<sup>2</sup> día).

El trazado urbano del AMM se ha desarrollado históricamente a partir de un proceso de conurbación de cinco villas cabeceras de municipios alrededor del más importante asentamiento de Capital. El patrón formal dominante de los seis núcleos urbanos ha sido la cuadrícula ortogonal y con escasas desviaciones angulares respecto al Norte.

A lo largo del tiempo su desarrollo ha sido heterogéneo, generándose áreas más densas, y otras caracterizadas por crecimientos más dispersos, ajustándose la trama a la topografía, pendientes, cauces de irrigación, etc.; quedando modificada la estructura urbana original, extendiéndose hacia la periferia con marcadas variaciones de forma y orientación. En el sector central del AMM, se presentan las más altas densidades, descendiendo gradualmente hacia la periferia (figura 1).



Figura 1: Mapa de conformación política e imágenes del AMM.

## **METODOLOGÍA**

La labor realizada se desglosa en una sucesión de tareas, en las que se utilizan metodología específica para cada una de las mismas. Podrían agruparse en dos etapas principales; las correspondientes a la primera etapa son:

1. Recopilación de la información catastral disponible sobre el Área Metropolitana de Mendoza, mapeo de la misma para toda el AMM, reconocimiento de zonas urbanas morfológicamente homogéneas e identificación de variables morfológicas.
2. Selección de una muestra representativa de las unidades de análisis (manzanas urbanas).
3. Determinación de un conjunto de variables urbanas y edilicias y de los valores de cada una de las mismas para las unidades de la muestra.
4. Relevamiento in-situ de las unidades de análisis, conformación de archivos 3D en programación AutoCAD de las volumetrías de las manzanas conteniendo la información colectada y procesada (Arboit, et al. 2005).

En la segunda etapa se suceden las siguientes tareas:

1. Determinación del indicador descriptivo del ahorro potencial de energía de la morfología urbano-edilicia de las unidades de análisis.

2. Determinación y cálculo de variables de la edificación urbana: volumen construido, perímetro de fundaciones, áreas de fachadas, techos, aberturas y áreas colectoras reales, a partir de la información relevada. (Arboit, et al. 2007).
3. Evaluación Energética de entornos de baja densidad a través del cálculo analítico de: Coeficiente Volumétrico de Perdidas (G), Carga Térmica de Calefacción requerida (Q), Relación Carga Colector (RCC) y la Fracción de Ahorro Solar (FAS) utilizando el método Relación Carga-Colector (LCR) de Los Alamos National Laboratory (Balcomb, 1983). Para realizar balances térmicos en régimen estacionario en la condición actual se consideran rangos de valores máximos y mínimos en las variables consideradas: conductancias de componentes y niveles de infiltración; se agrupan luego todos los máximos y todos los mínimos, definiendo los rangos para cada variable. Se considera además una condición teórica mejorada por incremento de conservación
4. Determinación del aporte solar obtenible convirtiendo las superficies verticales al Norte en colectoras de ganancia directa.
5. Evaluación Convencional.
6. Evaluación Estadística.

*1. Determinación del indicador*

**Ahorro Potencial de Energía (APE) (Wh/°C):** Expresa la relación entre la cantidad de energía obtenible por incrementos en las áreas de GD y medidas adicionales de conservación, respecto a la energía total necesaria para lograr las mismas condiciones de confort en la situación actual sin cambios, incluyendo el aporte solar existente (1).

$$APE = \frac{Q_{\text{cons. renov}} + Q_{\text{solar renov}}}{Q_{\text{tot. exist}} - Q_{\text{solar exist}}} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

Q tot. exist: calor necesario para satisfacer la carga térmica anual actual de calefacción (Wh/°C).

Q solar. exist: contribución solar existente (Wh/°C).

Q cons. renov: calor necesario para satisfacer la carga térmica anual de calefacción de la situación teórica a alcanzar (situación optimizada) (Wh/°C).

Q solar. renov: contribución solar teórica a alcanzar (situación optimizada) (Wh/°C).

*2. Determinación y cálculo de variables dimensionales de la edificación urbana.*

Se tomó como base para el diagnóstico de la situación actual una muestra de 32 manzanas de baja densidad del AMM. Las unidades de análisis (manzanas urbanas) integran un conjunto representativo de posibilidades de combinación de variables (tabla 1). La selección del conjunto muestral se obtuvo a partir del análisis de datos cartográficos, mapas, aerofotogrametrías e importante relevamiento de campo (figura 2).



