

COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO Y ENERGÉTICO DE LA ESCUELA BIOCLIMÁTICA DE CATRILÓ EN LA PROVINCIA DE LA PAMPA

Filippín C¹, Bescochea, A² y Gorozurreta, J.³

Spinetto 785, 6300 Santa Rosa, La Pampa, Tel Fax 54 952 434222 E-mail: cvigli@ssdnet.com.ar

Ente Promotor: Ministerio de Cultura y Educación de la Provincia de La Pampa

RESUMEN En el presente trabajo se muestran los resultados del comportamiento higrotérmico y energético de la escuela bioclimática de Catrilo, en la provincia de La Pampa, a 36°24' y 63°25' de latitud y longitud, respectivamente. La monitorización se inicia el 24 de abril de 2001. Los registros muestran un buen comportamiento térmico y adecuadas condiciones de bienestar y un ahorro de energía de alrededor del 50% respecto a una escuela de diseño y tecnología convencional. El trabajo permitió validar la metodología de cálculo de pérdidas y ganancias energéticas para tres situaciones particulares.

INTRODUCCION

Valores anuales	Temperatura media máx.	22.7°C
	Temperatura media mín.	7.4°C
	Temperatura media	15.0°C
	Humedad relativa	68%
Temperatura mínima media de Junio		1.2°C
Amplitud térmica de invierno		6.5°C
Temperatura máxima media de Diciembre		29.4°C
Amplitud térmica de verano		8°C
Radiación solar media anual sobre superficie horizontal		16.3 MJ/m ²
Grados-día de calefacción base 18°C		1545
Grados-día de enfriamiento base 23°C		128

Un trabajo anterior mostró el diseño ambiental y la tecnología de un edificio solar construido en la localidad de Catrilo, para albergar las actividades del tercer nivel de la Educación General Básica (Filippín y Bescochea, 1999). Catrilo se ubica en la región Este de la provincia de La Pampa a 36°24' y 63°25' de latitud y longitud, respectivamente. Otro trabajo mostró el seguimiento y la valoración constructiva del edificio (Filippín y Bescochea, 2000). En una síntesis de la caracterización climática del lugar, en la Tabla 1 se observan algunos datos climáticos que corresponden a la Estación

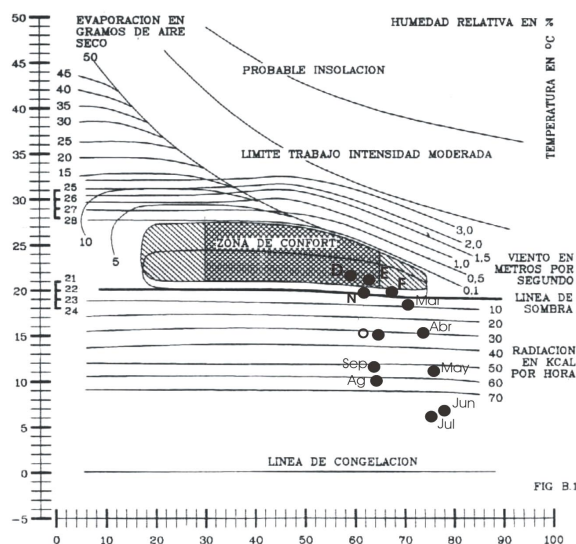


Fig. 1: Bioclimograma de Olgay

Experimental de Anguil, ubicada a 30 km de Catrilo. Para estos datos el bioclimograma de Olgay (1963) aconseja el uso de radiación solar en el 60% de los meses para ingresar a la zona de bienestar (Fig. 1). Para las condiciones higrotérmicas del lugar el bioclimograma de Givoni (1969) indica las estrategias de diseño del edificio para lograr el confort de sus usuarios (Fig. 2). La figura muestra los valores medios de temperatura y humedad relativa, la combinación de temperatura máxima y humedad relativa mínima, y la de temperatura mínima con humedad relativa máxima. El gráfico muestra sólo los valores para marzo, septiembre y diciembre, y mayo, junio y julio, que corresponden al período de monitorización. Mayo, junio y julio, en las tres condiciones de temperatura y humedad, requiere de aporte solar y energía auxiliar para ingresar a la zona de bienestar. Es objetivo del presente trabajo evaluar el comportamiento térmico del edificio, el grado de bienestar de los usuarios y el ahorro de energía respecto a una escuela de diseño y tecnología convencional en la misma localidad. Es objetivo también evaluar las pérdidas y ganancias energéticas reales para tres situaciones diferentes.

