

ESTUDIO COMPARATIVO DEL FUNCIONAMIENTO ENERGÉTICO DE PROTOTIPOS EDIFICIOS EDUCACIONALES DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Hoses, Santiago ⁽¹⁾, San Juan, Gustavo ⁽¹⁾, Rosenfeld, Elías ⁽¹⁾.

IDEHAB, Instituto de Estudio del Hábitat, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata.
Calle 47 N°162, C.C. 478, La Plata (1900). Telefax + 54 (021) 214705. E-mail santhoses@yahoo.com

RESUMEN

El trabajo expone los resultados del análisis del comportamiento térmico de prototipos edilicios para la educación primaria, representativos de la producción oficial de la provincia de Buenos Aires. Se calcularon los consumos energéticos anuales para calefacción en función de sus características morfológicas y constructivas. Se construyeron índices de comportamiento en función del calor auxiliar necesario para mantener en confort estos edificios, en función de la matrícula que sirve y su superficie. El objetivo es generar un estudio comparativo de prototipos correspondientes a distintos periodos históricos y de gestión, lo que servirá para tomar decisiones de proyecto y para la adopción de políticas para la futura producción.

INTRODUCCION

El presente trabajo consiste en el estudio de seis tipologías edilicias de establecimientos de nivel primario (actual EGB) de la Provincia de Buenos Aires con las siguientes características: son representativas de la producción oficial llevada a cabo por distintas gestiones durante los últimos cincuenta años y no son rurales, ni precarias.

La provincia de Buenos Aires cuenta con una población superior a los 12.594.00 habitantes, con una matrícula de nivel primario estatal de 1.303.659 alumnos, repartidos en 4.467 establecimientos (INDEC, 1996). Según el Censo Educativo del '94, la provincia cuenta con un 32.2 % de los establecimientos educativos del país. Estos datos han sufrido una variación importante como consecuencia de la implementación de la Ley Federal de Educación sancionada en 1994. Actualmente el sistema educativo provincial estatal cuenta con 11.991 establecimientos educativos, de los cuales 4564 pertenecen al nivel primario y representan aproximadamente el 38 %. La matrícula provincial de EGB se ha incrementado en 1.548.507 alumnos ⁽¹⁾. Los edificios escolares de la provincia representan históricamente el 18.4 % promedio de la producción pública de edificios educacionales del país ⁽²⁾. No existen registros de la ocurrencia de cada tipología en la provincia, debido a la falta de un sistema de control estadístico profundo y actualizado.

La construcción de escuelas fue tradicionalmente el producto de planes masivos de intervención estatal, cuya mecánica para la construcción de nuevos edificios fue la adopción de prototipos. Para obtener una aproximación de la representatividad de las muestras analizadas, se ha tomado por la posibilidad de acceso a los datos, el parque edilicio de nivel EGB del partido de La Matanza, distrito más poblado de la provincia con 1.121.298 hab, posee 401 establecimientos educativos estatales, de los cuales 205 pertenecen al nivel primario. En este contexto, el caso "4" que presentamos posteriormente (compuesto originalmente por 7 aulas), tiene una representatividad superior al 16 %, mientras que el caso "6" representa el 10 % (con un número de aulas variable entre 11 y 22, pero manteniendo su configuración tipológica). El caso "3", por ejemplo cuenta con una baja representatividad pero se incorporó a la base muestral por ser una propuesta distinta con ideas renovadoras que contaron con el impulso de la DINA-UNESCO. Con el paso del tiempo, estos prototipos han sufrido variaciones en sus características tipológicas y constructivas en función de la transformación de los requerimientos pedagógicos o debidos al gran crecimiento demográfico registrado especialmente en el Conurbano Bonaerense. La ausencia de una política de intervención clara y continua en el tiempo, sumada a la imperiosa necesidad de dar rápidas respuestas coyunturales, ha creado "modelos" de funcionamiento dispar y difícilmente generalizables. Por lo expuesto se toman los prototipos en su estado original, tal como fueron pensados por los organismos estatales encargados de su producción y planificación.

