

MODELO DE REGRESION LINEAL SIMPLE PARA PREDECIR EL CONSUMO DE ENERGIA EN EL PARQUE EDUCACIONAL DE LA CIUDAD DE SANTA ROSA, LA PAMPA.

¹C. Filippín y ²C. de Rosa
CONICET

C.C. 302 (6300) Santa Rosa, La Pampa -Fax 0954 34222- E-mail: evigliz@inta.gov.ar

RESUMEN

Se analizan 16 edificios escolares de la ciudad de Santa Rosa, La Pampa. Se incluyen variables dimensionales, y morfológicas e indicadores térmicos y energéticos siendo objetivo del trabajo, determinar la función matemática que represente, lo más exactamente posible, la relación entre variables, una dependiente y la otra independiente, quedando el modelo matemático definido por la ecuación, $y=a+b*x$. Es posible a través de un análisis de regresión lineal simple desarrollar ecuaciones que permitan predecir el consumo total de energía de edificios construídos y a construir en la región en estudio, con una probabilidad menor al 1 y al 5% que los datos sean obtenidos al azar.

INTRODUCCION

La aplicación de la nueva 'Ley Federal de Educación' N°24195, sancionada en abril de 1993, obliga a los sectores dirigentes a reorganizar el sistema de planificación y control para su adecuación a las nuevas necesidades con el fin de administrar y optimizar el uso de los recursos, económicos, humanos y físicos. Es posible, a través del análisis de la información, la determinación de indicadores y la elaboración de índices, diagnosticar la situación posibilitando además, realizar análisis predictivos. La implementación de técnicas estadísticas permite analizar la interrelación de las variables que se consideren, calculando los grados de asociación y las curvas que representen dichas relaciones (Rosenfeld, E. y San Juan, G., 1996). Es objetivo del presente trabajo desarrollar modelos de regresión lineal simple para predecir el consumo de energía en el parque educacional de la región en estudio.

MATERIALES y METODOS

Se analizan 16 edificios escolares de la ciudad de Santa Rosa, capital de la provincia de La Pampa y, cuya localización geográfica se observa en la Tabla 1. Los edificios estudiados abarcan instituciones del nivel primario y secundario correspondientes a distintos períodos históricos de construcción, tecnológica y tipológicamente diferentes, con períodos de uso diario también diferentes. La muestra absorbe el 40% del universo del parque educacional. A partir de una base muestral desarrollada en otros trabajos (Filippín, C. y de Rosa, C., 1996 y Filippín, C. y de Rosa, C., 1997), (Tabla 2 y 3), se construye, en primer lugar, una matriz de correlación que se constituye en punto de inicio del análisis del presente trabajo. La base incluye variables dimensionales, morfológicas y energéticas. Se incorporan datos de matrícula y horas de ocupación del edificio. Las variables dimensionales, morfológicas e indicadores del comportamiento térmico, son: el perímetro, el área, el volumen, el factor de forma, el coeficiente global de pérdidas, la transmitancia térmica de las superficies de la envolvente y, el calor auxiliar anual. Los consumos anuales de energía total (MJ) se desdoblan en sus dos vectores predominantes [1], la energía eléctrica y el gas natural anual consumido. Los datos fueron suministrados por la Compañía Distribuidora de Gas Pampeana y la Cooperativa Popular de Electricidad y corresponden al período 1994/95 y 1991/96, respectivamente (Información sin publicar). Se incorporan como variables, el consumo total de energía/m² construído y por alumno. Con el fin de calcular el calor auxiliar anual (Q) que requiere cada edificio y según sus horas de uso y en función del período lectivo, se corrigen los Grados día anuales, base 16°C, para un período de clase de 160 días (San Juan, G. y Rosenfeld, E., 1993).

Tabla 1: *Coordenadas Geográficas y Datos Climáticos de Santa Rosa, La Pampa.*

| | | | | |
|---|---|-------------------|---|--------------|
| Coordenadas Geográficas: | Latitud: -36.57° | Longitud: 64.45 | Altitud: 189m sobre el nivel del mar | |
| | Valores Anuales | | Julio | Diciembre |
| Temperatura de Bulbo Seco(°C) | Media | Máx.Abs. Mín.Abs. | Mínima Media | Máxima media |
| | 15.5 | 42 -12 | 1.4 | 31.9 |
| Grados-día Anuales de Calefacción (Base 16°C): 1136 | | | Grados-día Anuales de Enfriam.(Base 23°C):128 | |
| | Radiación Global Horizontal: 16 MJ/m ² d | | | |

En segundo lugar, y con el fin de determinar la función matemática que represente lo más exactamente posible la relación entre variables, una dependiente (x) y la otra independiente (y), se realiza un análisis de regresión lineal simple. El modelo matemático está definido por la ecuación, $y = a+b*x$.