¹ Investigadora de CONICET

² Directora de Arquitectura de la Universidad Nacional de La Pampa

³ Técnico

Proyecto parcialmente financiado por la Subsecretaría de Planeamiento Educativo de la provincia de La Pampa

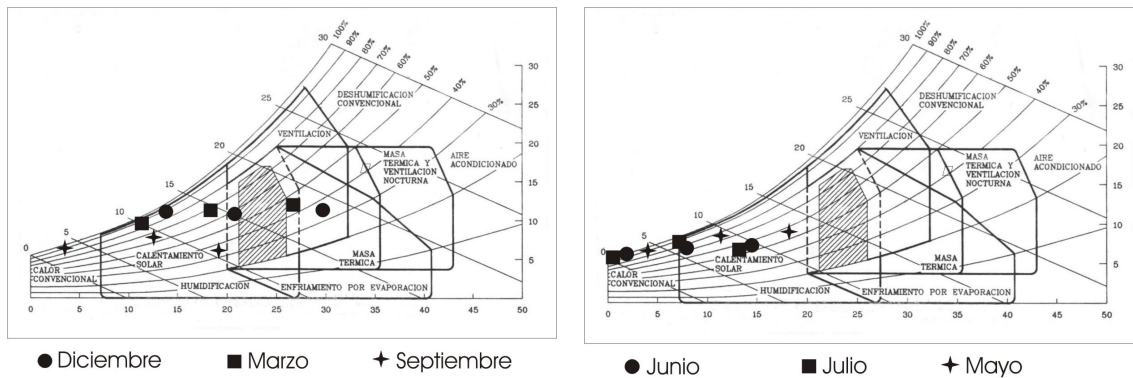
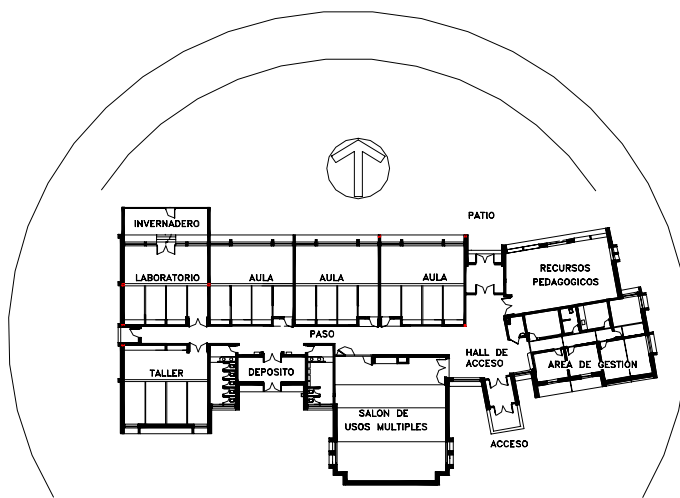


Fig. 2: Bioclimogramas de Givoni

En la Figura 3 se observa la planta del edificio.



Se plantearon como estrategias de diseño:

- una orientación acorde con la captación solar pasiva para calentar e iluminar los espacios
- el uso de masa térmica para captar, acumular y disipar energía en el momento requerido
- diseño y disposición de la ganancia directa que tienda a minimizar la zonificación térmica dentro del edificio
- una envolvente de baja permeabilidad térmica
- protección solar
- refrescamiento pasivo a través de ventilación natural reforzada con aspiradores eólicos y de intercambiadores de calor aire-tierra
- espacios adyacentes al edificio diseñados para atenuar el efecto de

la temperatura sol-aire

MONITOREO DEL EDIFICIO

El edificio fue inaugurado en marzo de 2001 y el 24 de abril se inicia la monitorización higrotérmica y energética. En ella participan docentes y alumnos como parte de un Proyecto Educativo Institucional. El edificio cuenta con una estación meteorológica 'Davis' ubicada en la cubierta del edificio. Los datos son archivados pero además son registrados manualmente y en forma horaria por los alumnos. Para medir la temperatura y humedad dentro del edificio se usaron sensores tipo HOBO que se ubican en todos los locales excepto el salón de usos múltiples y servicios. Para evaluar la zonificación térmica de cada área funcional se colocaron dos hobs por espacio en sentido Norte-Sur. Otra línea de sensores se ubican según un corte transversal que parte desde el invernadero, al Norte hacia el taller de tecnología al Sur (Fig. 4). Diariamente se tomó el estado del medidor de gas natural y energía eléctrica. Con el fin de comparar el edificio solar con una escuela de construcción convencional se colocaron termómetros de máxima y mínima en diferentes áreas cuya lectura diaria fue realizada por brigadas de alumnos, que además registraron el gas natural y la energía eléctrica consumida.

