

## EVALUACION DE CALIDAD AMBIENTAL DE EDIFICIOS: CONFORT Y EFICIENCIA ENERGETICA SEGUN VARIABLES BIOCLIMATICAS Y COMPACIDAD EDILICIA

Silvia de Schiller, Luciana Gaidimauskas, Santiago Torres  
 Centro de Investigación Hábitat y Energía, SICyT, FADU, UBA  
 Casilla de Correo 1765 (1000) Capital Federal, Argentina. Fax: 576 - 3205 E-mail: schiller@fadu.uba.ar  
 Juan Carlos Silva Saldaña  
 Facultad de Arquitectura, Universidad de la República, Regional Norte, sede Salto, R. O. del Uruguay  
 Artigas 1251 (50000) Salto, Uruguay. Fax: (0598 73) 2 9149 E-mail: jsilva@unorte.edu.uy

### RESUMEN

Este trabajo se orienta al desarrollo de métodos de evaluación edilicia en relación con la eficiencia energética y la optimización de estrategias de diseño bioclimático para lograr confort por medios naturales y menor impacto ambiental. Se partió de la evaluación de un caso real, el proyecto de un edificio escolar en clima cálido y moderada amplitud térmica (Zona IIb), estudiando luego alternativas de proyecto con sus respectivas evaluaciones con fines comparativos. El análisis de compacidad edilicia fue factor importante de evaluación, compatibilizando las pérdidas de calor invernal con los requerimientos de ventilación, protección solar estival y uso del espacio exterior en función de las características climáticas del lugar. Se estudiaron soluciones variando la distribución de la planta, manteniendo los elementos constructivos y considerando la habitabilidad de espacios exteriores útiles.

### INTRODUCCION

El objetivo del trabajo es verificar el efecto de alternativas de diseño en el impacto ambiental y calidad de vida del edificio con indicadores bioclimáticos sencillos. Tomando como caso el edificio de la Escuela Nro.92 ya construido en Salto, Uruguay, se realizaron estudios a fin de determinar su comportamiento bioclimático. Se trató de determinar la incidencia de la forma edilicia en el comportamiento bioclimático a fin de desarrollar una metodología de evaluación de calidad ambiental. Se realizaron análisis similares adoptando distintas distribuciones de planta con igual superficie de aulas y resolución constructiva, para su evaluación comparativa. Los factores bioclimáticos fueron analizados con el instrumental del Laboratorio de Estudios Bioambientales del CIHE, evaluando las siguientes condiciones, tanto dentro del edificio como en los espacios exteriores habitables: 1. Asoleamiento (protección y captación solar) mediante el Heliódón; 2. Ventilación (aprovechamiento de brisas, ventilación y protección de vientos) en el túnel de viento; 3. Iluminación natural, en el cielo artificial; 4. Comportamiento térmico-energético, mediante programas de simulación por ordenador. 5. Relación interior-exterior. Se observaron además factores tales como visuales, vegetación, etc. Tratándose de un clima cálido con moderada amplitud térmica, se privilegiaron las estrategias bioclimáticas de protección solar y ventilación cruzada.

### ESTUDIO DE CASO

#### Características generales del proyecto evaluado

| Localidad: SALTO Lat: 31° 18' sur | Invierno | Verano |
|-----------------------------------|----------|--------|
| Temperatura máxima (°C)           | 17,8     | 30,6   |
| Temperatura media (°C)            | 12,3     | 24,1   |
| Temperatura mínima (°C)           | 7,5      | 17,9   |
| Humedad relativa (%)              | 77       | 65     |
| Precipitaciones (mm)              | 75       | 122    |
| Vientos (km/h)                    | 15       | 13     |

Tabla 1. Datos climáticos

El proyecto consiste en un edificio compacto de una planta de perímetro libre, un pequeño patio interior de servicio y doble circulación con aulas de orientaciones opuestas (SE y NO). Las aberturas principales de las aulas se ubican en las fachadas y otras secundarias en los lados opuestos sobre pasillos. Las dos aulas cercanas al acceso (SO) presentan aberturas al O y S.