Se seleccionaron solamente tipologías compuestas por aulas cuadradas (6 x 6 m), que representan la mayor parte del universo y permiten la desagregación de sus módulos constitutivos y la sistematización del método de cálculo. Se trabajó con módulos espaciales repetitivos para simplificar el cálculo de cada unidad. Se analizó cada módulo calefaccionado en base 18°C en forma diferenciada de acuerdo a las características reales de su envolvente y su factor de exposición, en función de una zona bioclimática determinada. Se calcularon los espacios calefaccionados en base 16°C (pasillos, cocinas y baños) en forma particular y posteriormente se integró cada uno de estos valores resultantes para obtener la carga térmica total del edificio. Debido a la diferencia existente en la escala, el tamaño y en el número de aulas entre algunos de estos casos, se elaboran índices en función de su rendimiento por alumno y por unidad de superficie, para permitir su comparación.

Este trabajo plantea los siguientes objetivos:

- Evaluar el comportamiento térmico de edificios escolares prototípicos de producción oficial en la provincia de Buenos Aires, tomando como variables su forma y la envolvente edilicia, detectando comportamientos tipológicos.

⁽¹⁾ Becario Iniciación CONICET

⁽²⁾ Investigador CONICET

El presente trabajo arroja conclusiones acerca de los aspectos relacionados con el confort térmico e indicadores de uso a considerar en la región geográfica de estudio, con el objeto final de su aplicación para la optimización del universo tipológico analizado. Estas conclusiones se relacionan con los resultados obtenidos en otros trabajos en desarrollo ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾.

METODOLOGIA

La Red de edificios escolares de la Provincia de Buenos Aires cuenta con una serie de casos tipológicamente representativos, tanto en lo referente a su configuración tipológica general como con respecto a sus módulos aula componentes. Metodológicamente el trabajo se desarrolla en las siguientes instancias:

- Selección de prototipos (casos de estudio);
- Análisis de la tipología y desagregación de sus módulos constitutivos;
- Análisis de cada componente en función de sus características intrínsecas: constructivas y de exposición;
- Integración de resultados parciales para obtener la carga térmica total del edificio;
- Construcción y comparación de indicadores e índices.

CONDICIONES DE CALCULO

- Se adoptó como escenario de pruebas la localidad de La Plata, ubicada en la zona bioclimática III-b ⁽⁶⁾ y se consideraron sus grados día de base 18°C.

Localidad: LA PLATA	Latitud: -34.9	Longitud: 57.9 W	Altura: 15 m.
Temperatura Media anual: 16° C		Temperatura Media Periodo Calefacción: 12° C	
Temperatura Máxima Media anual: 21.4 °C		Temperatura Mínima Media anual: 11.9 °C	
Grados Día anuales de calefacción (base 18°C) : 994 °C			

Tabla 1. Datos climáticos para la localidad de La Plata. ⁽⁷⁾

- Se consideró a todos los edificios excentos, para no alterar los resultados con casos particulares de implantación.
- Se verificó un gran número de casos en los que se comparte un edificio entre dos o más establecimientos pertenecientes a distintos niveles educativos de enseñanza. Sumado a esto se observa también una disparidad significativa en los patrones de uso, que actualmente se ve potenciada por la Ley Federal de Educación que propugna la creación de Proyectos Educativos Institucionales (PEI) específicos para cada comunidad. Se tomó un factor de uso diario de 10 horas, considerando un hipotético doble turno de EGB.
- De acuerdo a otros trabajos en desarrollo (ver ⁴) se han tomado 9 renovaciones de aire por hora que se encuentra dentro del rango exigido por la normativa rectora del la Arquitectura escolar. ⁽⁸⁾
- Debido a la imposibilidad de obtener la matrícula real para la cual fuese creada cada tipología se consideran 30 (treinta) alumnos por aula y por turno, de ahí obtenemos la matrícula teórica total.
- Se considera a cada edificio compuesto por “módulos” calefaccionados en base 18°C y “espacios” calefaccionados base 16°C. Los primeros comprenden los espacios de enseñanza y administración, los restantes se refieren a circulaciones, cocina, sanitarios y SUM.