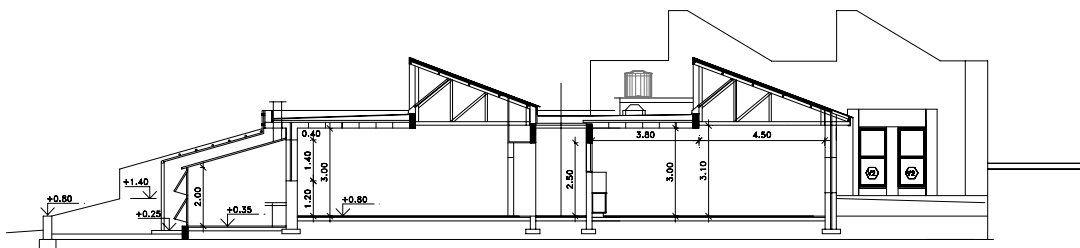


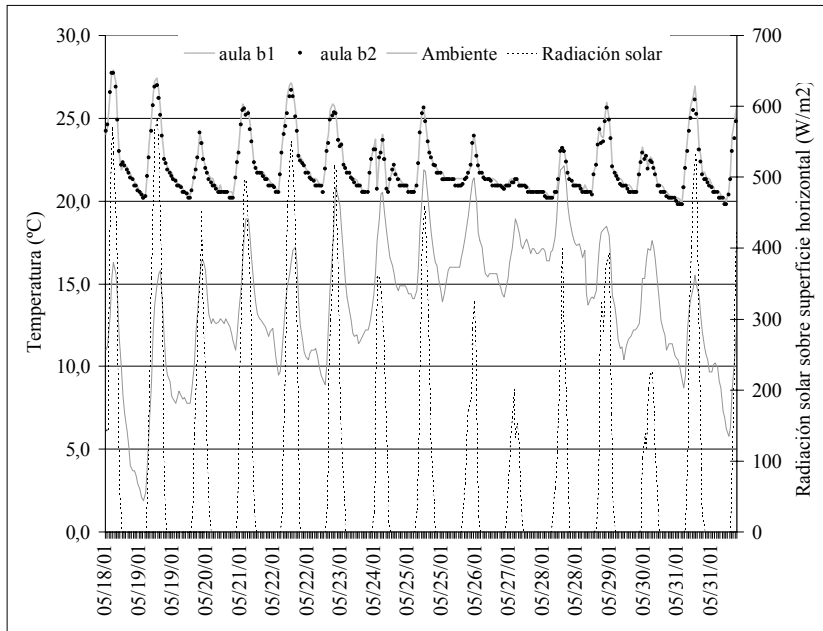
Fig. 4: Corte por el invernadero, laboratorio, paso y taller.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

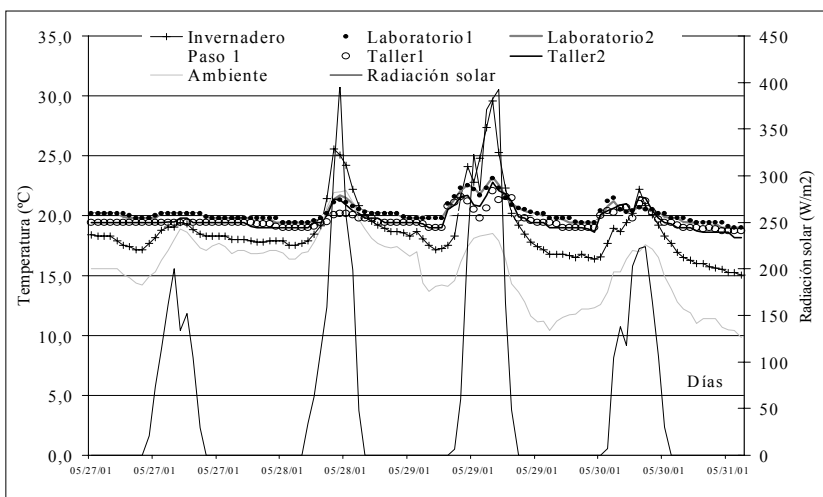
Caracterización climática para el período en estudio