¹ Investigadora Asistente CONICET

² Investigador Independiente CONICET

Tabla 2: Datos dimensionales, morfológicos e indicadores del comportamiento térmico.

| <i>Establecimientos Secundarios</i> | P | A | V | FF | S*K | KG | KGAd | G | FO | GD |
|-------------------------------------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|----|-----|
| CN | 406 | 2624 | 11415 | 0,60 | 9410 | 1,38 | 1,07 | 1,31 | 19 | 587 |
| CSR | 335 | 3608 | 15429 | 0,44 | 9346 | 1,39 | 1,21 | 1,26 | 19 | 587 |
| EN | 391 | 3722 | 16388 | 0,41 | 9560 | 1,41 | 1,25 | 1,06 | 14 | 433 |
| EPET | 360 | 4503 | 15944 | 0,47 | 13465 | 1,79 | 1,18 | 1,48 | 14 | 433 |
| FA | 233 | 2135 | 7891 | 0,48 | 5060 | 1,34 | 1,17 | 1,38 | 10 | 309 |
| PLP | 294 | 2937 | 11089 | 0,48 | 7493 | 1,41 | 1,17 | 1,30 | 10 | 309 |
| <i>Establecimientos Primarios</i> | | | | | | | | | | |
| Número 2 | 128 | 1417 | 5841 | 0,68 | 3732 | 1,33 | 1,30 | 1,46 | 19 | 587 |
| Número 27 | 215 | 2136 | 8920 | 0,52 | 5502 | 1,18 | 1,13 | 1,40 | 13 | 402 |
| Número 74 | 317 | 1228 | 5443 | 0,74 | 6117 | 1,52 | 1,00 | 1,30 | 10 | 309 |
| Número 180 | 214 | 1136 | 3976 | 0,75 | 2917 | 1,33 | 0,99 | 1,48 | 19 | 587 |
| Número 219 Primaria | 235 | 1185 | 4239 | 0,74 | 3537 | 1,13 | 0,91 | 1,50 | 13 | 402 |
| Número 219 Inicial | 65 | 192 | 670 | 0,90 | 797 | 1,33 | 0,94 | 1,90 | 10 | 309 |
| Número 221 | 353 | 3074 | 13387 | 0,58 | 11983 | 1,54 | 1,09 | 1,53 | 13 | 402 |
| Número 240 | 174 | 1102 | 4506 | 0,65 | 3918 | 1,33 | 1,04 | 1,43 | 13 | 402 |
| Número 255 | 220 | 1156 | 4592 | 0,68 | 7321 | 1,30 | 1,03 | 1,40 | 10 | 309 |

Referencias: P: perimetro (m), A: área (m²), V: volumen (m³), FF: factor de forma, S*K: superficie por coeficiente de transmisión térmica (W/°C), KG: coeficiente de transmisión térmica global (W/m²°C), KGAd: coeficiente de transmisión térmica global admisible según Norma Básica de la Edificación española, G: coeficiente global de pérdidas (W/m³°C), FO: factor de ocupación (hs). GD: Grados-día, base 16°C.

Tabla 3: Consumo Anual de Energía en Kwh

| <i>Establecimientos Secundarios</i> | Q | GN (*) | EE (*) | Total | Kwh/m2 | Kwh/alumno |
|-------------------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|------------|
| CN | 758815 | 847206 | 41231 | 888437 | 338 | 806 |
| CSR | 986497 | 722376 | 266105 | 988481 | 274 | 1144 |
| EN | 649523 | 1314328 | 138546 | 1452874 | 389 | 1044 |
| EPET | 876348 | 1624813 | 297137 | 1921950 | 900 | 1647 |
| FA | 273974 | 651805 | 58288 | 710093 | 331 | 1919 |
| PLP | 393894 | 1926806 | 111312 | 2038118 | 695 | 5148 |
| <i>Establecimientos Primarios</i> | | | | | | |
| Número 2 | 197835 | 467309 | 35057 | 502366 | 400 | 803 |
| Número 27 | 433580 | 894053 | 63223 | 957276 | 448 | 1152 |
| Número 74 | 188980 | 362635 | 24887 | 387522 | 315 | 569 |
| Número 180 | 78997 | 372899 | 46372 | 419270 | 369 | 572 |
| Número 219 Primaria | 222239 | 341356 | 78458 | 419814 | 354 | 1786 |
| Número 219 Inicial | 34178 | 148288 | 14432 | 162720 | 847 | 2502 |
| Número 221 | 711137 | 1052266 | 216086 | 1268352 | 414 | 1393 |
| Número 240 | 223720 | 587588 | 87440 | 675029 | 612 | 1688 |
| Número 255 | 171698 | 497200 | 16488 | 513684 | 443 | 1642+ |