Escenario 8



Escenario 13



Escenario 27

Figura 2: Imágenes de la selección de la muestra. Fuente de imágenes. Google Earth, sept. 2007.

Apoyados en el análisis de estos mapas y aéreo-fotogrametrías disponibles se relevó información in situ por lote. Durante el trabajo de campo se tomaron imágenes fotográficas de cada una de las morfologías construidas donde fue necesario recopilar información sobre un total de 1200 edificios construidos. Se obtuvo un archivo digital numerado por lote, con detalles de fachadas, aberturas, arboleda pública de cada lote (Córica, et al. 2004). (Fig. 3 y 4).

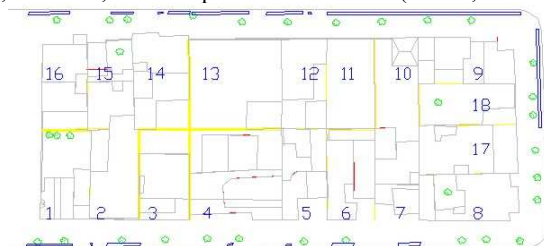


Figura 3: Relevamiento in-situ



Figura 4: Relevamiento fotográfico



Una vez definidos los valores de referencia de cada vivienda en dos dimensiones, se conforman regiones con los bordes que albergan las áreas seleccionadas y modelos 3D. Mediante una rutina de cálculo (Mesa, et al. 2000), se obtienen las superficies en techos, fachadas y ventanas. A partir de éstos valores se calcularon las áreas colectoras reales para ganancia directa computando la diferencia entre las superficies (Fig. 5).

Se considera área colectoras AC (m<sup>2</sup>) potencialmente disponible para la calefacción de espacios, el área neta de vidrio de las fachadas orientadas al N (+/- 15°) efectivamente asoleadas. (Fig. 5) Se descuentan las superficies vidriadas que reciben sombras arrojadas por elementos sólidos (construcciones vecinas) y permeables (arbolado) (Cantón, et al. 2003), y se computan además los porcentajes de reducción por obstrucciones de carpinterías, rejas y mochetas (25%).



Figura 5: Imagen del cálculo de las áreas de aberturas y fachadas de un área analizada

El método propuesto ha sido validado mediante la comparación de resultados de mediciones desarrolladas sobre las manzanas seleccionadas por su condición de representatividad del barrio, sobre imágenes fotográficas obtenidas, y la reglamentación vigente en el Código de Edificación Municipal. (Arboit, et al. 2005)

