

## IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN UNA ESCUELA SOLAR EN ARGENTINA

María Pía Mazzocco<sup>1</sup>, Celina Filippin<sup>2</sup>, Silvana Flores Larsen<sup>3</sup>

1- PMA Arquitectura, Córdoba, Argentina. Tel: 54-9351-6509685, E-mail: [pia@pmarq.com.ar](mailto:pia@pmarq.com.ar)

2- CONICET. Av. Spinetto 785 (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina, Tel./Fax: 54-952-434222, E-mail: [cfilippin@cpenet.com.ar](mailto:cfilippin@cpenet.com.ar)

3- Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Universidad Nacional de Salta - CONICET, Avenida Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina. E-mail: [seflores@unsa.edu.ar](mailto:seflores@unsa.edu.ar)

*Recibido: 30-03-17; Aceptado:30-06-17.*

**RESUMEN.-** Se presenta en este trabajo el estudio de comportamiento energético futuro, para el año 2039, de una escuela solar construida en La Pampa en 1994 y monitoreada experimentalmente, en un clima templado frío de alta irradiancia solar, y su relocalización en un clima templado cálido (Córdoba). Los resultados del modelo climático hacia 2039 muestran una tendencia a la disminución de las temperaturas máximas y un aumento de las temperaturas mínimas en ambas localizaciones. La simulación de la escuela muestra que, para la misma tecnología e igual área de ganancia solar directa, hacia 2039 habría una reducción de la energía requerida para mantener la situación de confort. Según la simulación la reducción de la demanda de gas natural sería del 42,6%, en concordancia con las predicciones de aumento de la temperatura mínima. Para el edificio re- localizado se observa una reducción en la demanda de calefacción del 148,5% por diferencia de clima y, de nuevo, una disminución del 14,6% en 2039 respecto a la demanda en condiciones climáticas típicas de la ciudad por aumento de la temperatura media mínima según el análisis estadístico.

**Palabras clave:** eficiencia energética – simulación energética – cambio climático.

## POTENTIAL IMPACT OF CLIMATE CHANGE IN A SOLAR SCHOOL IN ARGENTINA

**ABSTRACT.-** In this paper, the study of energy behavior towards 2039 of a solar school built in 1994 in a cold temperate climate of maximum irradiance (La Pampa province) is presented. The school was monitored and, by thermal simulation, it was relocated in a warm temperate climate (province of Córdoba). The results of the climatic model for 2039 show a decrease of the maximum temperatures and an increase of the minimum ones, in both locations. According to the simulation for the year 2039, the reduction of natural gas demand would be of around 42.6%, in agreement with the predictions of increase of the minimum temperature. For the re-located building, there is a reduction in the demand for heating of 148.5% by difference in climate and, again, a decrease of 14.6% in 2039 compared to the demand in typical climatic conditions of the city by increase of the minimum average temperature according to the statistical analysis.

**Keywords:** energy efficiency - energy simulation - climate change

### 1. INTRODUCCIÓN

El clima global está experimentando un cambio consistente e inevitable, a pesar de los esfuerzos por reducir las emisiones de gases a la atmósfera (IPCC, 2007), lo cual ha sido claramente documentado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. Es por esta razón que diferentes disciplinas como la meteorología, la estadística, la matemática, la economía, la agronomía, entre otras; se agrupan para tratar de predecir cambios, definir los sectores más vulnerables y diseñar estrategias de adaptación al cambio climático.

Los resultados de diferentes estudios para la región pampeana argentina (Miralles y García, 2014) predicen que habrá un aumento de 5°C en la temperatura global media para el año 2100 y que estos aumentos serán dos veces más rápidos en los continentes que en el mar (El cambio climático en Argentina, 2009). El aumento de la temperatura ambiente y la mayor frecuencia de las olas de calor tienen una importante incidencia en el entorno construido y aumentan la vulnerabilidad de la población local. La Segunda y Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático informa que, durante el siglo XX, se observó en el centro de Argentina un incremento de medio grado en la temperatura media. Las predicciones para 2020-2030 indican que la temperatura media del aire aumentará alrededor 0.7-1°C (escenario A2 del Panel

Intergubernamental sobre el Cambio Climático), que las temperaturas mínimas en invierno se incrementarán en 2.7°C y que aumentarán las olas de calor extremo en verano.

Por otro lado según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010), los efectos del cambio climático en la salud estarán muy localizados, y en cada país y en cada región habrá diferentes perfiles de riesgo. En ese sentido, es importante llevar a cabo una evaluación integral de la vulnerabilidad y el riesgo futuro en cada contexto nacional. Las ciudades y los asentamientos humanos son vulnerables frente a los efectos adversos del cambio climático en la salud. La predicción del impacto es muy compleja, debido a la interacción muchas variables, como por ejemplo las características físicas de las ciudades y los asentamientos y sus precursores (por ejemplo, los determinantes sociales). La contaminación del aire en interiores por el uso de combustibles sólidos es un conocido factor de riesgo causante de neumonía y otras infecciones agudas del tracto respiratorio (PNUMA, OMS, 2010).

La falta de consideración de todas las cuestiones del entorno construido (el consumo de energía de los edificios, la pobreza energética y el cambio climático local) de manera integrada y holística puede resultar inevitablemente en un mayor consumo de energía y discrepancias sociales (Santamouris, 2016).

Una mayor temperatura ambiente aumenta la demanda de energía y la carga eléctrica máxima para refrigeración del edificio, afecta el confort térmico interior y exterior, aumenta la concentración de contaminantes, afecta a la salud humana y aumenta la huella ecológica de las zonas urbanas (Santamouris, 2016). La sostenibilidad del entorno construido depende de su adaptación al clima futuro. Con la ayuda de modelos climáticos dinámicos es posible evaluar el desempeño futuro de los edificios utilizando diferentes conjuntos de datos meteorológicos (Nik *et al.*, 2015).

Los programas de simulación energética para edificios se aplican generalmente en los nuevos edificios para la evaluación del cumplimiento de normas y como herramientas de diseño. Además, la simulación se utiliza cada vez más en la fase operativa, para el monitoreo y la verificación o la evaluación del desempeño mediante simulación calibrada. Las simulaciones de edificios existentes pueden calibrarse para proporcionar mayor confianza en sus resultados. Esto puede validar la metodología de simulación energética utilizada o puede servir para desarrollar modelos altamente confiables para evaluar y optimizar el funcionamiento y la adaptación de edificios (Borgstein *et al.*, 2016). Royapoor y Roskilly (2015) proponen en su trabajo un conjunto de recomendaciones para desarrollar el método según ASHRAE en la calibración de modelos energéticos de edificios.

En este contexto, los objetivos del presente trabajo son: la simulación del comportamiento energético, considerando una banda de confort hacia el 2039, de una escuela solar construida en 1994 en Algarrobo del Águila (clima templado frío de alta irradiancia); y su relocalización en Córdoba (clima templado cálido). Para ello se plantearon las siguientes etapas:

- Analizar estadísticamente las condiciones climáticas hacia 2039 de dos localizaciones geográficas en climas diferentes (Algarrobo del Águila y Córdoba).
- Analizar estadísticamente el consumo real de energía de la escuela solar en estudio, para el periodo 1995-2016 (electricidad y gas natural).
- Simular y calibrar el comportamiento térmico y energético de la escuela en períodos representativos.
- Evaluar el impacto potencial del cambio climático (CC) en la performance energética de la escuela, para ambos climas.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Consideraciones ambientales y climáticas.

Algarrobo del Águila está ubicada hacia el Noroeste de la provincia de La Pampa. De acuerdo a la clasificación fitogeográfica, que divide al país en ecorregiones según características de la geología, clima, suelos, hidrología, flora y fauna, Algarrobo del Águila corresponde a la región del *monte de llanuras y mesetas*. Prevalecen paisajes de llanuras y extensas mesetas escalonadas, que se distribuyen discontinuamente. El clima es templado-árido con escasas precipitaciones, de alrededor de los 100 mm y ocasionalmente hasta 200mm. Según la Norma IRAM 11603 (1996), Algarrobo del Águila pertenece a la zona bioambiental IVb de alta irradiancia (figura 1).