Referencias: Q: calor auxiliar anual (MJ), GN: consumo de gas natural anual medido (MJ), EE: consumo de electricidad anual medido (MJ), MJ/m²: consumo total de energía anual por metro cuadrado construido, MJ/al: consumo total de energía anual por alumno. * Fuente: Compañía Distribuidora de Gas Pampeana y Cooperativa Popular de Electricidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 4 muestra la matriz de correlación entre las distintas variables y los coeficientes correspondientes. En función de aquellos estadísticamente significativos, se inicia un análisis de regresión lineal simple para determinar la función matemática que represente la relación entre determinadas variables. En la Tabla 5 es posible observar el coeficiente de determinación (r²), el STD y la significancia estadística para algunas variables. Es posible extender la metodología a otras variables considerando, en función de la matriz y para la muestra analizada, que significancias estadísticas del 0.05 y 0.01 exigen valores de coeficientes de correlación de 0.482 y 0.606 respectivamente. La energía total consumida está asociada significativamente desde el punto de vista estadístico a variables edilicias dimensionales y morfológicas con una probabilidad menor al 1% que los datos hubieran sido obtenidos al azar. No se correlaciona con el número de horas de uso del edificio, sí con el número de alumnos. El 99% de la variabilidad del consumo total estaría definido por la variación en el consumo de gas natural, situación que ratifica los resultados de trabajos anteriores. El gas natural consumido se asocia al número de alumnos con una probabilidad menor al 5% que los datos sean obtenidos al azar. La energía eléctrica consumida está asociada al número de alumnos y a las horas de uso con una significancia estadística del 5%.

Tabla 4: Matriz de Correlación

| Columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--|--|
| 1 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0.80 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0.84 | 0.98 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 0.92 | 0.92 | 0.95 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | -0.64 | -0.87 | -0.87 | -0.75 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0.86 | 0.89 | 0.88 | 0.94 | -0.67 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 0.45 | 0.57 | 0.50 | 0.53 | -0.22 | 0.66 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0.64 | 0.86 | 0.86 | 0.74 | -0.98 | 0.67 | 0.28 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | -0.71 | -0.54 | -0.60 | -0.56 | 0.72 | -0.46 | 0.05 | -0.74 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 0.60 | 0.86 | 0.80 | 0.74 | -0.77 | 0.73 | 0.54 | 0.75 | -0.42 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 0.57 | 0.80 | 0.75 | 0.69 | -0.74 | 0.68 | 0.48 | 0.73 | -0.43 | 0.99 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 0.52 | 0.83 | 0.79 | 0.74 | -0.61 | 0.75 | 0.63 | 0.59 | -0.18 | 0.67 | 0.56 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 0.84 | 0.81 | 0.86 | 0.87 | -0.66 | 0.81 | 0.49 | 0.68 | -0.60 | 0.57 | 0.53 | 0.56 | 1.00 | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | -0.21 | -0.01 | -0.09 | -0.15 | -0.04 | -0.16 | -0.07 | 0.00 | 0.16 | 0.41 | 0.47 | -0.09 | -0.44 | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| 15 | -0.66 | -0.41 | -0.45 | -0.53 | 0.43 | -0.48 | -0.04 | -0.39 | 0.60 | 0.00 | 0.05 | -0.26 | -0.51 | 0.65 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| 16 | -0.25 | 0.16 | 0.08 | -0.09 | -0.20 | -0.06 | 0.16 | 0.21 | 0.17 | 0.57 | 0.61 | 0.13 | -0.18 | 0.84 | 0.77 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| 17 | -0.69 | -0.41 | -0.47 | -0.57 | 0.46 | -0.50 | -0.01 | -0.43 | 0.68 | -0.03 | 0.02 | -0.25 | -0.56 | 0.66 | 0.98 | 0.76 | 1.00 | | | | | | | | | |
| 18 | -0.65 | -0.43 | -0.47 | -0.55 | 0.42 | -0.49 | -0.08 | -0.38 | 0.55 | -0.01 | 0.06 | -0.36 | -0.51 | 0.66 | 0.99 | 0.76 | 0.97 | 1.00 | | | | | | | | |
| 19 | -0.27 | 0.09 | 0.02 | -0.13 | -0.16 | -0.11 | 0.10 | 0.18 | 0.14 | 0.53 | 0.59 | 0.00 | -0.20 | 0.85 | 0.78 | 0.99 | 0.76 | 0.79 | 1.00 | | | | | | | |
| 20 | -0.68 | -0.43 | -0.49 | -0.58 | 0.45 | -0.51 | -0.04 | -0.42 | 0.63 | -0.03 | 0.03 | -0.32 | -0.56 | 0.68 | 0.98 | 0.76 | 0.99 | 0.99 | 0.78 | 1.00 | | | | | | |
| 21 | -0.27 | 0.05 | 0.02 | -0.04 | 0.14 | -0.07 | 0.20 | -0.18 | 0.48 | 0.04 | -0.05 | 0.54 | -0.14 | 0.03 | 0.33 | 0.22 | 0.36 | 0.19 | 0.08 | 0.24 | 1.00 | | | | | |
| 22 | 0.03 | 0.45 | 0.40 | 0.28 | -0.28 | 0.26 | 0.41 | 0.23 | 0.19 | 0.39 | 0.28 | 0.82 | 0.14 | 0.06 | 0.12 | 0.30 | 0.16 | -0.01 | 0.15 | 0.05 | 0.89 | 1.00 | | | | |
| 23 | -0.35 | -0.01 | -0.07 | -0.14 | 0.22 | -0.14 | 0.21 | -0.26 | 0.58 | 0.01 | -0.07 | 0.47 | -0.23 | 0.11 | 0.40 | 0.28 | 0.46 | 0.27 | 0.15 | 0.34 | 0.98 | 0.86 | 1.00 | | | |
| 24 | 0.57 | 0.52 | 0.58 | 0.61 | -0.39 | 0.47 | 0.06 | 0.34 | -0.34 | 0.19 | 0.12 | 0.48 | 0.62 | -0.38 | -0.47 | -0.34 | -0.49 | -0.52 | -0.41 | -0.53 | 0.17 | 0.31 | 0.09 | 1.00 | | |