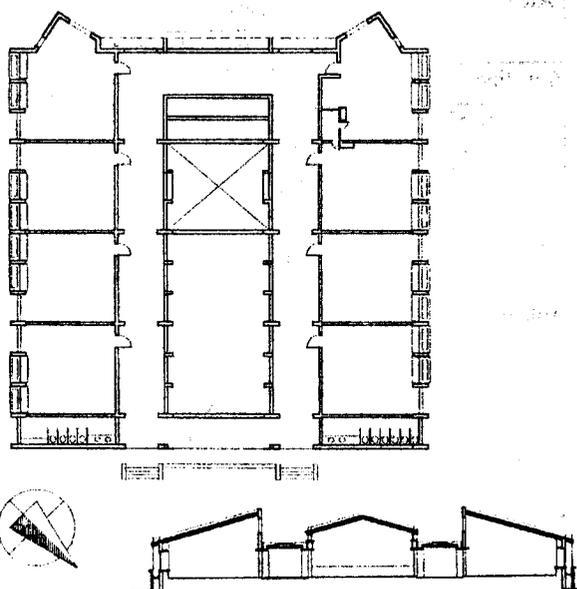


Fig. 1 Proyecto original. Planta y corte.

La resolución de cada elemento constructivo se detalla en la tabla 2, junto con los valores de resistencia térmica y espesor de cada uno.

| Item       | Resolución constructiva  | Rt (m <sup>2</sup> K/W) | Esp. (cm) |
|------------|--|-------------------------|-----------|
| Muros ext. | Doble muro ladrillo común ext. a la vista int. revocado, capa de mortero intermedia                          | 0,481                   | 26        |
| Cubierta   | H <sup>o</sup> A <sup>o</sup> c/revoque int., poliestireno exp., cámara de aire, chapa de hierro galvanizado | 1,415                   | 16        |
| Aberturas  | Carpintería de aluminio; vidrio común transparente   | 0,170                   | 0,5       |
| Piso       | Contrapiso H <sup>o</sup> A <sup>o</sup> ; terminación baldosas cerámicas                                    | 0,411                   | 10        |

Tabla 2. Datos constructivos

### 1. Asoleamiento

Se realizaron estudios mediante el Heliódón, para invierno y verano, analizándose la penetración solar en las aulas con orientaciones SE y NO.

| Orientación | Invierno | Verano | Observaciones  |
|-------------|----------|--------|--|
| NO          | 6 hs     | 2 hs   | Ver.: 2hs. de captación por las aberturas pequeñas superiores orientadas al SE |
| SE          | -        | 2 hs   | Inv.: 6hs. de captación por ventanas superiores al NO Ver.: 5hs. idem.         |

Tabla 3. Penetración solar en las aulas, simulación realizada en el Heliódón del LEB.

La simetría de la planta provoca situaciones diferentes en las aulas según su orientación. Al NO tienen mejor captación pero padecen problemas de deslumbramiento al no prever control del sol bajo del O. Las aulas orientadas al SE tienen menor ganancia solar pero una mejor distribución de la luz. La iluminación de los corredores resulta insuficiente y parcial según su cercanía al patio de servicio.

### 2. Viento y ventilación.

Los vientos predominantes en Salto durante el invierno provienen del S, y durante el resto del año del NE. El acceso al SO queda expuesto a los vientos de invierno no previéndose ningún tipo de protección. La disposición de la planta dificulta la captación de brisas en verano para la ventilación de aulas y circulaciones, estrategia necesaria en un clima cálido-húmedo. Estudios en el túnel de viento demostraron que las turbulencias en el patio interior no son significativas. Siendo éste el único espacio exterior protegido no se ha previsto para el desarrollo de actividades. Se generan, en cambio, corrientes a lo largo de los corredores ubicados en el sentido de los vientos predominantes, que no han sido debidamente controladas.

### 3. Iluminación natural.

Para verificar niveles de iluminación natural en el interior de las aulas, se realizaron dos evaluaciones: una mediante estudios con maqueta en el cielo artificial del CIHE, y otra con simulaciones por ordenador. Las mediciones en el cielo artificial dieron un valor medio de factor de luz de día  $F_d=3,7\%$ . La Norma IRAM AADL J 20-24 recomienda un  $F_{d\min}=2\%$ . Por medio del programa Daylight se determinó que aumentando la reflectancia de paredes a 0,7 y del cieloraso a 0,8 se obtiene un  $F_{d\min}=1,5\%$ , valor aceptable dada la alta luminosidad del cielo en Salto.