Córdoba se encuentra en la zona central del país en la región del espinal, eco-región de la llanura Chaco-Pampeana. El paisaje predominante es de llanura plana a suavemente ondulada, ocupada por bosques bajos, sabanas y pastizales (hoy convertidos en gran parte a la agricultura). El clima es, en razón de la extensión de la región, extremadamente variable: *cálido y húmedo* en el norte, y *templado y seco* con marcados déficit hídricos en el oeste y sur (Cabrera, 1976). Según la Norma IRAM 11603 (1996), Córdoba pertenece a la zona bioambiental IIIa (figura 1).



Fig. 1. Ecorregiones y zonas bio-ambientales de Argentina

La tabla 1 muestra los datos climáticos para ambas localidades, en donde se observa que el clima de Córdoba es más cálido tanto. Se observa además que la irradiancia solar media anual sobre superficie horizontal en Córdoba es 2.2 MJ/m<sup>2</sup> menor que en Algarrobo del Águila. Los valores de ambas localizaciones son similares en julio (invierno), mientras que en marzo (otoño) Córdoba registra valores más bajos (3.3 MJ/m<sup>2</sup> menos que en Algarrobo).

La demanda de energía de calefacción y refrigeración de un edificio está relacionada con los grados día de Calefacción ( $GD_{cal}$ ) y los grados día de enfriamiento ( $GD_{enf}$ ). Cuando se desconocen los valores diarios de temperatura, el GD se define como la suma de las diferencias de temperatura entre la temperatura base de diseño y la temperatura media mensual cuando la temperatura media del mes es inferior a la temperatura de base dentro del período. Para calcular GD, este valor se multiplica por el número de días en el mes seleccionado (Norma IRAM 11549: 2002). La norma argentina utiliza tres temperaturas de base para calcular los GD: 18, 20 y 22°C. Para verano, se definen los  $GD_{enf}$  como el promedio de la diferencia entre la temperatura máxima promedio y la temperatura de diseño base para enfriamiento por el número de días del mes seleccionado.

Las temperaturas de diseño son variables, dependiendo de la temperatura media del aire exterior (Norma IRAM 11659-1: 2004). Por esta razón, las temperaturas de diseño de invierno y verano son diferentes. Así, la temperatura de diseño es más rigurosa en invierno para la zona IVb (-7.5°C) y más rigurosa en verano para la zona IIIa (36.6°C). La estimación de los GD (ver Tabla 1) indica que GD anuales de calefacción (base 20°C) y enfriamiento (base 25°C) para Córdoba son un 28 y un 23% más bajos, respectivamente que para Algarrobo del Águila.

De acuerdo a la metodología usada en Filippín *et al.*, (2016) y debido a la naturaleza retrospectiva del análisis del consumo energético para un período de 23 años (1995-2016), fue necesario utilizar a fuentes secundarias con el fin de obtener los datos meteorológicos para los distintos años de las zonas seleccionadas para este estudio. Se recurrió a información disponible en la base de datos climática nacional 3CN provista por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Esta consiste en un amplio reservorio de datos, observados y simulados por los modelos climáticos, sobre diferentes variables climáticas de la Argentina República para el clima presente y futuro. Incluye datos observados grillados y datos simulados de varios modelos climáticos. La base de datos permite generar archivos de datos (en SIG, metadatos o formatos de texto) al seleccionar el sitio a través de un punto de la cuadrícula, el período objeto de estudio (1960-2010, 2015- 2039, 2075-2099), las variables de interés (temperaturas máximas, medias y mínimas, precipitaciones e índices climáticos) y la frecuencia (diaria, mensual, anual). En este artículo, hemos generado los registros mensuales de temperatura para las localidades de Algarrobo del Águila (La Pampa) y Córdoba (Córdoba) para los períodos 1994-2010 y 2015-2016 a través de este reservorio.

Tabla 1. Datos climático de Servicio Meteorológico Nacional.

	Anual		Julio		Marzo		
	Algarrobo del Águila <sup>1</sup>	Córdoba	Algarrobo del Águila	Córdoba	Algarrobo del Águila	Córdoba	
<b>Temperatura (°C)</b>	Máx. media	24.3	25.1	15.3	18.8	29.4	27.5
	Mín. media	6.7	11.9	-0.6	5.5	11.1	12.1
	Media	15.6	17.9	6.9	11.5	20.5	20.7
<b>Irradiación solar global media sobre superficie horizontal (MJ/m<sup>2</sup>)</b>	18.8	16.6	9.1	9.7	20.4	17.1	
<b>Humedad relativa (%)</b>	48	62	63	63	50	69	
<b>GD Grados día de calef. (T<sub>b</sub>=20°C)</b>	2205	1583	446	351	18.6	21.7	
<b>GD Grados día de enfr. (T<sub>b</sub>=25°C)</b>	454	349			39	17	
<b>Amplitud térmica (°C)</b>	17.6	13.2	8.4	7.3	10.3	15.4	
<b>Velocidad media del viento (km/h)</b>	8	6	7	5	8	5	
<b>Temperatura de diseño de invierno:</b> Algarrobo del Águila = -7.5°C; Córdoba = -4.3 °C							
<b>Temperatura de diseño de verano:</b> Algarrobo del Águila = 34.1°C; Córdoba = 36.6 °C							

(1) Datos para la localidad de Santa Isabel, asentamiento cerca de Algarrobo del Águila.

Para el primer periodo, 1994-2010, los datos fueron obtenidos a partir de reconstrucciones históricas desarrolladas por la Unidad de Investigación Climática de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad del Este de Anglia, Reino Unido (Base de datos CRU TS 3.21, Harris *et al.*, 2013). En el segundo período que sólo incluyó dos años, 2015-2016, los datos fueron generados por la simulación del modelo climático global CMIP5 (Coupled Modelo intercomparación Phase 5). CMIP5 es el protocolo experimental estándar para el estudio de modelos de circulación acoplada atmósfera-océano, según lo establecido por el Working Group on Coupled Modelling (WGCM) en el marco del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC, 2016). Este modelo describe dos

escenarios de concentración representativos, RCP4.5 y RCP8.5 aprobado por el IPCC en su Quinto Informe (AR4) (2014), proporcionando estimaciones de la temperatura futura en un contexto de cambio climático. Las simulaciones utilizadas en este estudio provinieron del escenario de RCP4.5 (MRI-CGCM3\_rcp45\_FC\_MM, Taylor *et al.*, 2009) referente a un escenario con concentraciones específicas consistentes con esfuerzos de mitigación emisiones medio.

Por último, fue necesario estimar el período de datos faltante (2011-2014) que no está cubierto por el reservorio 3CN. Para ello, se realizaron regresiones lineales simples entre las temperaturas máxima, media y mínima (variable dependiente) y el tiempo (variable independiente) a través

del método de “mínimos cuadrados” durante el periodo con acceso disponibilidad de datos. Una vez obtenidas las ecuaciones resultantes de dichas regresiones ( $Y = a + b X$ ), se estimaron los valores de temperatura ( $\hat{Y}$ ), reemplazando el término independiente por cada uno de los años faltantes de la serie histórica analizada.

2.2. Caso de estudio: diseño y tecnología y consumo de energía.

La escuela solar en estudio fue diseñada para Algarrobo del Águila, incorporando criterios de eficiencia energética. que tuvieron como objetivos: 1) mejorar las condiciones de vida y de trabajo de los estudiantes y profesores; 2) reducir el consumo de energía convencional; 3) mejorar el rendimiento energético del edificio mediante un uso racional de los dispositivos (Filippín *et al.*, 1993). El diseño incluyó acumulación de calor, calentamiento solar pasivo mediante

ganancia directa, ventilación natural e iluminación natural. El proyecto se desarrolló en un esquema rectangular compacto de ocho módulos (7.2 m x 6.2 m), con un área total de 357 m<sup>2</sup>, un índice de compacidad (Ic) del 80% y un volumen de 959 m<sup>3</sup> (ver Figura 2 y Tabla 2). La ganancia solar directa en la oficina y la sala de recursos pedagógicos se obtiene a través de ventanas norte con cristal fijo para evitar dispositivos mecánicos, pérdidas de infiltración y problemas de mantenimiento (Figura 3). Todas las ventanas son de madera con policarbonato para mejorar su resistencia térmica. Las aberturas de las aulas posibilitan visuales hacia el exterior y ventilación cruzada. La superficie Norte para la ganancia solar directa es el 11% del área útil.