La temperatura media mensual de abril estuvo por debajo de los valores históricos. El comportamiento de este parámetro tuvo una relevante irregularidad a lo largo de las tres décadas. La segunda se presentó más caliente que lo normal. La tercera década se caracterizó por la presencia de importantes masas de aire frío provenientes del sudsudoeste con un descenso térmico nocturno importante. La temperatura máxima media de abril fue inferior a la media histórica en algo más de 2.0°C con períodos diurnos más frescos que lo normal. La humedad relativa del aire fue ligeramente superior al promedio con precipitaciones que estuvieron por encima de lo normal. Para el mes de mayo la temperatura del aire mostró una importante variabilidad con dos períodos térmicos más frescos que lo normal y otro mucho más caliente que lo esperado. A esta variabilidad se asoció el sol que alternó su presencia con la de varios días neblinosos. Durante la tercera década se produjo la entrada desde el sector N-NE de una importante masa de aire cálido que define a estos días como los más calientes de los últimos treinta años. La temperatura máxima media del mes estuvo por debajo de lo normal. La humedad relativa del aire acusó valores algo superiores al promedio como resultado fundamentalmente de la importante cantidad de días con niebla y/o neblina. Los diez primeros días del mes de junio fueron los más cálidos mientras que la segunda década marcó el comienzo de la entrada de masas de aire frío provenientes del sur asociada a una sucesión de días nublados. La tercera década se caracterizó por las bajas temperaturas pero la buena radiación permitió elevar la temperatura (Casagrande y Vergara, 2001).

Comportamiento térmico interior.



De todos los resultados se extraen algunos como los más representativos por razones de espacio. La Figura 5 muestra los registros de temperatura del aula intermedia desde el 18 de mayo y el 1 de junio, período que corresponde al ingreso de una importante masa de aire caliente proveniente del NNE, motivo por el cual el edificio no necesitó de energía auxiliar. Se incluyen en la figura los datos de los dos sensores. La diferencia entre el área cercana a la ventana baja y el área bajo influencia de la ventana alta, ubicada en el quiebre de techo, es mínima con un valor que no supera los 0.20°C.



Para el mismo período no se observa zonificación térmica en el corte transversal por el invernadero y el taller (Fig. 6). Los registros muestran la interacción del invernadero con el ambiente y su respuesta térmica a la disminución de la temperatura y de la radiación solar el 30 de mayo. El 27 de mayo todos los locales mantienen una temperatura de 20 °C con escasa radiación solar y ausencia de cargas internas. El día lunes las cargas



internas y la radiación solar provocan el ascenso de la temperatura que se acentúa en el invernadero. La incorporación de ventanas entre el invernadero y el laboratorio, y entre éste y la circulación, optimiza el acoplamiento térmico entre los distintos locales minimizando la zonificación térmica, aspecto que fue observado y considerado inapropiado por los usuarios en edificios solares anteriores (Filippín y de La Mata, 1995). Los mismos acontecimientos se repiten entre circulación y el taller de tecnología (Fig 7). En una evaluación de la interacción del edificio con el ambiente externo se observa que durante el periodo, y a pesar de anomalías térmicas de mayo como resultado de la permanencia de vientos calientes del NNE, el edificio se mantiene en situación de confort con algunas horas al mediodía solar donde la temperatura trepa a 27°C en coincidencia con el horario de apertura de ventanas para limpiar y ventilar el edificio entre turno mañana y tarde.

Fig. 7: Acoplamiento entre áreas pedagógicas y circulación

Energía para calefactar los espacios

Tabla 2: Consumo de gas natural para calefactar los espacios

Período	Escuela bioclimática					Escuela convencional				
	Consumo de gas natural					Consumo de gas natural				
	Registro		Diferencia entre periodos			Registro		Diferencia entre periodos		
	m ³	MJ	kWh	MJ	kWh	m ³	GJ	kWh	MJ	KWh
24/04/2001	28.46	1062	295	14681	4081	36945.50	1378	383103	22739	6321
18/05/2001	422.06	15743	4376			37555.12	1401	389424		
1/06/2001	560.55	20908	5812	5166	1436	38063.40	1420	394695	18959	5271
15/06/2001	776.58	28966	8053	8058	2240	38681.00	1443	401099	23036	6404
29/06/2001	1496.3	55812	15516	26846	7463	40048.82	1494	415282	51020	14184