### 4. Comportamiento térmico.

Para determinar el comportamiento térmico de la escuela se aplicó el programa QUICK. Los resultados obtenidos de las temperaturas y horarios analizados en un aula tipo se indican en la siguiente tabla:

| Alternativa                  | Invierno |    |       |    | Verano |         |       |    |
|------------------------------|----------|----|-------|----|--------|---------|-------|----|
|                              | tmáx.    | hs | tmin. | hs | tmáx.  | hs      | tmin. | hs |
| Aula tipo NO                 | 22,8     | 16 | 16,3  | 7  | 31,0   | 15 - 16 | 26,2  | 8  |
| Aula tipo SE                 | 20,8     | 16 | 14,9  | 7  | 29,8   | 15 - 16 | 26,2  | 8  |
| Aula tipo NO 1 (ventilación) | 21,8     | 16 | 15,6  | 6  | 28,5   | 16      | 22,8  | 6  |
| Aula tipo NO 2 (calefacción) | 23,4     | 16 | 16,5  | 6  | -      | -       | -     | -  |
| Aula tipo NO 3 (aislación)   | 22,4     | 16 | 16,6  | 6  | 29,9   | 15 - 16 | 26,3  | 8  |

Tabla 4. Comp. térmico, simulado mediante el programa Quick.

Aula tipo NO 1: Ver.: Se aumenta la ventilación nocturna a 10 Rph entre las 21 y las 7 horas, reduciendo la ventilación diurna a 2 Rph durante las horas de clase. Inv.: Es necesario accionar los calefactores y las luces una hora antes del comienzo de clases.

Aula tipo NO 2: Es necesario aumentar entre las 8 y las 12 horas la carga de calefacción a 8 Kw para alcanzar una temperatura de 20 ° C de confort durante toda la jornada de clases.

Aula tipo NO 3: Es necesario incorporar aislación para mejorar el desempeño en invierno.

### 5. Espacios exteriores y relación interior-externo.

El patio interior es de uso secundario y no ofrece expansión a las aulas. El terreno no posee vegetación propia y se desconoce si fue prevista como factor microclimático. La distribución de las funciones favorece las visuales de las aulas al NO. La relación con el espacio exterior, de uso indefinido, se da a través de una sola salida, sin patio común ni expansiones propias de las aulas.

## EVALUACION DEL PROYECTO

| Caso de estudio               | Promedio diario   |
|-------------------------------|---|
| Protección solar estival      | 5 hs Las aulas al SE reciben sol del NO por su aventanamiento superior  |
| Captación solar invernal      | 4,5 hs Debido a que la mitad de las aulas se orientan al SE   |
| Captación de brisa estival    | La compacidad del edificio impide la óptima captación de brisas en sus locales  |
| Protección de viento invernal | No se generan espacios exteriores protegidos con usos definidos   |
| Comportam. térmico            | Pérd. vol. por transmisión: 1,16 W/m <sup>3</sup> K<br>Pérd. vol. por infiltración: 0,861 W/m <sup>3</sup> K<br>G calculado: 2,021 W/m <sup>3</sup> K<br>Consumo anual: 63730,26 Kw/h |
| Relación Interior-Exterior    | No existen espacios intermedios tratados previstos para el desarrollo de actividades.<br>Sólo 50% de las aulas se relacionan con el exterior.   |

Cuadro 1. Resumen de evaluación bioclimática.

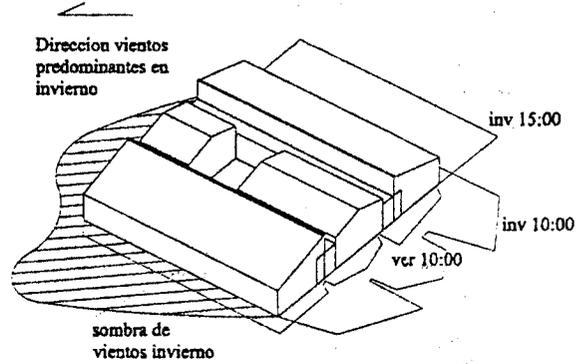


Fig. 2 Caso de estudio. Asoleamiento y viento en espacios exteriores.

Evitar la sobreexposición solar al NO incorporando medios de control: extensión de aleros, vegetación de hojas caducas, etc. Las barreras vegetales pueden además controlar el viento.

## ANALISIS DE VARIANTES DE DISEÑO

Se analizaron diversas morfologías variando compacidad, superficie total, distribución en planta y orientación de las aulas. De los resultados comparativos se tomaron tres casos significativos, con distintos grados de compacidad para observar su relación con las variables bioclimáticas estudiadas.