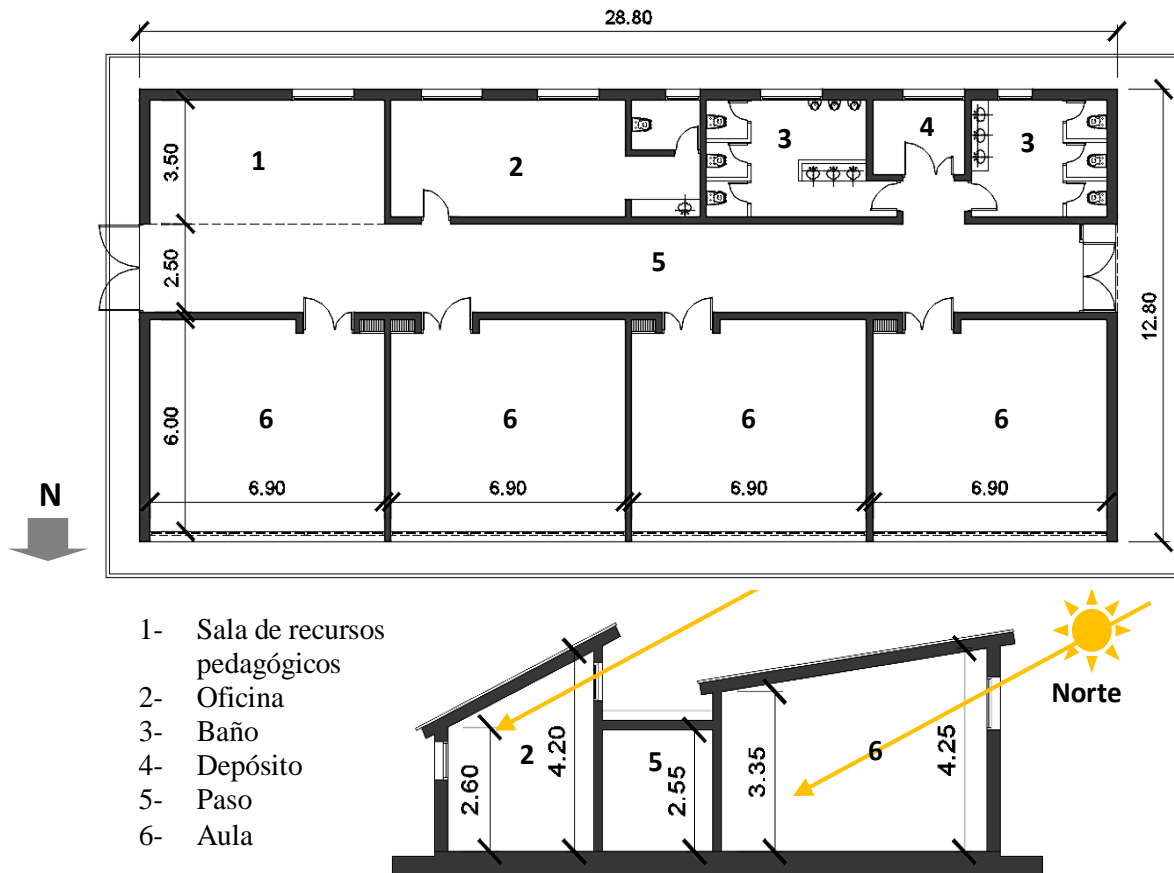


Fig. 2. Planta y corte del edificio.

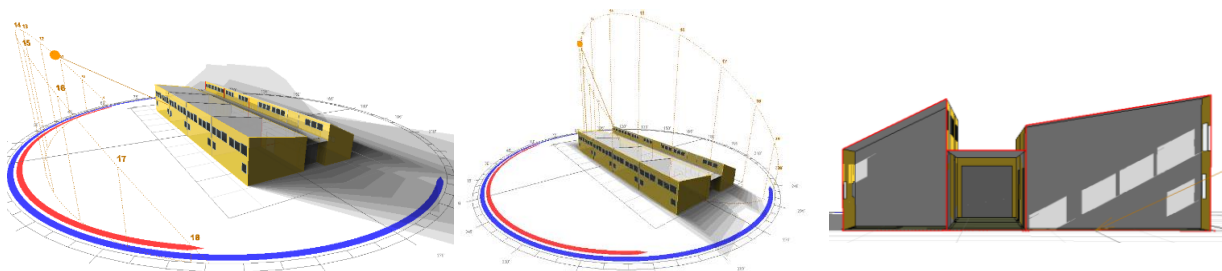


Fig. 3. Proyección de sombras (invierno y verano) y ganancia solar directa en invierno.

Tabla 2: Indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos

Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Envolvente (m <sup>2</sup> )	Ic (%)	FAEP	K (W/m <sup>2</sup> °C)		G (W/°Cm <sup>3</sup> )
						paredes	techos	
83.2	320	959	681	75	2.1	0.60	0.35	2.03

Referencias: Ic – Índice de compacidad ; FAEP; K – Transmitancia térmica ; G – Coeficiente volumétrico de pérdidas de calor.

Las paredes aisladas del edificio fueron construidas de forma tradicional con 4 cm de aislamiento exterior, protegido por un revoque sobre malla metálica fijada a alfajías de madera. En el techo se utilizaron 8cm de aislación térmica con cubierta de chapa como protección mecánica. La transmitancia térmica de los muros (Tabla 2) alcanza el nivel B de la Norma IRAM 11605 para las temperaturas de diseño de invierno de ambas localidades. La transmitancia térmica de los techos se ubica entre el nivel A y B para ambas localidades, más cerca del nivel A (entre 0.25 y 0.28). Para verano y según la Norma IRAM 11605, ambas zonas bio-ambientales recomiendan los mismos valores de transmitancia térmica. Tanto el valor del muro como el del techo del proyecto satisfacen el nivel intermedio. Una descripción detallada y los datos técnicos y constructivos del edificio fueron presentados por Filippín *et al.* (2007). El comportamiento térmico horario fue simulado con SIMEDIF para Windows, software desarrollado en el INENCO (Instituto de Investigación de Energía No Convencional, Argentina) para el diseño de edificios pasivos y simulación de comportamiento térmico de edificios en régimen transitorio (Flores Larsen y Lesino, 2001). El código ha sido ampliamente validado a lo largo de años de trabajo experimental en Argentina (Hernández *et al.*, 1999; Flores Larsen *et al.*, 2008).

El monitoreo se realizó durante 1995 y 2003. Durante el período invernal de 1995 la escuela usó querosene o electricidad en lugar de gas natural para calefacción. Las aulas alcanzaron una temperatura máxima de 17°C y una mínima de 13°C mientras la temperatura exterior mínima era de alrededor de -10°C. La amplitud térmica medida (4°C) estuvo de acuerdo con el valor predicho (Filippín *et al.*, 1995). En 1996 se instaló la red de gas natural y los calentadores. La temperatura interior no aumentó más allá de 18°C. El segundo período de monitoreo, que comenzó el 27 de agosto de 2003, se dividió para comparar el edificio bajo dos esquemas de uso: en condiciones normales y en vacaciones de invierno con los calentadores apagados. Las variables climáticas se registraron mediante un equipo meteorológico Davis, mientras que los sensores HOBO registraron las temperaturas interiores y la humedad relativa. Sólo se analizaron los períodos representativos (Tablas 3 y 4). El consumo de gas se registró cuatro veces al día, con profesores y estudiantes comprometidos en tales actividades de monitoreo. En la primera semana el edificio fue ocupado por estudiantes y profesores, mientras que en la segunda estaba vacío. El consumo de gas natural se midió tres veces al día. El mayor consumo se registró entre las 8 y las 14 horas. El consumo diario medio fue de 3m<sup>3</sup> y la temperatura máxima y media en el aula de 20 y 16.7°C (temperatura exterior = 13.3°C). Sólo el 24% y el 14% de los alumnos sintió frío a la mañana y a la tarde respectivamente. La temperatura media aumentó 3.5 y 4.5°C a la mañana y a la tarde respectivamente por efecto de las ganancias internas (Filippín *et al.*, 2007).