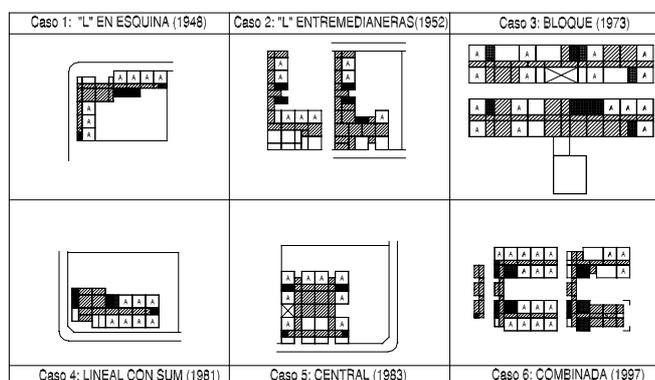


Gráfico 1. Esquemas organizativos de los casos seleccionados.

TIPOLOGIA	MODELO	Caso	Año	Aulas	Alumnos
“L” en esquina	Simple Crujia	1	1948	7	420
“L” entre medianeras	Simple Crujia	2	1952	8	480
Bloque	Doble Crujia	3	1973	16	960
Lineal con SUM	Doble Crujia	4	1981	7	420
Central	—	5	1983	8	480
Combinada	=(bloques 2 cruj)	6	1997	18	1080

Tabla 2. Tipologías analizadas

	Cubierta			Plantas	Mampostería		Carpintería	
	Chapa	Losa llena	Teja y cieloraso		N°	Comun 0.30	Hueco 0.20	Madera o chapa
K	1.63	3.82	0.61	-----	1.88	1.84	5.80	-----
1			X	1	X		Madera	Vertical
2		X		2	X		Madera	Vertical
3		X		2		X	Chapa	Corrida
4	X			1		X	Chapa	Vertical
5	X			1		X	Chapa	Vertical
6	X			2		X	Chapa	Vertical

Tabla 3. Coeficientes de transmitancia térmica aplicados a la envolvente según caso.

DESARROLLO

Se ha empleado para el cálculo un balance estacionario sin considerar aportes por ocupación (que representan una baja incidencia, tan solo 1° o 2° C), ni por radiación (ya que tratándose de prototipos que se ubican indistintamente según las posibilidades, no mantienen un patrón de implantación común). Este método simplificado permite obtener la carga térmica con una aproximación relativa que sirve para confrontar las tipologías entre sí, superando el cálculo de la escuela como totalidad, incorporando las condiciones y dinámicas particulares de cada uno de los espacios involucrados.

Se han analizado seis tipologías edilicias correspondientes a distintos períodos históricos (ver tabla 2). El caso “1” y “2” son de tecnología tradicional pesada, una presenta su desarrollo en planta baja y la otra en dos niveles. El resto de los casos son de tecnología tradicional racionalizada. A excepción del caso “6”, los SUM no están diferenciados de la circulación, por lo tanto se los consideró como locales calefaccionados en base 16°C. Se observa por ejemplo que el caso del “bloque”, posee una

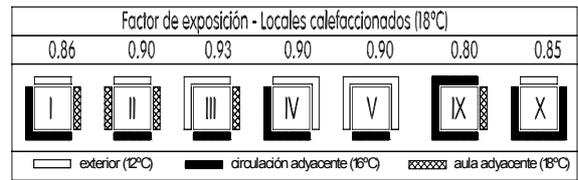


Gráfico 2. Factor de exposición para módulos calefaccionados

mayor disponibilidad de espacios, tales como aulas especiales (cuatro) y SUM seccionales (tres) además del SUM general, e inclusive espacio para el funcionamiento de un jardín de infantes en forma simultánea al de EGB. Asimismo este caso, también es la excepción pues su módulo calefaccionado constitutivo es de 7 x 7 m, mientras que en el resto de los casos el módulo es de 6 x 6 m. Solo los casos “2”, “3” y “6” presentan dos niveles. Otro caso que merece una referencia especial es la tipología “6”, que presenta una diferencia fundamental con el resto, pues es posterior a la sanción de la Ley Federal de Educación. Esta nueva legislación incrementa el número de años de enseñanza obligatoria y por lo tanto la cantidad de secciones que deben funcionar en cada establecimiento generando un proceso de transformación que aún se está implementando.

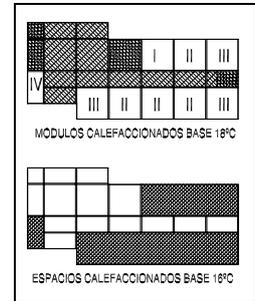


Gráfico 3. Desagregación “módulos” y “espacios” compositivos para el caso 4.