Referencias: 1- Perímetro (m), 2- Área (m²), 3- Volumen (m³), 4- Envolverte (m²), 5- Factor de Forma, 6- Superficie por coeficiente de transmisión térmica (W/°C), 7- Coeficiente de transmisión térmica global (W/m²°C), 8- Kgadm, coeficiente de transmisión térmica global admisible según Norma Básica de la Edificación Española, 9- G, Coeficiente global de pérdidas (W/m³°C), 10- Consumo Total en MJ, 11- Consumo de gas natural en MJ, 12- Consumo de electricidad en MJ, 13- número de alumnos, 14- Consumo Total de energía/alumno en MJ, 15- Consumo Total de energía/m² en MJ, 16- Consumo Total de energía/m² de envolverte en MJ, 17- Consumo Total de energía/m³, 18- Consumo de gas natural/m² en MJ, 19- Consumo de gas natural/m² de envolverte, 20- Consumo de gas natural/m³, 21- Consumo de electricidad/m² en MJ, 22- Consumo de electricidad/m² de envolverte en MJ, 23- Consumo de electricidad/m³ en MJ, 24- horas de uso.

Nota: Significancia Estadística: para $P > 0.01$, $r = 0.606$, para $P > 0.05$, $r = 0.482$ (Fuente: Tabla A.13, Significant Values of R, Statistical Methods, 4th de, The Iowa State College Press, Ames, Iowa, 1946.)

Tabla 5: Análisis de Regresión Lineal Simple

| Consumo Total Anual vs. | r2 | R | a | b | STD | Significancia Estadística |
|-------------------------|------|------|----------|----------|----------|---------------------------|
| Perímetro | 0,36 | 0,60 | -8716,2 | 987,6 | 134766,9 | P < 0,05 |
| Area | 0,73 | 0,85 | 17556 | 108,5 | 87073,2 | P < 0,01 |
| Volumen | 0,64 | 0,80 | 33472,5 | 25,06 | 100395,2 | P < 0,01 |
| Envolvente | 0,55 | 0,74 | -2094,6 | 54,9 | 113161,1 | P < 0,01 |
| Factor de Forma | 0,59 | 0,77 | 770778,2 | 855659,2 | 107380,9 | P < 0,01 |
| SK | 0,54 | 0,73 | 20482 | 33,7 | 114410,3 | P < 0,01 |
| KG | 0,29 | 0,54 | -578409 | 598548 | 141823,3 | P < 0,05 |
| Consumo de Gas | 0,98 | 0,99 | 6228,43 | 1,10 | 22721,3 | P < 0,01 |
| Consumo de Electricidad | 0,45 | 0,67 | 140991,7 | 4,09 | 124943,5 | P < 0,01 |
| m2 Envolvente | 0,32 | 0,56 | 220010 | 4395,8 | 137739 | P < 0,05 |
| Número de alumnos | 0,32 | 0,56 | 114221,9 | 224,1 | 138404 | P < 0,05 |