- Caso 1.** Máxima compacidad. Se elimina una de las circulaciones y el patio de servicio, reduciendo la superficie construida. Asimismo se redistribuyeron las otras funciones, manteniendo la doble orientación de las aulas.
- Caso 2.** Mayor superficie de patio central y redistribución de circulaciones. Todas las aulas se orientan al N con relación directa al patio. El resto de las funciones, con orientaciones menos favorables, conforman un patio.
- Caso 3.** Volumetría abierta. Las aulas se orientan al N y las demás funciones se agrupan en un volumen que vincula los dos bloques lineales de aulas. Se crea un área de acceso y otra de actividades recreativas con expansión de las aulas.

## EVALUACION DE VARIANTES DE DISEÑO

|                              | Caso 1  | Caso 2  | Caso 3  |
|------------------------------|---|---|---|
| Protección solar (verano)    | 7,5hs. Las aulas al SE prácticamente no reciben sol   | 6hs. Todas las aulas se orientan al NO  | 6hs. Todas las aulas se orientan al NO  |
| Captación solar (invierno)   | 3hs. Muy baja debido a la orientación SE del 50% de aulas   | 5,4hs. Buena. Sólo son perturbadas algunas aulas  | 6hs. Muy buena debido a que todas las aulas se orientan al NO   |
| Captación brisas (verano)    | La compacidad del edificio impide la ventilación cruzada  | Las dimensiones del patio no permiten la captación óptima   | La distribución de los locales favorece la ventilación cruzada  |
| Protección viento (invierno) | No se generan espacios exteriores protegidos  | Se generan espacios exteriores protegidos, en particular el patio.  | Los espacios exteriores para recreación se encuentran protegidos  |
| Comportamiento térmico       | Pérd. vol. por transmisión: 0,881 W/m <sup>3</sup> K<br>Pérd. vol. por infiltración: 0,547 W/m <sup>3</sup> K<br>G calculado: 1,428 W/m <sup>3</sup> K<br>Consumo anual: 44394,132 Kw/h | Pérd. vol. por transmisión: 1,348 W/m <sup>3</sup> K<br>Pérd. vol. por infiltración: 0,861 W/m <sup>3</sup> K<br>G calculado: 2,209 W/m <sup>3</sup> K<br>Consumo anual: 69669,382 Kw/h | Pérd. vol. por transmisión: 1,325 W/m <sup>3</sup> K<br>Pérd. vol. por infiltración: 0,861 W/m <sup>3</sup> K<br>G calculado: 2,185 W/m <sup>3</sup> K<br>Consumo anual: 68924,129 Kw/h |
| Relación Interior-Exterior   | No existen espacios intermedios tratados para el desarrollo de actividades. Sólo el 50% de las aulas se abren al espacio exterior   | El patio interior adquiere proporciones adecuadas para el desarrollo de actividades. 100% de las aulas relacionadas con el exterior   | Se crean dos áreas, una de acceso y otra de recreación.<br>100% de las aulas se relacionan con el exterior.   |

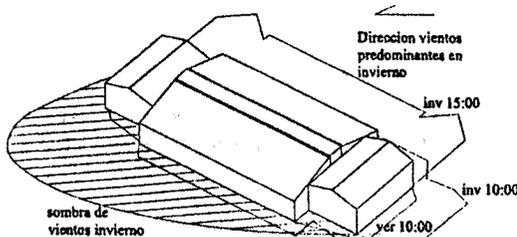


Fig. 3 Caso 1. Asoleamiento y viento en espacios exteriores.

**Caso 1.** Se debería prever una captación solar e iluminación cenital, dado que las aulas orientadas al SE reciben escasa radiación solar. Debido a la reducción del perímetro hay menos pérdidas a través de la envolvente. El comportamiento energético es satisfactorio en detrimento de la falta de ventilación interior y de espacios protegidos (sol en verano, viento en invierno) en el exterior.

**Caso 2.** Permite mejor iluminación y captación solar en todas las aulas. Las mayores dimensiones del patio generan un espacio exterior útil, controlado y habitable en contacto con las funciones desarrolladas en el interior del edificio.