Se desagregó cada tipología en sus módulos calefaccionados constitutivos (tipología de aula cuadrada) y se calculó un balance térmico estacionario para cada uno de ellos (ver gráfico 3). Se aplicaron a cada módulo los coeficientes de transmitancia térmica (tabla 3) y un factor de exposición según corresponda (gráfico 2). Dicho factor de exposición se obtiene en función de la diferencia de temperatura entre el módulo analizado y el espacio adyacente; y el porcentaje de envolvente involucrada. Posteriormente se realizó en forma particular otro balance específico para el conjunto de los locales calefaccionados en base 16°C. Luego se integraron estos resultados para obtener el calor auxiliar necesario para calefaccionar el edificio. A manera de ejemplo, se presenta el caso 4 (tipología lineal con SUM):

$$\begin{aligned}
 \text{“Q” módulos calefaccionados} &= \text{“Q” módulos (I + II x 4 u + III x 3 u + IV x 0.5 u)} = [\text{Kwh/año}] \\
 \text{“Q” tipología edilicia} &= \text{“Q” módulos calefaccionados base 18°} + \text{“Q” espacios calefaccionados base 16°} = [\text{Kwh/año}]
 \end{aligned}$$

A continuación se exponen algunos resultados obtenidos.

CASO	SUP. CALEFACC BASE 18 [M2]	SUP. CALEFACC BASE 16 [M2]	SUP. TOTAL [M2]	SUP. CUBIERTA TOTAL/ALUMNO (1 turno) [M2/Alum]	VOL. CALEFACC BASE 18 [M3]	VOL. CALEFACC BASE 16 [M3]	VOL. TOTAL [M3]	VOL. CALEFACC/ALUMNO (1 turno) [M3/Alum]	VOL. TOTAL /ALUMNO (1 turno) [M3/Alum]	CARGA TÉRMICA LOCAL CALEFACC BASE 18 [KWH/AÑO]	CARGA TÉRMICA LOCAL CALEFACC BASE 16 [KWH/AÑO]	CARGA TÉRMICA EDIFICIO [KWH/AÑO]	CARGA TÉRMICA EDIFICIO/ALUMNO [KWH AÑO/ALUM]	CARGA TÉRMICA EDIFICIO SUP. [KWH AÑO/M2]
1	279,00	252,00	531,00	2,53	1046,25	930,00	1976,25	4,98	9,41	43134,04	35903,96	79038,00	188,19	148,85
2	567,00	693,00	1260,00	5,25	2154,60	2632,00	4786,60	8,98	19,95	99710,94	104949,60	204660,54	426,38	162,43
3	1151,50	1363,18	2514,68	5,24	3504,73	4053,00	7557,73	7,30	16,16	156591,33	110362,40	266953,73	278,08	106,16
4	306,00	297,00	603,00	2,87	1162,80	950,00	2112,80	5,54	10,06	49588,72	35675,89	85264,61	203,01	141,40
5	432,00	432,00	864,00	3,60	1382,4	1209,60	2592,00	5,76	10,80	66486,18	51123,27	117609,45	245,02	136,12
6	916,20	582,84	1499,04	2,78	3433,21	1839,00	5272,21	6,36	10,30	146363,32	75332,77	221696,09	205,27	147,89

CONCLUSIONES

Indicadores dimensionales, el promedio de los casos analizados es de 3 m²/al y 10 m³/al. Los casos “2” (L entre medianera- dos niveles y tecnol. pesada) y “3” (bloque - dos niveles - tecnología racionalizada) incrementan estos índices a 5,25 m²/alum y 18 m³/alum (lo que representa un crecimiento del 80 % en el espacio). El caso “6” (combinada - dos niveles- tecnol. racionalizada – 18 aulas) mantiene la misma relación m³/alumno que las tipologías de planta baja y 7 aulas, reduciendo notablemente los valores verificados para dos niveles de 16 aulas y dos niveles de 8 aulas. (Gráfico 4)