| Consumo Gas Natural Anual vs | r2 | R | a | b | STD | Significancia Estadística |
|------------------------------|------|------|----------|---------|----------|---------------------------|
| Perímetro | 0,32 | 0,56 | 267,5 | 846 | 124193,2 | P < 0,05 |
| Area | 0,64 | 0,80 | 26484 | 91,3 | 90482,2 | P < 0,01 |
| Volumen | 0,56 | 0,75 | 40622 | 21 | 100272,5 | P < 0,01 |
| Envolvente | 0,47 | 0,68 | 11294,2 | 45,9 | 109629,2 | P < 0,01 |
| Factor de Forma | 0,55 | 0,74 | 674674,9 | -744259 | 100881,1 | P < 0,01 |
| SK | 0,46 | 0,68 | 30885,4 | 28,1 | 110863,2 | P < 0,01 |
| Número de alumnos | 0,28 | 0,53 | 108087,7 | 188,3 | 128104,4 | NoSignificat. |
| Consumo Gas/m2Envolvente | 0,35 | 0,59 | 25621,9 | 4231,1 | 121752,7 | P < 0,05 |
| Consumo Total/m2Envolvente | 0,38 | 0,62 | 601,4 | 4236,5 | 119193 | P < 0,01 |

| Consumo de Electricidad Anual vs. | r2 | R | a | b | STD | Significancia Estadística |
|---------------------------------------|------|------|----------|---------|----------|---------------------------|
| Perímetro | 0,27 | 0,52 | -8983,7 | 141,6 | 23400 | No significat. |
| Area | 0,69 | 0,83 | -8924,1 | 17,2 | 15376 | P < 0,01 |
| Volumen | 0,63 | 0,79 | -7149,5 | 4,05 | 16742 | P < 0,01 |
| Envolvente | 0,55 | 0,74 | -13388,9 | 8,96 | 18499,85 | P < 0,01 |
| Factor de Forma | 0,37 | 0,61 | 96103 | -111400 | 21715,8 | P < 0,05 |
| SK | 0,56 | 0,75 | -10403,3 | 5,6 | 18313,9 | P < 0,01 |
| KG | 0,40 | 0,63 | -131422 | 114755 | 21346,5 | P < 0,05 |
| Número de alumnos | 0,31 | 0,56 | 6134,2 | 35,9 | 22845,3 | P < 0,05 |
| Consumo de Electricidad./m2 | 0,29 | 0,54 | 3513,7 | 2037,7 | 23190,9 | P < 0,05 |
| Consumo de Electricidad.m2 Envolvente | 0,68 | 0,82 | -9226 | 6747,4 | 15568 | P < 0,01 |

CONCLUSIONES

Es posible a través de un análisis de regresión lineal simple desarrollar ecuaciones que permitan predecir el consumo total de energía de los edificios escolares construidos y a construir en la región en estudio, con una probabilidad menor al 1% y al 5% que los datos sean obtenidos al azar. A partir de él, ó mediante ecuaciones, predecir el consumo de gas natural y electricidad. En aquellas situaciones en particular, donde el grado de asociación detectado no satisface las exigencias de significancia estadística, se prevé realizar, en próximos trabajos, un análisis de regresión simple no lineal, parabólico y logarítmico, y de regresión múltiple.

BIBLIOGRAFIA

- Filippín, C. y de Rosa, C. Análisis Morfológico, Tecnológico, Energético y Económico del Parque Educativo del Nivel Secundario de la Ciudad de Santa Rosa, La Pampa. Actas 19a Reunión de Trabajo de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar), Mar del Plata, Noviembre de 1996, Vol. I, p.02.25-02.28 (1996).
- Filippín, C. y de Rosa, C., 1997. Análisis Morfológico, Tecnológico, Energético y Económico del Parque Educativo del Nivel Primario de la Ciudad de Santa Rosa, La Pampa. A presentar en la 20a Reunión de Trabajo de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar), Río Cuarto, Noviembre de 1997.
- San Juan, G. y Rosenfeld, E. Mejoramiento de las Redes Edilicias de Educación de la Provincia de Buenos Aires, Actas de la 16a. Reunión de Trabajo de ASADES, 73-80 (1993).
- Rosenfeld, E. y San Juan, G. Un Enfoque Sistémico de la Arquitectura Educativa, Redes Edilicias y Recursos Críticos. Instituto de Estudios del Habitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata (1996).