| ESCENARIO | VARIABLES EXPLICATIVAS    |                         |                           |                         |                                  |                                |                |
|-----------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------|
|           | INDICADORES DIMENSIONALES |                         |                           |                         |                                  |                                |                |
|           | TECHOS                    | MUROS                   | PUERTAS                   | VENTANAS                |                                  | VOLUMEN                        | PERIMETRO      |
| Nº        | Techos (m <sup>2</sup> )  | Muros (m <sup>2</sup> ) | Puertas (m <sup>2</sup> ) | Total (m <sup>2</sup> ) | Área Colectora (m <sup>2</sup> ) | Calefactonar (m <sup>3</sup> ) | Per. Exp. (ml) |
| 1         | 5448                      | 3596                    | 651                       | 871                     | 176                              | 18279                          | 1390           |
| 2         | 2393                      | 2855                    | 362                       | 484                     | 102                              | 8155                           | 741            |
| 3         | 3904                      | 4352                    | 601                       | 802                     | 174                              | 13636                          | 1086           |
| 4         | 2489                      | 2724                    | 395                       | 527                     | 104                              | 8585                           | 794            |
| 5         | 3039                      | 2989                    | 501                       | 669                     | 91                               | 10289                          | 828            |
| 6         | 2854                      | 2833                    | 328                       | 430                     | 79                               | 8012                           | 931            |
| 7         | 2215                      | 1884                    | 248                       | 325                     | 59                               | 6253                           | 623            |
| 8         | 7051                      | 7438                    | 646                       | 1385                    | 247                              | 15817                          | 2139           |
| 9         | 5748                      | 6692                    | 600                       | 1287                    | 216                              | 19151                          | 1678           |
| 10        | 1757                      | 1738                    | 321                       | 343                     | 51                               | 5451                           | 671            |
| 11        | 2156                      | 1571                    | 290                       | 309                     | 51                               | 4181                           | 541            |
| 12        | 1769                      | 1400                    | 235                       | 250                     | 40                               | 5451                           | 581            |
| 13        | 3382                      | 2121                    | 470                       | 487                     | 99                               | 8820                           | 1073           |
| 14        | 2701                      | 1776                    | 390                       | 404                     | 77                               | 7064                           | 942            |
| 15        | 3222                      | 2009                    | 461                       | 477                     | 79                               | 8241                           | 1104           |
| 16        | 2955                      | 1664                    | 377                       | 391                     | 75                               | 7741                           | 915            |
| 17        | 3213                      | 3351                    | 451                       | 744                     | 153                              | 12345                          | 1055           |
| 18        | 2774                      | 2833                    | 387                       | 638                     | 132                              | 10448                          | 934            |
| 19        | 6717                      | 4853                    | 720                       | 1256                    | 119                              | 17015                          | 1912           |
| 20        | 7180                      | 4104                    | 581                       | 1013                    | 148                              | 19473                          | 1986           |
| 21        | 7671                      | 5028                    | 727                       | 1268                    | 173                              | 20206                          | 2258           |
| 22        | 4250                      | 2725                    | 567                       | 734                     | 129                              | 11373                          | 1283           |
| 23        | 4076                      | 2877                    | 567                       | 734                     | 88                               | 10918                          | 1268           |
| 24        | 4092                      | 2988                    | 578                       | 748                     | 82                               | 10266                          | 1336           |
| 25        | 4217                      | 2656                    | 430                       | 551                     | 130                              | 10664                          | 1216           |
| 26        | 3606                      | 2097                    | 353                       | 452                     | 102                              | 9072                           | 945            |
| 27        | 4025                      | 2471                    | 401                       | 514                     | 108                              | 10390                          | 1195           |
| 28        | 2948                      | 1994                    | 309                       | 395                     | 74                               | 7476                           | 961            |
| 29        | 2054                      | 2372                    | 216                       | 676                     | 71                               | 8381                           | 853            |
| 30        | 2052                      | 2458                    | 218                       | 682                     | 89                               | 8725                           | 857            |
| 31        | 2088                      | 2360                    | 211                       | 659                     | 85                               | 8661                           | 819            |
| 32        | 2113                      | 2378                    | 220                       | 689                     | 62                               | 9208                           | 867            |

Tabla 1: Valores de las áreas componentes del conjunto muestral.

### 3. Evaluación Energética de entornos de baja densidad

Dos alternativas fueron calculadas:

1. La situación actual sin cambios, considerando como colectores solares las ventanas existentes en fachadas al norte, con las tecnologías constructivas convencionales. Dentro de esta situación, se elaboraron dos escenarios posibles que presentan un rango entre las máximas y mínimas pérdidas.

2. La situación teórica a alcanzar, (optimizada) considera la implementación de reformas y mejoras posibles en diseño y tecnología, que incluyen mayor superficie de ventanas en fachadas norte y aislación adicional en componentes opacos expuestos (tabla 2). Para el dimensionado de las áreas colectoras se consideró el 85% del total de las superficies asoleadas orientadas al norte. Por razones constructivas es imposible utilizar el total de fachadas asoleadas para captar energía, se descontó el 15% para situaciones de borde constituidas por encadenados, columnas y vigas perimetrales de las áreas de muros norte y detalles constructivos (estructura edilicia).