Tomando cada tipología por separado obtenemos que las cargas térmicas correspondientes a los casos “2”, “3” y “6” son muy superiores a las restantes, se advierte a primera vista que el caso “2” solo tiene 8 aulas, frente a las 16 de las otras dos. Este es notablemente mas caro e implica un incremento en el gasto para sus locales calefaccionados en base 16°C, verificándose una relación dos veces superior a lo requerido para el caso “5” (central) y tres veces mayor a lo requerido por los casos “1” (L en esquina) y “4” (lineal con SUM), lo cual se debe a su mayor superficie expuesta. Estos últimos dos casos son los que verifican menores requerimientos de energía, en comparación con las restantes escuelas que tienen igual cantidad de aulas. Analizando la carga térmica en relación a la superficie, se observa que la media entre los casos analizados es de 140 Kwh/año/m²). El caso “3” (bloque)

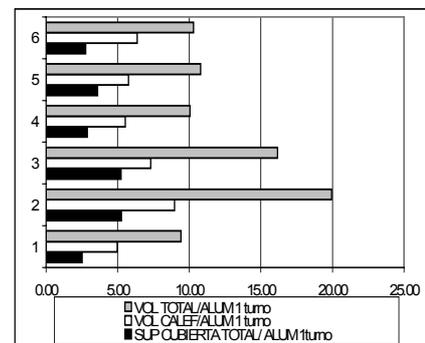


Gráfico 4. Indicadores dimensionales, por tipología

tiene el menor requerimiento en relación a la superficie (106 Kwh/año/m²) por su compacidad, pero sin embargo este rendimiento pierde efectividad cuando se lo compara con la cantidad de alumnos (278 Kwh/año/alum), presentando valores similares al caso “5” (central - tecnol. racionalizada). El mayor consumo por superficie se registra en el caso “2” (162 Kwh/año/m²) al igual que el mayor consumo por alumno (426 Kwh/año/alum). El caso “6” tiene dos niveles y su requerimiento de calor auxiliar para calefacción es incluso inferior a otros ejemplos que se desarrollan en un solo nivel. Los casos “1”, “2”, “4” y “5” tienen 7 u 8 aulas, se observa que todas tienen un rendimiento parejo, notándose que solo se elevan los valores calor auxiliar necesario/m³ para el caso “5” (central); lo más destacable es que el caso “6” (combinado) que ha incrementado el número de aulas mantiene estos mismos índices. En cuanto al consumo por alumno, se advierte una estratificación en tres niveles: la tipología 2 duplica los valores obtenidos para el estrato menor. En el estrato intermedio se ubican los casos 3 y 5. El estrato de mayor eficacia está compuesto por los casos “6” (combinada- 18 aulas – dos niveles – tecnol racionalizada), “4” (lineal con Sum- 7 aulas –un nivel – tecnol racionalizada) y “1” (L en esquina – 7 aulas – un nivel – tecnol pesada). El caso “L” entre medianeras es caro en cuanto a carga térmica/alumno, duplica el promedio de las restantes, pero sin embargo se mantiene en la media de consumo/m², lo notable es que esta es la única tipología de dos niveles para 8 aulas. Habría que reevaluar sus indicadores dimensionales. (Gráfico 5.)

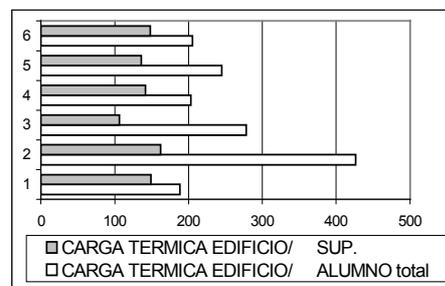


Gráfico 5. Indicadores de carga térmica (Kwh/año) en relación a superficie y al n° de alumnos, por tipología

Con respecto al consumo particularizado de las aulas (Gráfico 6), la variación entre un caso con techo expuesto y otro con techo protegido representa una disminución entre el 28% y 19%. Al comparar aulas de idénticas condiciones de exposición se observa que el mayor consumo se verifica en las tipologías “bloque” y “L entre medianeras” por sus características dimensionales y constructivas (ventana corrida y techo losa respectivamente). El menor consumo se da en la tipología central por ser la de menor volumen. A igual tecnología, volumen y condición de exposición se comparan las aulas componentes de las tipologías edilicias “1” y “2”, que varían su cubierta (teja y ciellorraso – losa, respectivamente): la primera reduce su consumo un 17% con respecto a la segunda. En cuanto a la relación entre consumo para calefacción y alumnos, se observa que los menores consumos se logran en las aulas con las características constructivas de las tipologías “1”, “4” y “5”, todas en planta baja y con techo expuesto. Tomando el funcionamiento aislado de las aulas según condiciones de envolvente y de exposición, los casos más eficaces resultan los correspondientes a tipologías edilicias 1, 4 y 5.