Tanto en la etapa de diseño como en el monitoreo en condiciones reales de uso, la simulación térmica fue una herramienta fundamental, primero para la toma de decisiones en el diseño y luego para obtener un modelo físico que permitiera disminuir la brecha entre datos reales y la simulación.

### 2.3. Análisis del consumo de energía.

Se realizó el análisis estadístico del consumo de electricidad y de gas natural del edificio entre 1995 y 2016. Los datos fueron provistos por la Secretaría de Hacienda de la provincia de La Pampa. Se calculó el promedio, el desvío standard (DS) y el coeficiente de variación (CV, relación porcentual entre DS y el valor promedio).

Tabla 3. Consumo anual de energía entre 1996 – 2015.

Año	Consumo de energía para calefacción		Artefactos lumínicos y eléctricos	Total
	m <sup>3</sup>	kWh	kWh	kWh
1996			1904.0	
1997			2170.0	
1998			1665.0	
1999			2964.0	
2000	2760.4	26897.3	1958.0	28855.3
2001	1953.4	19033.9		
2002	2132.8	20782.0	2066.0	22848.0
2003	1081.9	10542.3	1491.0	12033.3
2004	1720.0	16759.7	1344.0	18103.7
2005	1424.9	13884.2	1389.0	15273.2
2006	1666.9	16242.6	1571.0	17813.6
2007	2903.6	28293.1	2399.0	30692.1
2008	2675.0	26065.5	2595.0	28660.5
2009	2726.4	26566.0	2429.0	28995.0
2010	2628.9	25615.7	2518.0	28133.7
2011	2486.2	24225.1	2617.0	26842.1
2012	2047.0	19945.9	2326.0	22271.9
2013	2513.4	24490.9	2300.0	26790.9
2014	1730.2	16858.6		
2015	2339.6	22797.1		
Promedio	2174.4	21187.5	2100.4	23310.5
SD	539.1	5253.3	481.1	5965.9
CV	24.8	24.8	22.9	25.6

Referencias: SD (Desvío standard); CV (Coeficiente de variación).

La Tabla 3 muestra el consumo anual del gas natural destinado a la calefacción y de la electricidad con un valor promedio de 21187.5 (CV = 24.8%) y 2100.4 kWh (CV = 22.9%), respectivamente. El consumo de gas natural con una variabilidad del 1.9% superior al valor de la energía eléctrica, absorbe el 91% del promedio de la energía total consumida anualmente (23310.5 kWh). El fluido se usa exclusivamente en la calefacción de los espacios. El edificio no posee sistemas mecánicos de refrescamiento, por lo tanto,

el consumo de electricidad se destina a iluminación y en los últimos años a equipamiento (computadoras).

#### 2.4. Simulación y calibración.

La primera simulación y calibración del edificio se realizó con datos medidos en el año 2003, mediante el software *SIMEDIF* (Fig. 4). Dicho monitoreo y calibración están descripta en detalle en Filippín *et al.* (2007). Con este soft fue posible validar los indicadores geométricos y las propiedades termofísicas utilizadas para los materiales de la envolvente. Sin embargo, dada la forma del edificio (ver cortes de Figs. 2 y 3), se producen sombras en la envolvente

cuya variación horaria detallada no se puede calcular con *SIMEDIF*, que considera un porcentaje fijo de asoleamiento para cada superficie. Por ello, dada la geometría particular de este edificio, para incorporar un cálculo más detallado de sombras y ganancias directas por ventanas, se utilizó en este trabajo el software *ECOTECH*, alimentado por las mismas variables geométricas y termofísicas ya validadas con *SIMEDIF*.

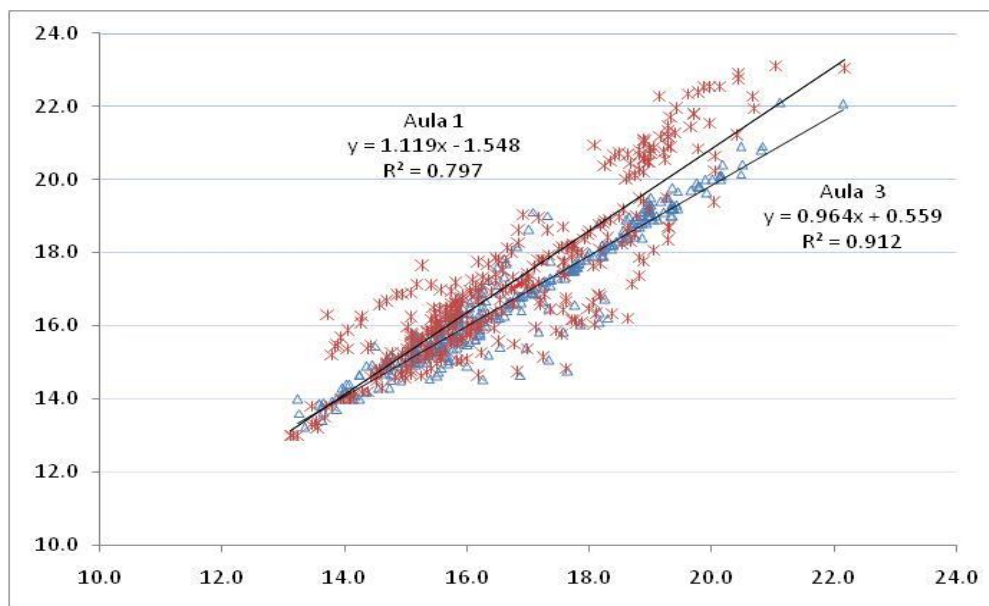


Fig. 4. Acuerdo entre datos medidos de temperatura en 2003 y simulados en dos áreas funcionales con *Simedif* bajo *Windows*. Referencia: eje x e y = temperatura en °C.

*ECOTECH* utiliza un método de cálculo simplificado basado en el Método de Admitancias del Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE Admittance Method), para determinar temperaturas internas y cargas térmicas, aplicando un algoritmo térmico flexible, sin restricciones en cuanto a la geometría del edificio o el número de zonas térmicas que pueden ser analizadas simultáneamente. La admitancia de los elementos constructivos y los factores de retraso térmico y atenuación térmica se utilizan para calcular la respuesta dinámica, es decir, en régimen transitorio. Distintos autores han empleado el software para calibrar datos medidos y simulados en la región. Boutet *et al.* (2012) concluyen en su investigación que es razonable el ajuste obtenido entre datos medidos y simulados, acuerdo que muestra la validez de los modelos físicos realizados en el trabajo con los modelos *ECOTECH* y *SIMEDIF*. Los autores comprobaron que *ECOTECH* es más apropiado para el análisis de la disponibilidad del recurso solar como así también el porcentaje de sombras (figura 6). Para la calibración del modelo los autores tomaron el día más crítico. A partir de los resultados obtenidos se observa un nivel de acercamiento promedio del orden de los 0,8 °C, encontrándose dentro de la desviación media de 0,5 y 1°C conseguida por otros autores a través de diferentes programas de simulación (Hernández *et al.* 1999, Flores Larsen *et al.* 2008), lo que le otorga cierta confiabilidad a la

herramienta para evaluar distintas estrategias de mejoramiento.

Para la configuración del modelo físico del edificio con *ECOTECH* se determinan las zonas térmicas y se establece un sistema de acondicionamiento (HVAC) mixto (mixed mode system) para aulas, oficina y pasillo y “ventilación natural” para el aula de recursos pedagógicos, los baños y el depósito. El horario de operación del sistema de acondicionamiento se fija de 6:00AM a 20:00PM sólo los días de semana. En cuanto a la ocupación, se considera un promedio de 15 alumnos por aula y 3 personas en la oficina, de 8:00AM a 18:00PM, extendiendo el uso con menor porcentaje de ocupación de 6:00 a 20:00hs por presencia de personal de limpieza. La banda de confort queda determinada entre 21°C y 27°C.