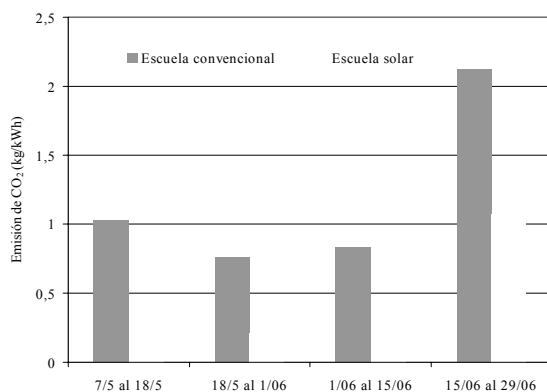


Fig.8 : Emisiones de CO₂ por kWh consumido

de 4°C. Con el fin de integrar el comportamiento térmico y energético se analizan los registros de temperatura del día 20 de junio que alcanzó una máxima y mínima exterior de 9.4 y -2.0°C, respectivamente. El área funcional 'aula' de la escuela solar alcanzó una temperatura máxima de 26.3 y una temperatura mínima 21.3 °C con una amplitud térmica de 5°C. Para el mismo día la temperatura promedio de las aulas de la escuela convencional trepó a 31°C y descendió a 6°C con una amplitud térmica de 25°C. Para este comportamiento térmico la escuela solar consumió 0.05 m³/m² y la escuela de construcción tradicional 0,11m³/m². Estos valores estarían indicando un fuerte ahorro de energía de la escuela solar. Para esta situación la Figura 8 muestra la reducción de las emisiones de CO₂.

Pérdidas y ganancias energéticas

Se calculan las pérdidas y ganancias energéticas del aula intermedia para tres situaciones particulares con el fin de verificar la metodología de cálculo de la energía auxiliar. Se realiza el balance para el día 31 de mayo considerando el aporte solar y las ganancias internas, día en el que no se encendió la calefacción. Igual metodología se aplica para el 20 de junio caracterizado por las bajas temperaturas externas y en el que se contemplan las ganancias internas, el aporte solar y la energía auxiliar. Para el 11 de julio, ya en período de receso, con un clima exterior más riguroso sólo se considera en el balance el aporte solar como ganancia (Tabla 3, 4 y 5). Para calcular el aporte solar se reduce el área de diseño en un 20% por efecto del marco y un porcentaje por efecto de aleros según el mes. En la Tabla 6 se

observan los resultados del balance. Para el día 11 de julio, sin ganancias internas y sin calefacción auxiliar, el resultado muestra una aproximación del 99% en las pérdidas y ganancias. El día 20 de junio el aula es ocupada por 18 alumnos durante 4.8 horas con un aporte de 52.8 MJ adoptando una dispersión metabólica de 180 W (Bedoya Frutos y Gonzalez, 1992). Se estima el aporte de 12 luminarias de 2 tubos de 36 W durante 2 horas con un 80% de generación de calor, valor que asciende a 4.9MJ (Westinghouse, 1989). Según el informe del personal se consideran el aporte de 2 radiadores de 2580 kcal y 1 radiador de 2150 kcal durante 1.30horas. Para el día 31 de mayo se considera el aporte de 17 alumnos e igual carga por iluminación. Para ambos días las pérdidas y ganancias se aproximan

Tabla 3: Indicadores ambientales

Día	Radiación solar sobre superficie horizontal (MJ/m ²)	Radiación solar sobre superficie vertical (MJ/m ²)		Temperatura media (°C)				
		90	150	ambiente	aula			paso
					intermedia	derecha	izquierda	
31/05	9.9	16.04	6.7	11.6	22.2	22.2	21.8	20.3
20/06	8.4	12.8	5.8	3.2	23.2	22.7	22.6	20.8
11/07	10.7	18.8	7.4	4.08	20.4	19.8	20.3	18.4