En síntesis, algunos de los elementos críticos a considerar son: la superficie expuesta; la ineficiencia de algunas tipologías en cuanto a la relación superficie por alumno y de la relación con factores variables de lógica ambiental; y la compacidad en función de la matrícula. En la situación analizada algunas estrategias de diseño posibles son: utilización de tipologías compactas que estén compuestas en su mayoría por aulas cuya condiciones de exposición sean las más favorables (por ejemplo: los casos I, IX, X), asimismo no será conveniente utilizar cubiertas de losa porque provocan un incremento importante en las pérdidas y con respecto de las grandes ventanas habrá que justificarlas en la obtención de beneficios contundentes para el confort lumínico. Se prevé verificar estos resultados con mediciones “in situ” y comparar con las mediciones de consumo anuales. En etapas posteriores se incorporarán ganancias por ocupación e iluminación. Las ganancias por radiación se estudiarán en distintas condiciones de orientación e inserción urbana. Posteriormente se integrarán estos, con otros costos operativos. También se comparan los resultados respecto a indicadores teóricos.

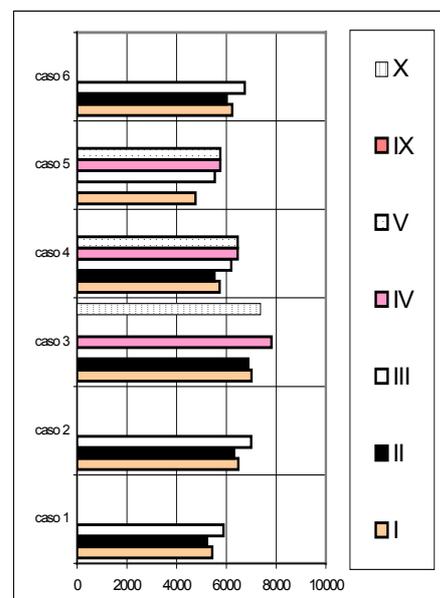


Gráfico 6. Consumo (Kwh/año) de aulas según condiciones de exposición y tipología.

REFERENCIAS.

- (¹) Datos sin publicar extraídos de la Dirección Provincial de Infraestructura de la Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. Agosto 1998.
- (²) Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. Secretaria de Programación y Evaluación Educativa. “Censo Nacional de Docentes y Establecimientos Educativos ’94. Resultados Definitivos. Serie A N°1. Total del País”. Argentina. 1996.
- (³) San Juan G.A., Bogatto M., Toigo A., Rosenfeld E. “Desarrollo metodológico para la evaluación del comportamiento lumínico de la red tipología de edificios de educación de la Provincia de Buenos Aires”. Actas de la 19ª Reunión de Trabajo de ASADES. Mar del Plata, Argentina. Noviembre 1996.
- (⁴) San Juan G.A., Hoses S., Bogatto M., Toigo A., Rosenfeld E. “Generación de indicadores teóricos optimizados. Sinergia de balance termo-lumínico en aulas. Estado de avance”. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar, N° 1. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Noviembre 1997.
- (⁵) G.A. San Juan, J.M. Evans, M. Bogatto, S. Hoses, M. Marmora. “Evaluación del comportamiento lumínico en aulas con diferentes soluciones de envolvente edilicia”. Revista de la Asociación Argentina de Energía Solar, N° 2. Salta, Argentina. Noviembre 1998.
- (⁶) Norma IRAM 11603. “Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina”. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, 1992
- (⁷) Instituto Solar Arquitectura Buenos Aires (I.S.A.B.A). “Tablas del cociente carga colector para 60 localidades de la Argentina”. Noviembre 1985.
- (⁸) Ministerio de Cultura y Educación de la Nación. “Criterios y Normativa básica de Arquitectura Escolar. Anteproyecto. Versión 1.” 1997.