|                      | SITUACIÓN ACTUAL                         |                       |   |                       | SITUACIÓN TEÓRICA (optimizada)                                    |                       |
|----------------------|--|-----------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
|                      | Máximas pérdidas                         |                       | Mínimas pérdidas                                  |                       | Material  | K (W/m <sup>2</sup> ) |
|                      | Material                                 | K (W/m <sup>2</sup> ) | Material  | K (W/m <sup>2</sup> ) |   |                       |
| <b>Techos</b>        | Losa H° A° 8cm.<br>Pol. expandido 5cm.   | 0.66                  | Machimbre e=1.8 cm.<br>Poliétileno expandido 5cm. | 0.62                  | Machimbre e=1.8 cm.<br>Pol. expandido 7.5cm.                      | 0.40                  |
| <b>Muros Ext.</b>    | Ladrillón (0.165)<br>Revoque ambas caras | 2.32                  | Ladrillo (0.265)<br>Revoque grueso                | 1.93                  | Ladrillo (0.265)<br>Poliétileno exp. 7.5cm<br>Revoque ambas caras | 0.41                  |
| <b>Fundaciones</b>   | H° Ciclópeo                              | 0.71                  | H° Ciclópeo                                       | 0.71                  | H° Ciclópeo   | 0.71                  |
| <b>Piso Expuesto</b> | Losa H° A° 8cm.                          | 3.06                  | Losa H° A° 8cm.                                   | 3.06                  | Losa H° A° 8cm.<br>Poliétileno expandido 5cm.                     | 0.63                  |
| <b>Ventanas</b>      | Metálica 1 vidrio                        | 5.2                   | Madera 1 vidrio y aisl. noct.                     | 4.5                   | Madera 2 vidrio y aisl. noct.                                     | 2.6                   |
| <b>Puertas</b>       | Placa de madera                          | 2.29                  | Placa de madera                                   | 2.29                  | Placa de madera   | 2.29                  |
| <b>Renovac.(RAH)</b> |  | 3.5                   |   | 2.5                   |   | 1                     |

Tabla 2: Valores de conductancias de componentes en los edificios existentes y mejorados.

#### 4. Modelo Estadístico de Regresión Lineal Múltiple

Con el objeto de generalizar los resultados a partir de un número de casos limitados, se utilizó un Modelo Estadístico de Regresión Lineal Múltiple (MERLM) que permitió correlacionar los valores de eficiencia energética del parque edilicio urbano actual, resultantes de las simulaciones obtenidas mediante un modelo gráfico-computacional, con el conjunto de variables dimensionales edilicias. Dichas correlaciones permitieron identificar las alternativas morfológicas más eficientes, presentes en entornos urbanos de baja densidad del AMM para las situaciones analizadas (Arboit, 2005). El objetivo es determinar la distribución de probabilidad condicionada de APE (Ahorro Potencial de Energía) dadas las variables explicativas, para estimar su valor para la totalidad de entornos urbanos evaluados en la muestra. El análisis estadístico permite inferir el ahorro energético potencial (variable respuesta), a partir de la consideración simultánea de las variables de la morfología y tecnología de la envolvente edilicia (variables explicativas), mediante el análisis de regresión múltiple (Faraday et al., 2005; Venables et al., 2002). El análisis determina la influencia de cada variable en la disponibilidad energética solar. En el primer grupo la morfología urbana está caracterizada por las variables: techos, muros, puertas, total de ventanas, ventanas al norte, volumen a calefaccionar y perímetro (tabla 2).

## RESULTADOS

### Resultados de la Evaluación Energética

Cada caso seleccionado fue evaluado a través del Método Relación Carga-Colector y los resultados obtenidos permitieron cuantificar su eficiencia energética (tabla 3). Puede establecerse luego de analizar los resultados que la estrategia de aprovechamiento de la energía solar para calefacción de espacios a través de sistemas solares pasivos, ganancia directa y estrategias conservativas, podrán aportar importantes ahorros de energía.

Resultaría importante poder aprovechar el total de la energía disponible en fachadas norte, especialmente cuando se trata de grandes volúmenes, de una profundidad mucho mayor de 6m que quedaría, sin otra posibilidad que recurrir a la calefacción convencional. Para “superar” tentativamente esta limitación se propone implementar un sistema activo complementario de calentamiento de aire que, mediante un colector vertical, conductos horizontales aislados y un pequeño ventilador establezca un “loop” convectivo forzado con los espacios principales de la cara opuesta del edificio. La validez de esta suposición y su viabilidad tecnológica y económica, debe ser puesta a prueba por estudios futuros (Fernández, 2003). El estudio el universo completo de la muestra permitió la determinación posterior de la variable respuesta APE.