Para el presente trabajo se toman dos períodos representativos para la simulación-calibración: años 2003 y 2007. El primero más benigno en el invierno y coincidente con el período de monitoreo. El invierno del año 2007 fue el más riguroso de acuerdo a las estadísticas. Se toma como referencia para la calibración el valor de consumo en gas natural para ambos períodos. Una vez calibrado el modelo físico del edificio para Algarrobo del Águila, se simula su comportamiento en la ciudad de Córdoba (31°O, 64°S, 474

msnm), de clima templado cálido, en condiciones actuales y para el año 2039. Los datos climáticos horarios utilizados para la calibración tanto para el 2003, como 2007 y 2039 se generaron con la herramienta Weather Tool (2011) a partir de valores medios, máximos y mínimos mensuales de temperatura.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Simulación y calibración del comportamiento térmico y energético en dos períodos representativos en Algarrobo del Águila.

Se consideran 2003 y 2007 como períodos representativos para llevar adelante la simulación y calibración, que se corresponden con los años de menor y mayor consumo de gas natural, respectivamente (Tabla 3). En la Fig. 5 se muestran los consumos anuales de gas natural entre 2000 y 2015 detallados anteriormente en la Tabla 3 y el consumo mensual de gas natural registrado en boleta durante 2003 y 2007 y la temperatura mínima media mensual para dichos años. Se observa la estrecha relación que existe entre las condiciones de temperatura exterior y los consumos, a menor temperatura, mayor consumo de energía en calefacción.

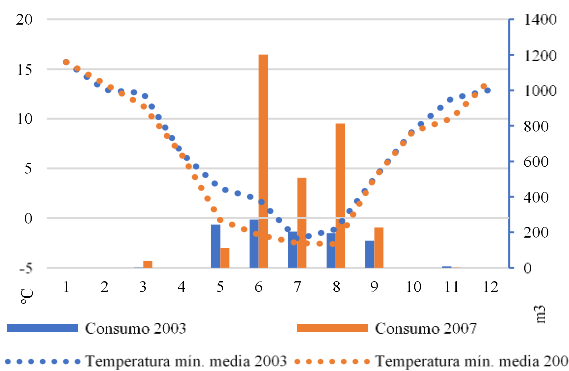


Fig. 5. Consumo de gas natural según boleta y temperatura mínima media durante 2003 y 2007.

Sobre la base de los consumos de gas natural de 1078.97m<sup>3</sup> para el año 2003 y 2900.65m<sup>3</sup> para el año 2007 y los datos climáticos correspondientes a ambos períodos, se elabora el modelo físico de la escuela a través de la calibración con el software de simulación ECOTECT.

La Figura 7 muestra el consumo mensual de energía destinada a calefacción. Por un lado, muestra la influencia estacional del consumo del fluido, por otro, la diferencia en

la cantidad de fluido consumido en 2003 y 2007. La temperatura media anual, máxima, media y mínima durante 2003 fue de 24.8, 16.0 y 7.3 °C, respectivamente y 1849 GD de calefacción. El año 2007 arroja valores anuales de 23.3, 14.8 y 6.4°C de temperatura media máxima, media y media mínima, respectivamente y 2205 GD de calefacción. El requerimiento total anual de calefacción para el 2003 es de 10572 kWh (Tabla 4), correspondientes a un consumo de 1082.4 m<sup>3</sup> de gas natural (1m<sup>3</sup> de gas natural = 8400kcal), valor muy cercano a los 1079 m<sup>3</sup> reales registrados en boleta. La simulación muestra que el consumo máximo horario de gas natural para el año 2003 se registra el 16 de julio a las 8hs y sería de 3.5 m<sup>3</sup>. El consumo total de gas natural simulado para ese mes es de 266 m<sup>3</sup>, el valor tomado de la factura es de 239 m<sup>3</sup>. El consumo promedio diario medido en la primera semana de septiembre fue de 3 m<sup>3</sup> de gas natural mientras el valor simulado fue de 3.3 m<sup>3</sup>.

El año 2007 fue el de mayor consumo de gas natural según datos obtenidos del período 2000-2015 (Tabla 3). La figura 7 muestra los requerimientos mensuales de calefacción. El consumo total arroja un valor de 28091 kWh (Tabla 4) que corresponde a un consumo de 2876 m<sup>3</sup> de gas natural, siendo el consumo real de acuerdo a boleta de 2903m<sup>3</sup>. Con un aumento del 16% en los GD de calefacción anual, el aumento de la energía consumida se acercó al 62%. El mayor consumo diario corresponde al mes de junio a las 8h (4.6m<sup>3</sup>). El consumo total mensual simulado del mismo mes es de 513 m<sup>3</sup> (valor registrado en factura: 507 m<sup>3</sup>).

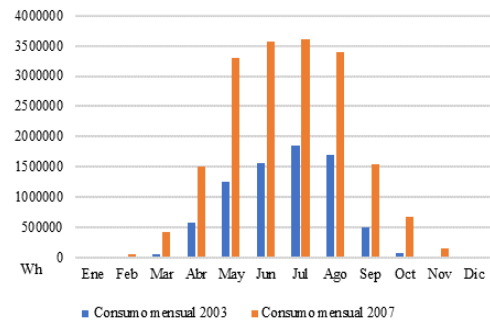


Fig. 7. Requerimiento mensual de calefacción - Algarrobo del Águila (2003 y 2007).

#### 3.2. Relocalización del modelo en Córdoba.

Con el modelo físico - térmico obtenido se relocaliza la escuela en la periferia de la ciudad de Córdoba, Argentina (31°O, 64°S, 474 msnm), de clima templado cálido, con veranos relativamente calurosos con máximas medias mayores que 30°C e inviernos no muy fríos (temperatura media entre 8°C y 12°C y temperaturas mínimas rara vez

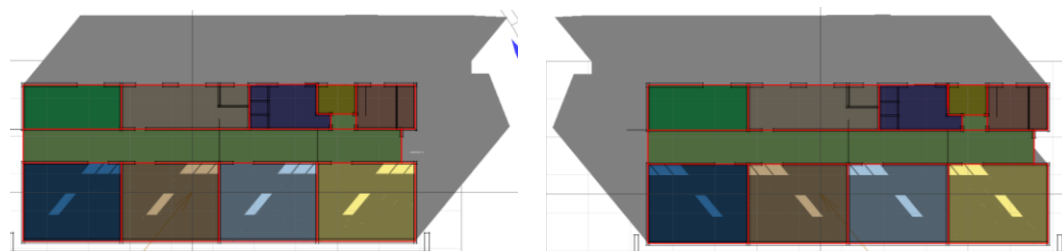


Fig. 6. Zonas térmicas y radiación solar directa para el 21 de junio a las 11:00AM y 16:00PM.

menores a 0°C). Para la simulación del edificio escolar en la ciudad de Córdoba se toman los datos climáticos obtenidos según punto 2.1 y se obtiene la energía auxiliar necesaria de calefacción como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Requerimiento anual de calefacción – Córdoba 2003.

		kWh	Kcal	m <sup>3</sup>
	Anual	5900	5073656	604.0
2003	Consumo máx. en Julio (8:00am)	23.8	20468.0	2.4

Para el clima de Córdoba se observa una disminución del requerimiento de energía para calefacción durante el período de menores temperaturas: mayo a agosto (Fig. 8), presentando un total anual de 5900 kWh (604.0 m<sup>3</sup>). Comparando este resultado con el promedio de 1802.0 m<sup>3</sup> obtenido para Algarrobo del Águila, significaría una reducción en el consumo de gas natural para calefacción del 56 % debido a que se trata de un clima templado cálido con temperaturas mayores a las de la localidad anterior y una reducción del 31.4% en el valor horario de máximo requerimiento energético para el mes de julio.