Tabla 4: Cálculo de pérdidas energéticas

Descripción	Pérdidas por transmisión			31/05		20/06		11/07	
	Up*Sp	W/°C	MJ/d°C	delta	MJ	delta	MJ	delta	MJ
Pared lindera a espacio calefaccionado (aula a)	2.3 *27.2	62.56	5.4	0.4	2.16	0.6	3.24	0.1	0.54
Pared lindera a espacio calefaccionado (aula c)	2.3 *27.2	65.56	5.4	0		0.5	2.7	0.6	3.24
Pérdida por fundación	0.55*8/1+0.55	2.839	0.24	10.6	2.54	20	4.8	16.3	3.91
Pared lindera a paso	2.3*17.12	39.38	3.40	1.9	6.46	2.4	8.16	2	6.8
Pared exterior con aislación	0.476*13.6	6.47	0.56	10.6	5.94	20	11.2	16.3	9.12
Pared exterior sin aislación	1.69*4	6.76	0.58	10.6	6.15	20	11.6	16.3	9.45
Cubierta plana	0.19*28.80	5.47	0.47	10.6	4.98	20	9.4	16.3	7.661
Cubierta inclinada	0.50*24	12	1.04	10.6	11.02	20	20.8	16.3	16.95
Ventana a paso	3.6*2.56	9.216	0.80	1.9	1.52	2.4	1.92	2	1.60
Ventana a paso	5.2*0.70	3.64	0.31	1.9	0.59	2.4	0.744	2	0.62
Ventanas bajas al exterior	3.6*8.32	29.95	2.59	10.6	27.45	20	51.8	16.3	42.21
Ventanas altas al exterior	3.6*10.24	36.86	3.18	10.6	33.71	20	63.6	16.3	51.83
Puerta a paso	5.6*2	11.2	0.97	1.9	1.84	2.4	2.328	2	1.94
Renovaciones	1.2*RH*167m ³ *24 (kJ)			RH=7	33.6	RH=4	19.3	RH=0.5	2.4
Pérdidas totales					138		211.6		158.3

Referencias: U=coeficiente global de transmisión térmica (W/m²°C), S= superficie de cada elemento (m²), RH=renovaciones de aire, 1.2=densidad del aire a 20°C y presión del lugar.

Tabla 5: Aportes solares

Día	Area transparente colector de diseño (m ²)	Area efectiva * (m ²)	Radiación solar sobre superficie vertical según modelo Lui Jordan (MJ/m ²)	Transmisión (%)	Aporte solar (MJ/día)	Aporte solar total (MJ/día)
31/05	6.4	2.56	16.04	0.75	30.8	82.4
	4.8	3.84	16.04	0.60	36.9	
	12.6	4.00	6.7	0.55	14.7	
20/06	6.4	5.12	12.8	0.75	49.1	110.7
	4.8	3.84	12.8	0.60	29.5	
	12.6	10.08	5.8	0.55	32.1	
11/07	6.4	5.12	18.8	0.75	72.2	156.5
	4.8	3.84	18.8	0.60	43.3	
	12.6	10.08	7.4	0.55	41.02	

* se reduce el área de diseño por marcos y efecto de aleros

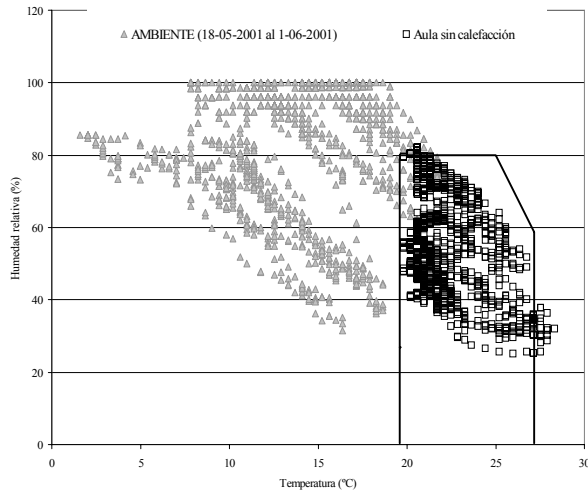
Tabla 6 : Balance energético

Día	Pérdidas (MJ/día)	Ganancias (MJ/día)			
		Q _s	Q _i	Q _h	Q _{total}
31/05	138.0	82.4	57.7	0	140.1
20/06	211.6	110.7	60.9	42.9	214.5
11/07	158.3	156.5			156.5

Bienestar

En la Figura 9 se muestra el diagrama de confort. Se observa para el periodo comprendido entre el 18/05 y el 1/06/2001 sin calefacción auxiliar la corrección de las condiciones ambientales a través del diseño y la tecnología del edificio. Comparada la situación real con el bioclimograma de Givoni se observa que no habría una correspondencia entre las correcciones para valores medios y los valores horarios de este periodo en particular,