|   | SITUACIÓN ACTUAL |                |                  | SITUACIÓN TEÓRICA (optimizada) |
|---|------------------|----------------|------------------|--------------------------------|
|   | Pérdidas Máximas | Pérdidas Media | Pérdidas Mínimas |                                |
| Coef. Volumétrico de Pérdidas (G) W °C/m <sup>3</sup>   | 2.15             | 1.93           | 1.71             | 0.77                           |
| Total del volumen construido m <sup>3</sup>   | 21504.72         | 21504.72       | 21504.72         | 21504.72                       |
| Volumen a calefaccionar m <sup>3</sup>  | 16128.54         | 16128.54       | 16128.54         | 16128.54                       |
| Coefficiente Global de Pérdidas (CGP) w/°C  | 39293.60         | 35280.31       | 31267.01         | 14106.58                       |
| Coefficiente Neto de Pérdidas (CNP) w/°C  | 36356.82         | 32541.19       | 28725.57         | 12638.19                       |
| Área Colectora (AC) m <sup>2</sup>  | 176.13           | 176.13         | 176.13           | 486.013                        |
| Relación carga colector (RCC) w/°K m <sup>2</sup>   | 206.42           | 184.75         | 163.09           | 26.00                          |
| Fracción de Ahorro Solar Anual(FAS)   | 0                | 0              | 0                | 43.79                          |
| Calor Auxiliar (Q Aux.) Mw-h/año  | 1610             | 1441           | 1272             | 314                            |
| Sistema de calefacción solar: A. Situación Actual: GD, simple vidrio, aislación nocturna. B. Situación Teórica: GD, doble vidrio, aislación nocturna. |                  |                |                  |                                |

Tabla 3: Resultados calculados para el Escenario N° 1 de la muestra.

En la figura 6 y tabla 4 se presentan los valores del APE calculados para las 32 unidades de análisis seleccionadas, determinando las configuraciones existentes que permiten obtener condiciones de máxima, mínima y media de ahorros potenciales de energía mediante estrategias de ganancia directa y mayor conservación (figura 7 y 8).

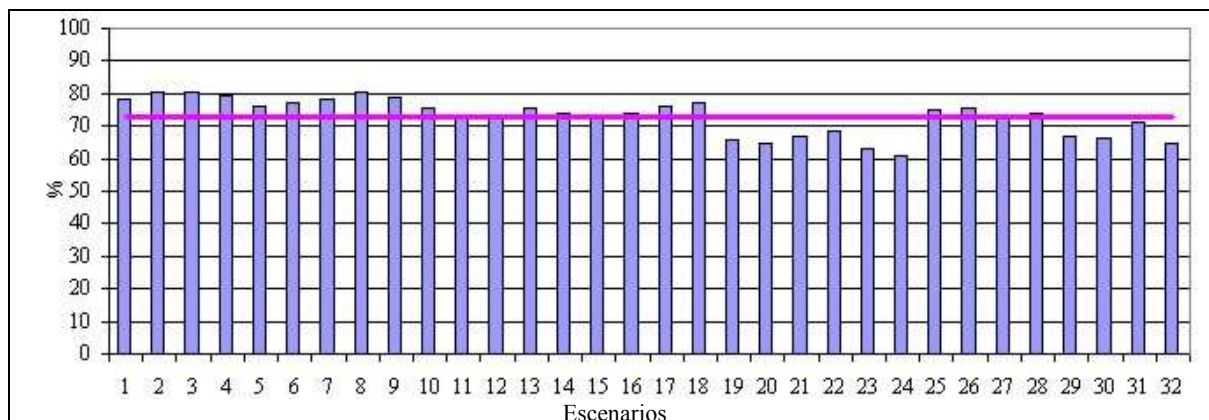


Figura 6: Valores calculados de APE para los 32 escenarios analizados.

| ESC. | APE | SITUACION ACTUAL MAXIMAS PERDIDAS |   |       |     |     |      | SITUACION ACTUAL MINIMAS PERDIDAS |        |       |     |     |      | SITUACION TEÓRICA OPTIMIZADA |        |       |     |     |     |
|------|-----|-----------------------------------|---|-------|-----|-----|------|-----------------------------------|--------|-------|-----|-----|------|------------------------------|--------|-------|-----|-----|-----|
|      |     | Nº                                | % | CGP   | G   | CNP | RCC  | FAS                               | E: AUX | CGP   | G   | CNP | RCC  | FAS                          | E: AUX | CGP   | G   | CNP | RCC |
| 3    | 80% | 34172                             | 3 | 31565 | 182 | 0   | 1398 | 27431                             | 2      | 25175 | 145 | 1   | 1099 | 11823                        | 1      | 10519 | 23  | 48  | 244 |
| 15   | 73% | 20277                             | 2 | 18628 | 235 | 0   | 825  | 16421                             | 2      | 14994 | 189 | 0   | 664  | 7777                         | 1      | 6953  | 35  | 35  | 200 |
| 24   | 60% | 27218                             | 3 | 23991 | 291 | 0   | 1063 | 22115                             | 2      | 19322 | 235 | 0   | 856  | 10363                        | 1      | 8749  | 106 | 3   | 377 |