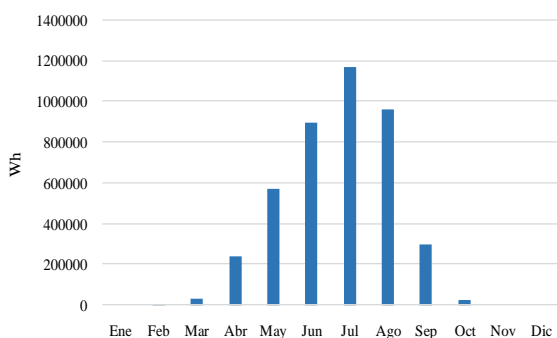


Fig. 8. Requerimiento mensual de calefacción - Córdoba (2003).

### 3.3 Análisis estadístico de las condiciones climáticas hacia el 2039 de ambas localizaciones geográficas.

El SMN (Servicio Meteorológico Nacional) considera para el período 1961-2016 tendencias anuales y estacionales en cuanto a precipitación y temperaturas para Argentina. Para el comportamiento de la temperatura concluye que: la temperatura media anual presenta un aumento generalizado en todo el país, si bien es más pronunciado en la Patagonia, Noroeste Argentino y Litoral. Particularmente las temperaturas mínimas fueron las que registraron un mayor aumento en el período analizado. Sin embargo, es importante destacar algunas singularidades en las tendencias estacionales. Sobre gran parte del centro y norte de Argentina se observa una disminución de la temperatura máxima media durante el otoño; por otro lado, la temperatura mínima media de invierno presenta una tendencia negativa sobre el centro y sur de la provincia de Buenos Aires (Fig. 9).

De acuerdo a los datos obtenidos según lo descripto en el apartado 2.1, para las dos localidades se realiza un análisis de regresión lineal simple (temperatura vs. período de tiempo). Los resultados se observan en la Tabla 6.

El análisis de regresión lineal simple muestra, para los valores de temperatura mínima de julio entre 1990 y 2039 para las dos localizaciones geográficas, un P-value < 0.01. Por lo tanto existe una relación estadísticamente significativa entre el año y la temperatura con un nivel de confianza del 99%. El coeficiente de correlación indica una relación moderadamente fuerte entre las variables con una tendencia ascendente. En el caso de la temperatura máxima sucede lo mismo para las dos localizaciones geográficas, es decir, P-value < 0.01, con un coeficiente de correlación que indica una relación moderadamente fuerte entre las variables con una tendencia decreciente.

Respecto a los grados-día de calefacción los resultados muestran situaciones diferentes para las localidades. Para Córdoba el P-value es inferior a 0.01 por lo tanto existe una relación estadísticamente significativa entre el año y el grado-día y el coeficiente de correlación indica una relación moderadamente fuerte entre las variables con una tendencia ascendente. En el caso de Algarrobo del Águila el P-value indica que no hay una relación estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 90% y que hay relación débil entre las variables.

El análisis para los valores de temperatura mínima para el mes de marzo para las dos localizaciones geográficas muestra un P-value < 0.01 (relación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 99%). El coeficiente de correlación indica una relación moderadamente fuerte entre las variables con una tendencia ascendente. El análisis muestra para los valores de temperatura máxima para las dos localizaciones geográficas un P-value inferior a 0.01 por lo tanto existe una relación estadísticamente significativa entre el año y la temperatura con un nivel de confianza del 99%. El coeficiente de correlación indica una relación moderadamente fuerte entre las variables con una tendencia decreciente.

Respecto a los grados-día de calefacción los resultados muestran la misma situación para las localidades: no hay relación estadística significativa entre año y grado día de calefacción. Para los grados día de refrigeración, Algarrobo muestra un coeficiente de correlación que indica una tendencia decreciente y una relación moderadamente fuerte entre variables. Para Córdoba existe una relación estadísticamente significativa para un nivel de confianza del 95% y muestra un coeficiente de correlación con una correspondencia relativamente débil entre parámetros.

El análisis realizado para las dos localizaciones geográficas acuerda con las tendencias del comportamiento de la temperatura entre 1961 y 2016 descripto por el SMN de Argentina.



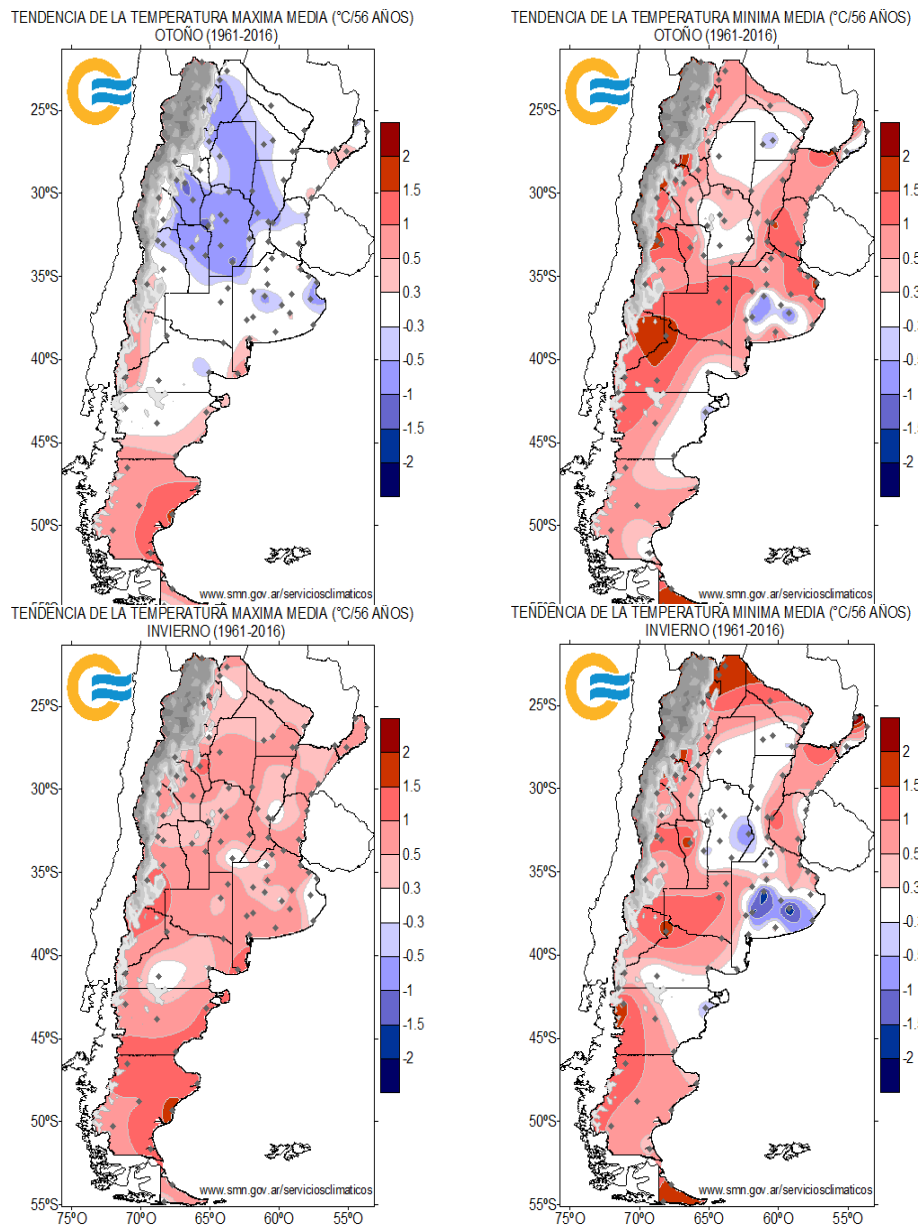


Fig. 9. Tendencia de la temperatura en Argentina en invierno y verano (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional).

Tabla 6: Análisis de regresión lineal simple entre serie de tiempo y temperatura media para las dos localizaciones geográficas (ALGA: Algarrobo del Águila; CBA: Córdoba).