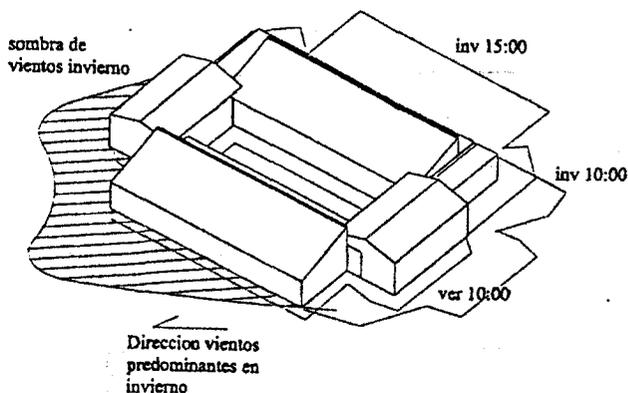


Fig. 4 Caso 2. Asoleamiento y viento en espacios exteriores.

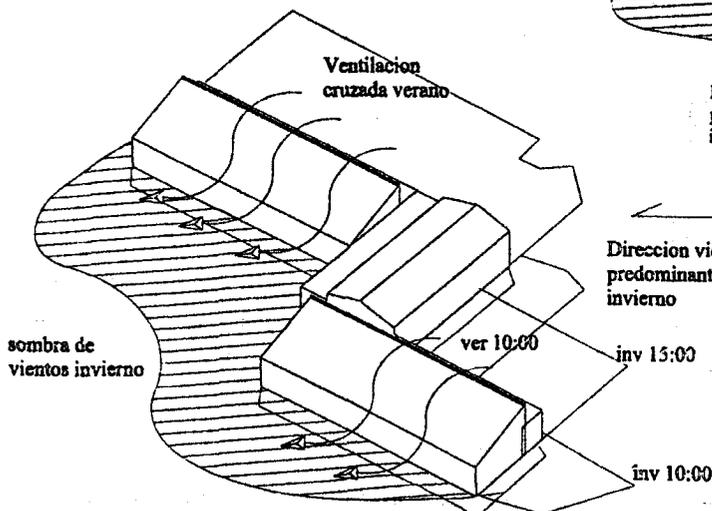


Fig. 5 Caso 3. Asoleamiento y viento en espacios exteriores.

**Caso 3.** Mejora en la relación interior - exterior de ambos bloques de aulas. Se generan dos situaciones de espacios exteriores: una, de acceso, y la otra, para recreación en relación directa con las aulas. La menor compacidad del edificio permite optimizar la ventilación cruzada.

## CONCLUSIONES

Al analizar la eficiencia energética en edificios, se ha observado la necesidad de compatibilizar los resultados del balance energético con los requerimientos funcionales y de confort propios de cada región. Se deberían entonces evaluar en forma conjunta las diversas estrategias y pautas de diseño para lograr condiciones apropiadas en los espacios interiores y exteriores. Se considera que el aporte más importante de este trabajo radica en la instrumentación metodológica que permite compatibilizar el concepto de compacidad edilicia y eficiencia energética con variables bioclimáticas durante la etapa de proyecto, teniendo en cuenta las estrategias de diseño más adecuadas a las características climáticas del emplazamiento.

## ETAPAS FUTURAS

En etapas futuras, está prevista la realización de mediciones en el edificio construido a fin de convalidar los resultados obtenidos con programas de simulación y el diagnóstico resultante de evaluaciones en laboratorio, con el heliodón, túnel de viento y cielo artificial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Evans, J. M. y de Schiller, S. (1991) *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar*, Serie Ediciones Previas, FADU, UBA.  
 Eguía, S. (1995) Confort en climas frío-ventosos. Evaluación de tipologías para conjuntos de viviendas. En *Anais I Encontro Latino-Americano Conforto no Ambiente Construido*, Gramado, Brasil.  
 Sartorio, J., Evans J. M. (1997) Energy efficient design of health facilities in southern Patagonia: Comparative study of building typologies. En *Proceedings of the 14th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Kushiro, Japón.  
 Instituto de Racinalización de Materiales (1997) *Norma IRAM 11604, Acondicionamiento Térmico de Edificios. Ahorro de Energía en Calefacción*. Instituto de Racinalización de Materiales, Buenos Aires.

## NOTA

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación 'Arquitectura sostenible: desarrollo de un sistema de evaluación' con financiación de la SECYT-UBA, y se relaciona con la Beca de Iniciación UBA 'Edificios sustentables: concepto de compacidad arquitectónica y eficiencia energética'