Referencias | Valores máximos de APE | Valores medios de APE | Valores mínimos de APE

Tabla 4. Cuadro comparativo de los Escenarios analizados con valores máximos, mínimos y medios calculados



Figura 7: Escenario 3 (APE=80%) Google Earth, sept. 2007      Figura 8: Escenario 24 (APE=61%) Google Earth, sept. 2007

Luego de analizar los resultados, la estrategia de aprovechamiento de la energía solar para calefacción de espacios a través de sistemas solares pasivos de Ganancia Directa, complementados con estrategias conservativas mejora sustancialmente el comportamiento energético, alcanzando valores de Ahorro Energético del 80 % (figura 6).

Con respecto al comportamiento térmico, las áreas de ganancia directa están enmascaradas en aproximadamente 44 % debido a elementos sólidos (construcciones vecinas) y 8% permeables (arbolado) además de las obstrucciones de carpinterías, rejas y mochetas que alcanzan al 25%.

#### Resultados del Modelo Estadístico de Regresión Lineal Múltiple.

La tabla 5 presenta los valores de los coeficientes de regresión, la ordenada del punto de intersección con la variable respuesta APE a partir de la media y los “p-level” para cada variable explicativa

Los “p-level” indican la significación (peso) de cada variable para explicar APE, cuanto menor es el valor del “p-level”, tanto más significativa es la incidencia de la variable. Se utilizó el valor umbral de 0.05 para descartar variables no significativas con un nivel de confianza del 95% lo que equivale a un nivel de significación igual a 0.05. El valor “p-level” está asociado a un test estadístico. El valor “p-level” considera además la variabilidad de cada coeficiente de regresión y la desviación típica del coeficiente, “Error estándar” (Arboit, 2006).

Se analizó el indicador PAE (Potencial de Ahorro Energético) como variable respuesta de las variables explicativas: techos, muros, puertas, total de ventanas, ventanas al norte, volumen a calefaccionar y perímetro. De la selección de variables significativas surge el modelo:

| <b>Coefficientes:</b> | <b>Estimado</b> | <b>Error Estándar</b> | <b>t valor</b> | <b>p-valor</b> |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|----------------|----------------|
| <b>(Intercepción)</b> | 1.25133         | 0.988000              | 74.229         | 2e-16 ***      |
| MUROS                 | 0.001903        | 0.001146              | 1.661          | 0.10836        |
| TOTAL DE VENTANAS     | -0.014901       | 0.004918              | -3.030         | 0.00534 **     |
| AREAS COLECTORAS      | 0.037199        | 0.004443              | 8.373          | 5.53e-09 ***   |
| PERIMETRO             | -0.003750       | 0.001724              | -2.176         | 0.03851 *      |

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.955 on 27 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8876, Adjusted R-squared: 0.8709

F-statistic: 53.3 on 4 and 27 DF, p-value: 1.991e-12

Tabla 5: Valores resultantes de la aplicación del Modelo Estadístico.

De los resultados obtenidos a través del análisis de los residuos, se verifican los supuestos del modelo, (Box et al., P 1964) quedando demostrada la correlación existente entre los valores del indicador APE con los registros de las variables dimensionales identificadas con el mayor peso: área colectora, total de ventanas, perímetro. La variable AC (área colectora) es directamente proporcional a APE y se relacionan con la ganancia directa de energía solar, mientras que el comportamiento de área total de ventanas y perímetro es inversamente proporcional ya que están relacionadas con las pérdidas térmicas por áreas de vidrios y perímetros expuestos (tabla 6). La evaluación estadística permite identificar las estrategias más significativas para la optimización del ahorro energético de la edificación urbana del AMM.

| ESCENARIO | VENTANAS                                     |   | PERIMETRO                               | PAE   |
|-----------|--|---|---|-------|
|           | AC/Vol.<br>(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) | Total/Vol.<br>(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) | Per. Exp. /Vol.<br>(ml/m <sup>3</sup> ) |       |
| Nº        |  |   |   |       |
| 3         | 0.16   | 0.059   | 0.08                                    | 80.47 |
| 24        | 0.06   | 0.073   | 0.13                                    | 60.67 |

Tabla 6: Valores de las variables área colectora, área total de ventanas y perímetro.

## CONCLUSIONES

La metodología empleada permitió avanzar en el diagnóstico del comportamiento energético de los entornos de baja densidad del AMM, identificando las variables de mayor incidencia.