	Temperatura (°C)						Grados día			
	mínima		media		máxima		ALGA		CBA	
JULIO	ALGA	CBA	ALGA	CBA	ALGA	CBA	ALGA	CBA	ALGA	CBA
R <sup>2</sup>	0.68	0.41	0.018	0.042	0.54	0.274	-0.19	0.325	-0.19	0.325
r	0.83	0.64	0.14	0.210	-0.73	-0.520	-0.14	0.52	-0.14	0.52
P-value	<0.01	<0.01	>0.01	>0.01	<0.01	<0.01	>0.01	<0.01	>0.01	<0.01
MARZO	ALGA	CBA	ALGA	CBA	ALGA	CBA	ALGA	CBA	ALGA	CBA
R <sup>2</sup>	0.61	0.30	0.027	0.005	0.44	0.13	0.011	0.54	0.006	0.093
r	0.78	0.55	-0.17	-0.07	-0.67	-0.36	0.11	-0.73	0.081	0.31
P-value	<0.01	<0.01	>0.01	>0.01	<0.01	<0.01	>0.01	<0.01	>0.01	<0.05

3.4 Simulación del edificio hacia el 2039 en las dos localizaciones geográficas

Con el modelo calibrado se realiza la simulación energética de la escuela para el año 2039 en *Algarrobo del Aguila*, utilizando el archivo climático según los datos obtenidos (descripción en metodología). Los resultados muestran que hacia el año 2039 habría una reducción del consumo anual de energía para calefacción a 1060.2 m<sup>3</sup> (10356 kWh \* 860 kcal/ 8400 kcal/m<sup>3</sup>) (Tabla 7), es decir un 42.6% menos respecto al valor promedio de 1848.5m<sup>3</sup> obtenido y descrito en el punto 3.1: correspondientes a los años 2003 y 2007(año climáticamente más riguroso), 1082.42m<sup>3</sup> y 2614.53 m<sup>3</sup>, respectivamente. Si se considera sólo el año 2003, habría una reducción de 22.2m<sup>3</sup> de consumo anual de gas natural destinado a calefacción. Habría un acuerdo con la reducción de los GD anuales. En la misma tabla se observa para *Córdoba* un 5% de aumento en el requerimiento anual de energía para calefacción entre 2003 y 2039, aumento que equivalente a 30.0 m<sup>3</sup> de gas natural. En este caso hay una reducción del 2.5% en los GD anuales, que parecería no influir en el consumo total anual de energía destinada a calefacción.

La figura 10 y para ambas localidades, muestra el acuerdo del consumo mensual de energía en calefacción (en Kwh, eje Y principal) y la tendencia en el comportamiento de la temperatura media mínima mensual (en °C en eje Y secundario) desde el 2003 hacia el 2039. Se mantiene la variabilidad mensual del consumo de energía. En el mes de julio un aumento en la temperatura mínima significaría una disminución en el consumo de energía en calefacción en ambas localidades. Esto condice con los resultados del análisis de regresión realizado para toda la serie de datos entre 1960 y 2039. El análisis de regresión mostró una tendencia ascendente y descendente en el comportamiento de la temperatura media mínima y máxima, respectivamente de julio (Tabla 6).

En la figura 11 se observa el requerimiento de energía para refrigerar (kWh, eje Y principal) y la temperatura media máxima mensual en ALGA y CBA. Como información adicional, se remarca según datos del Servicio Meteorológico Nacional que, en el año 2003 en Córdoba se registraron 17 días con una temperatura media máxima superior o igual a 26°C para los meses de diciembre, enero,

febrero y marzo. Ese valor se reduce a 10 días en 2015. En la misma figura la carga de refrigeración simulada muestra precisamente una reducción del consumo hacia 2015 ante una situación climática menos rigurosa. En ambas localidades el consumo total anual disminuye hacia el 2039. Respecto al requerimiento para el mes de marzo de energía en enfriamiento en Algarrobo del Águila se observa que hay un descenso hacia 2039 del 86.6 % en acuerdo con el descenso de la temperatura media máxima de 30.3 a 26.0 °C. Esta disminución de la temperatura máxima define la tendencia negativa de los grados días de enfriamiento en el mes de marzo (Tabla 7). Para la localidad de Córdoba la misma figura muestra un descenso del consumo anual de energía en refrigeración de un 25% en un acuerdo con el descenso de lo GD según Tabla 7. Para el mes de marzo no hay una diferencia significativa en el consumo de energía. La temperatura media máxima en 2003 y 2039 es de 25.3 y 25.5 °C, respectivamente.

4. CONCLUSIONES

La posibilidad de contar con los datos del pre-diseño, del monitoreo en la etapa de uso y el consumo de energía del edificio permitió cumplir con los objetivos. La disponibilidad de datos de temperatura facilitó el análisis de su tendencia hacia el 2039 en dos regiones diferentes y simular la carga de calefacción y/o refrigeración de un edificio escolar bioclimático experimental construido en una región templada fría en 1994 y monitoreado y auditado en 2003. La disponibilidad del consumo real de energía del edificio construido según facturas permitió calibrar datos y obtener el modelo físico del edificio para estudiar su comportamiento energético del mismo edificio en la misma localidad hacia el 2039 y su relocalización en un clima templado cálido y predecir también su performance hacia 2039. Los resultados mostraron que con la misma tecnología e igual área de ganancia solar directa hacia el 2039 habría una reducción de la energía requerida para mantener la situación de confort. Un valor de 20.9 kWh/m<sup>2</sup>/año para la escuela re localizada en la zona periurbana de Córdoba resulta un 35% superior al 'Passivehaus' standard originado en Alemania y que establece un valor total de consumo de energía en calefacción y refrigeración de 15 kWh/m<sup>2</sup>/año.

Tabla 7: Consumo energético anual (kWh).

Año y Grados día de calefacción (GD <sub>cal</sub> ) y enfriamiento (GD <sub>enf</sub> )												
		2003			2015			2039				
ALGA	GD <sub>cal</sub>	1849		GD <sub>cal</sub>	1716		GD <sub>cal</sub>	1736				
	GD <sub>enf</sub>	575		GD <sub>enf</sub>	290		GD <sub>enf</sub>	367				
CBA	GD <sub>cal</sub>	1277		GD <sub>cal</sub>	1065		GD <sub>cal</sub>	1245				
	GD <sub>enf</sub>	257		GD <sub>enf</sub>	241		GD <sub>enf</sub>	195.3				
	C	AA	Total	C	AA	Total	C	AA	Total			
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh			
			kWh/m <sup>2</sup>			kWh/m <sup>2</sup>			kWh/m <sup>2</sup>			
ALGA	10572	802	11374	35.5	10394	575.6	10970	34.3	10356	544	10900	34.1
CBA	5907	642	6549	20.5	6616	806	7422	23.2	6200	480	6680	20.9

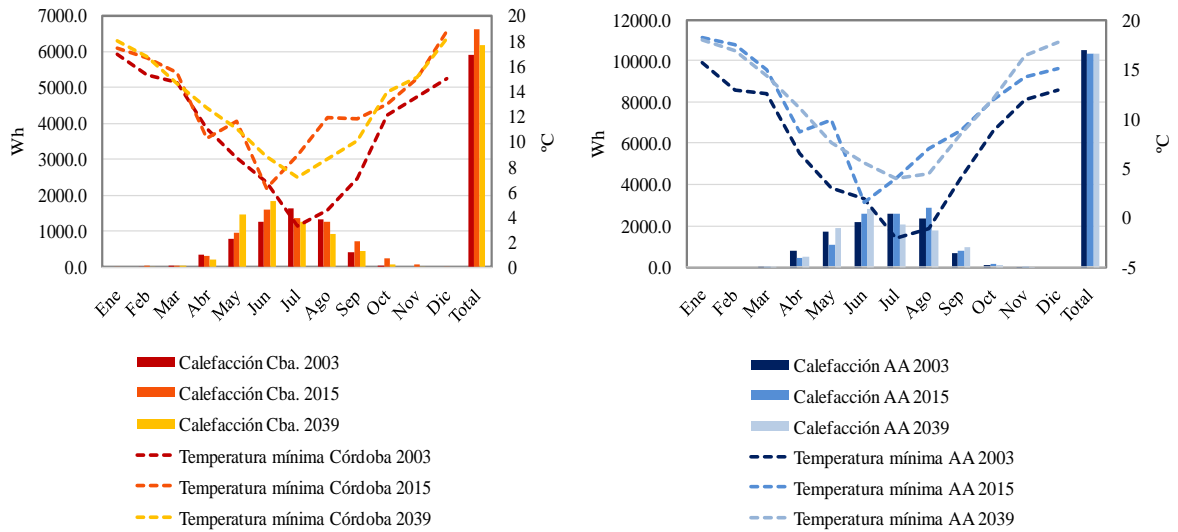


Fig. 10: consumo energético de calefacción de la escuela y temperatura media mínima mensual del aire exterior, para 2003, 2015 y 2039 (izquierda: Algarrobo del Águila, derecha: Córdoba).