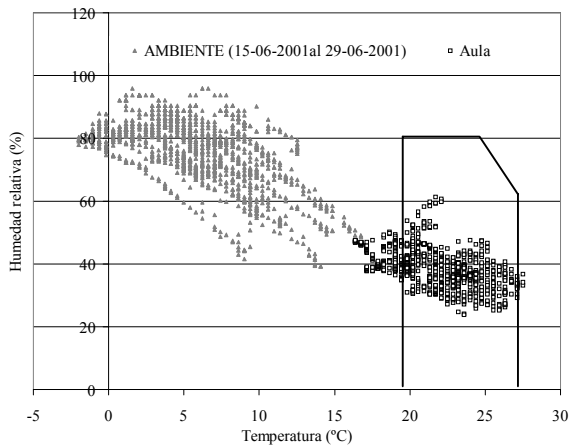
caracterizado por una anomalía térmica determinada por el ingreso de una masa de aire caliente. El bioclimograma



de Givoni sugería para valores mínimos medios de temperatura en mayo el uso de calefacción convencional. Es posible que en este período, además de la prescindencia total de calefacción, se hubiera requerido optimizar el manejo de la ventilación y además adecuar los horarios de la misma a las condiciones ambientales. Para el mes de junio para valores medios de temperatura y humedad relativa el bioclimograma de Givoni indica complementar el calentamiento solar con calefacción convencional para ingresar a la zona de bienestar. Para este mismo período, caracterizado por el comienzo de la entrada de aire muy frío, y para los días comprendidos entre el 15 y el 29 de junio, se observa que los registros horarios de la temperatura exterior alcanzó valores inferiores a 0°C. Para esta situación las estrategias de diseño y la tecnología implementada en las aulas permitieron ingresar en la zona de bienestar con un ahorro de energía para calefaccionar los espacios de alrededor del 50% respecto a la escuela de tecnología y diseño convencional analizada (Figura 10).

CONCLUSIONES

El trabajo permitió: * cuantificar el ahorro de energía para calefaccionar los espacios manteniendo las condiciones de bienestar, * comparar para las mismas condiciones climáticas, el edificio de construcción convencional y el solar. El primero mostró una gran amplitud térmica con una temperatura máxima que superó los 30 °C y un 50 % más de gas natural consumido. El mismo día la escuela solar mostró escasa fluctuación en la evolución diaria de la temperatura., * mostrar la respuesta térmica del edificio frente a anomalías térmicas externas, * validar la metodología de cálculo de pérdidas y ganancias energéticas, * coordinar con el personal de maestranza horarios y métodos de limpieza para minimizar la apertura de ventanas en horas inapropiadas fundamentalmente en períodos cálidos.



REFERENCIAS

- Bedoya Frutos, C. y Gonzalez, J., 1992, Las técnicas de acondicionamiento ambiental: Fundamentos arquitectónicos, Depto. de construcción y tecnología arquitectónicas, Univ.Politécnica de Madrid.
 Casagrande y Vergara, 2001. Informe meteorológico, Mayo, Junio y Julio, Diario La Arena
 Filippin, C. y Beascochea, A., 1999, Escuela solar pasiva para la provincia de La Pampa en el marco de la nueva Ley Federal de Educación. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.3 N°1, 05.01-0.5.04.
 Filippin, C. y Beascochea, 2000, Seguimiento y valoración de la construcción de la escuela solar pasiva de Catriló en la provincia de La Pampa, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.4, N°1, 05.93-05.98.
 Givoni, B., 1969, Man, Climate and Architecture, Elsevier Publishing Company Limited, England.
 Olgyay, V., 1963, Design with climate, Princeton University Press, New Jersey.
 Westinghouse, 1989, Manual del alumbrado, Dossat S.A.

ENERGY AND HIGROTHERMAL BEHAVIOUR OF A BIOCLIMATIC SCHOOL IN THE CENTRAL PAMPAS OF ARGENTINA

An analysis of the energy and higrothermal behaviour of a bioclimatic school located in the location of Catriló (36.24°, 63.25° of latitude and longitude), in the central pampas of Argentina. The monitoring process began on April 24, 2001. Monitoring records show that the energy and higrothermal conditions are appropriate for dwellers comfort, and the saving of energy with respect to a conventional school design amounts 50 %. The method to estimate and predict energy gains and losses was validated for three different environmental conditions.