Al analizar la influencia de cada una de las variables dimensionales de la edificación en el comportamiento energético de las manzanas urbanas se concluye que un solo indicador separadamente no explica el comportamiento energético de las manzanas urbanas, pudiendo mediante la utilización de un Modelo Estadístico de Regresión Lineal Múltiple, identificar las variables de mayor incidencia y descartar del análisis aquellas cuya incidencia es de menor significación.

El análisis de los resultados obtenidos permite establecer el potencial de mejoramiento energético disponible en la edificación urbana. La recuperación de dicho potencial mediante reciclajes seguramente será imperativa a medida que el avance del siglo haga más crítica la sustentabilidad energética y ambiental de nuestras ciudades.

Se espera, avanzar en el conocimiento de la relación costo-beneficio de la adopción de dichas estrategias para la optimización del aprovechamiento solar en áreas urbanas consolidadas y generar bases técnicas para determinar lineamientos de diseño urbano y edificación para la elaboración e implementación de una normativa que regule el aprovechamiento pleno del recurso solar en medios urbanos.

## REFERENCIAS

- Arboit, M.; Mesa, A.; Basso, M.; Fernández Llano, J. y de Rosa C. (2005). "Morfología urbana y potencial solar del ambiente construido en ciudades andinas de trazado hispánico. Avances en evaluación de entornos de baja densidad." AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 9, ISSN: 0329-5184. Ed. Milor, Salta, Argentina.
- 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.
- Arboit, M., Diblasi, Á.; Mesa, A. y de Rosa, C. "Metodología para determinar el potencial solar de entornos urbanos de baja densidad. Caso del Área Metropolitana de Mendoza". AVERMA, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 10, ISSN: 0329-5184. Ed. Milor, Salta, Argentina. 2006
- Balcomb j.b. et al. "Passive Solar Desing Handbook" Vol. 1, 2, y 3. American Solar Energy Society, Inc. boulder, N.Y.
- Box, G.R.P & Cox, D.R. (1964) "An Analysis of Transformations", Journal of the Royal Statistical Society, series B,
- Breheny, M. (1996) Centrist, Decentrist and Compromisers in The Compact City. E & FN Spon, London.
- Canton, M.A., de Rosa C., Cortegoso J.L. and Ravetto A. (1994). Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. Energy and Buildings, Berkeley, Vol. 20, N° 3, pp.219-230. USA.
- Córica, L., Patini A. and de Rosa C. (2004). "Iluminación natural de espacios habitables en función de la morfología urbana circundante, para climas soleados". AVERMA, Ed. Millor, Salta, Argentina.
- Duffie J., Beckman W. (1974). Solar Energy Thermal Processes. John Wily & Sons, Inc., USA.

Faraday, J.A. (2005). Linear Models with R, Chapman & HLL/CRC, Boca Raton, London, New York, Washington DC.  
Fernández, J. Basso, M., Mesa N. and de Rosa C. (2003). "Consecuencias energéticas de las nuevas reformas al código de edificación de la Ciudad de Mendoza" AVERMA, Ed. Millor, Salta, Argentina.  
Givoni, B. (1998) Climate considerations in building and urban design. John Wiley & Sons, Inc., USA.  
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.  
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.  
Venables, W. N. et al. (2002) "Modern Applied Statistics with S-Plus", Springer-Verlag, Berlín New York, Heidelberg-London.

## ABSTRACT

The implementation of passive solar space heating strategies and greater energy conservation measures, would allow reducing the high winter gas consumption with the substitution by renewable energies, for the environmental conditioning of existing building stocks, allowing substantial reductions of energy consumption. Within the space-heating strategies, optimizing the Direct Gain systems (DG), it is possible to obtain potential energy savings. Optimizing the dimensions and the technology used in the building's envelope are conservation strategies that will allow maximum reductions of heat losses due to conduction through the building's envelope and air infiltration.

This paper evaluates methodology and obtains results on the incidence of these variables on the thermal behaviors of urban environments, considered as representative of the actual mean values. Improvements were evaluated through the Load/Collector Ratio (LCR method) of the Los Alamos National Laboratory (LANL). Later through the use of a Multiple Linear Regression Statistical Model (MLRSM), it was determined what variables display the greatest incidence on the energy efficiency of the urban building stock.

**Keywords:** urban morphology, solar potential, statistical assessment, energy conservation measures.