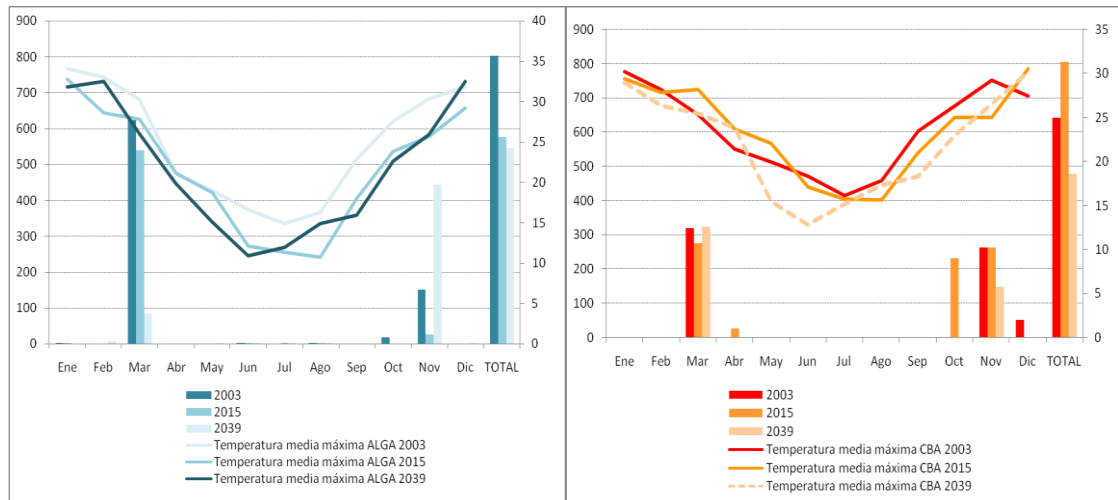


Fig. 11: consumo energético de refrigeración de la escuela y temperatura media máxima mensual del aire exterior, para 2003, 2015 y 2039 (izquierda: Algarrobo del Águila, derecha: Córdoba).

### AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen expresamente a la Dra. Florencia Ricard por su valiosa colaboración en la provisión de los datos climáticos utilizados en este artículo.

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación (MINCYT-ANPCYT PICT 2014-2605).

### NOMENCLATURA

Ic - Índice de compacidad (Mascaró, 1999). Relación entre el perímetro de un círculo de área igual al área del proyecto y el perímetro de las paredes exteriores:

$Ic = Pc/Pp * 100$ , siendo Pc =perímetro de un círculo de área igual al área de proyecto. Pp= perímetro de las paredes exteriores, en palnta, del proyecto

FAEP: Factor de Área expuesta en relación a la superficie cubierta (Esteves & Gelardi, 2013):

$$FAEP = (ST + SM + Sve + Spu) / SCu = m^2/m^2$$

donde ST: superficie de techos (m<sup>2</sup>); SM: superficie de muros (m<sup>2</sup>); Sve: superficie de ventanas (m<sup>2</sup>); Spu: superficie de puertas (m<sup>2</sup>); SCu: superficie cubierta a ser calefaccionada (m<sup>2</sup>).

U (W/m<sup>2</sup>°C): también conocido como coeficiente de transmitancia térmica K, es la cantidad de calor que se transmite en regimen estacionario, en la unidad de tiempo, a través de la unidad de superficie por un material o elemento constructivo de cierto espesor, cuando la diferencia de temperatura entre sus caras es la unidad. Es la inversa de la Resistencia térmica R..

G (W/m<sup>3</sup>-K): coeficiente volumétrico de pérdidas. Es la energía térmica que pierde un local calefaccionado por unidad de volumen y unidad de diferencia de temperatura,

en régimen estacionario, es decir, la energía que deberá suplir el sistema de calefacción para mantener constante la temperatura interna del local. Se calcula de acuerdo a la Norma IRAM 11604, 2001.

## REFERENCIAS

- Di Bernardo A., Filippín C., Pipa D. (2011). Monitoreo y simulación térmica energética de verano de una vivienda en condiciones reales de uso en clima templado cálido *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **15**, 08.67-08.74, 2011.
- Borgstein E.H., Lamberts R., Hensen J.L.M. (2016). Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. *Energy and Buildings* **128** (2016) 734–755.
- Filippín, C., Esteves, A., Pattini, A. and De Rosa, C. (1993). Primera Experiencia de una Escuela Solar en un Ecosistema Árido de la Provincia de La Pampa. *Actas de la XVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, La Plata, Argentina, 1: 189 - 197.
- Filippín, C. and De La Mata, M. (1995). Primera Experiencia de una Escuela Solar en un Ecosistema Árido de la Provincia de La Pampa. Primeros Resultados. *Actas de la XVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar*, San Luis, Argentina, 1: 02.61-02.67.
- Filippín, C., Flores Larsen, S., Marek, L and Lesino, (2007), An energy efficient school for a nature disposed population in arid lands of central Argentina. *Building Physics* **30**,3, 241-260.
- Filippín, C., Flores Larsen, S. and Beascochea, A.(2007). Architecture, thermal design and energy performance of solar schools in Argentina. In: *Energy Efficiency, Air Quality and Conservation*. Editor: Joseph Utrick, pp. 107-132 © 2007 Nova Science Publishers, Inc. Chapter 5.
- Flores Larsen S., Filippín C., Beascochea A. y Lesino G. (2008). An experience on integrating monitoring and simulation tools in the design of energy-saving buildings. *Energy and Buildings* **40**, 987–997.
- Flores Larsen S. (2016). Lesino. *Simedif bajo Windows*. Available at: <http://exactas.unsa.edu.ar/simedif/>.
- Guerra-Santin, O., Aidan Tweed, C. (2015). In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings* **93**, 189–207.
- Haidong Wang, Zhiqiang (John) Zhai. (2016). Advances in building simulation and computational techniques: A review between 1987 and 2014. *Energy and Buildings* **128**, 319–335.
- Hernández, A., Flores, S., Salvo, H. y Lesino, G. (1999). Simulación no estacionaria mediante SIMEDIF del ala Oeste del edificio de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. *Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente*, **3**, 2, 08.113-0.8.116.
- IRAM-11603 (1996). Norm. Clasificación bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.
- IRAM Norm 11604 (2001). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites, Instituto Argentino de Normalización y certificación.
- IRAM Norm 11605 (2002). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina, 1996, Mod.
- Juanicó, L. E., González, A. (2008). Thermal efficiency of natural gas balanced-flue space heaters: Measurements for commercial devices. *Energy and Buildings* **40**, 1067–1073.
- Miralles D.J., García G.A. (2014). Implicancias del cambio climático sobre el rendimiento de los cereales de invierno en la Región Pampeana. Disponible en: <http://horizonteadigital.com/implicancias-del-cambio-climatico-sobre-el-rendimiento-de-los-cereales-de-invierno-en-la-region-pampeana/>
- Nik, V., Mata, E., Sasic Kalagasidis, A. (2015). A statistical method for assessing retrofitting measures of buildings and ranking their robustness against climate change. *Energy and Buildings*, **88**, 262–275.
- PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Organización Mundial de la Salud (2010). Un entorno sano para niños sanos: mensajes básicos para actuar.
- Royapoor M., Roskilly, T. (2015). Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings* **94**, 109–120.
- Santamouris, M. (2016). Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change. *Solar Energy*, **128**, 61-94.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2009). El cambio climático en Argentina.
- Servicio Meteorológico Nacional (1980). Fuerza Aérea Argentina, Comando de Regiones Aéreas. *Weather Tool* 2011-©Autodesk, Inc.2010.