

## INTEGRACION DEL PROCESO DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EDIFICIO BIOCLIMATICO PARA EL INTA-Guatraché. MONITOREO, PERFORMANCE ENERGETICA Y RELOCALIZACION.

C. Filippín<sup>1</sup>, L. Marek<sup>2</sup> y S. Flores Larsen<sup>3</sup>

1. CONICET - Av. Spinetto 785, Santa Rosa, La Pampa, Argentina - Tel Fax : 54 (0) 2954 430910
2. Profesional independiente - Santa Rosa, La Pampa, Argentina - Tel: 54 (0) 2954 413412
3. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) – Universidad Nacional de Salta – CONICET, Avda. Bolivia 5150 (4400) Salta, Argentina.

*Recibido: 28-08-17; Aceptado:30-10-17.*

**RESUMEN.-** El presente trabajo describe un edificio bioclimático experimental en la región central de Argentina, zona bioambiental IV<sub>c</sub> (*Latitud: 37°38'*; *longitud: 63°34'* y *175m asnm*), y su relocalización geográfica en la zona bioambiental IIIa (*latitud: 36°22'*; *longitud: 65°43'* y *312 asnm*) teniendo en cuenta los resultados del monitoreo higrotérmico y energético del edificio experimental. La temperatura promedio del aire interior fue de 18.4°C, 9.5°C por encima de la temperatura media exterior (8.9°C) entre el 9 y el 26 de agosto de 2011 con un consumo diario de energía destinada a calefacción durante la jornada laboral de 6.4m<sup>3</sup> de gas natural. Durante el período estival (24/11/2011 al 13/02/2012) la temperatura del aire interior fue de 25.4°C, 0.9°C por encima de la temperatura exterior (24.3°C). El mayor consumo se apuntó en diciembre con un valor promedio diario de 12.25 kWh. Los valores máximos de energía eléctrica consumida se registraron el 27 y el 28/12/2011 con un valor de 21 y 23 kWh, respectivamente, en los cuales la temperatura del aire exterior superó los 35°C con un valor mínimo de 20°C. La performance energética se considera satisfactoria dado que el ambiente interior es térmicamente aceptable y el edificio es de bajo consumo de energía.

**Palabras claves:** edificio no-residencial, diseño bioclimático, ahorro de energía, monitoreo energético

### INTEGRATION OF THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BIOCLIMATIC BUILDING FOR INTA-Guatrache. MONITORING, ENERGY PERFORMANCE AND RELOCATION

**ABSTRACT.-** In the present work we describe the process of design and construction of an experimental bioclimatic building in the central region of Argentina, bio-environmental zone IV<sub>c</sub> (Latitude: 37°38', longitude: 63°34' and height above sea level: 175m), and its geographical relocation in the bioavailability zone IIIa (latitude: 36°22', longitude: 65°43' and height above sea level: 312) taking into account the results of the hygro-thermal and energy monitoring of the experimental building. The average temperature of the indoor air was 18.4°C, 9.5°C above the average outside temperature (8.9°C) between August 9 and 26, 2011 with a daily consumption for heating during the working day of 6.4m<sup>3</sup> of natural gas. During the summer period (24/11/2011 to 13/02/2012) the indoor air temperature was 25.4°C, 0.9°C above the outside temperature (24.3°C). The highest consumption is registered in December with a value daily average of 12.25 kWh. The maximum values of electrical energy consumed were recorded on 27 and 28/12/2011 with a value of 21 and 23 kWh, respectively when the outdoor air temperature exceeded 35°C with a minimum value of 20°C. The performance is satisfactory from the environmental and energy considering that the interior environment is thermally acceptable and the building is low energy consumption

**Keywords:** non-residential building- bioclimatic design- energy saving – energy monitoring

#### 1. INTRODUCCION

En 2010, los edificios representaron el 32% del uso final total de energía en el mundo. El uso de energía y las emisiones relacionadas pueden duplicarse o incluso triplicarse para mediados de siglo según distintas tendencias. Mientras el consumo de energía para usos térmicos en el período 2010-2050 en los edificios comerciales y residenciales en los países desarrollados, tiende a crecer poco, en los países en desarrollo la tendencia muestra un incremento importante. La construcción de nuevos edificios

en los países en desarrollo representa un riesgo, pero también es una excelente oportunidad desde una perspectiva de mitigación. Las estrategias y el nivel de planificación en el ámbito de las opciones tecnológicas, las prácticas de diseño y el comportamiento de la sociedad pueden lograr grandes reducciones en el uso de la energía del edificio (50% - 90% en edificios nuevos, 50% - 75% en edificios existentes). (Lucon *et al.*, 2014).

Los arquitectos tienen un papel clave que desempeñar en los futuros edificios de bajo consumo de energía, ya que el

diseño pasivo se relaciona con las decisiones arquitectónicas que se toman en la fase inicial del diseño (IEA 2009). Una de las barreras más importantes para mejorar sustancialmente la eficiencia energética es la falta de conocimiento sobre los factores que determinan el uso de energía. A menudo hay una significativa discrepancia entre la estimación de la energía a consumir por el edificio y el valor real de energía que consume, situación que a menudo tiene más que ver con el papel del comportamiento humano que el diseño del edificio. El consumo de energía del edificio está influenciado principalmente por seis factores: (1) clima, (2) construcción de la envolvente, (3) construcción y sistemas de energía, (4) operación y mantenimiento de edificios, (5) actividades y comportamiento de los ocupantes y (6) calidad ambiental interna. Los últimos tres factores relacionados con el comportamiento humano pueden tener una influencia tan considerable o mayor que los anteriores. Es necesario investigar los seis factores juntos para entender los datos de consumo de energía del edificio (OECD/IEA, 2013). Branco *et al.*, 1991; Marchio, Rabl, 1991; Nordford *et al.*, 1994, concluyen que el comportamiento de los ocupantes del edificio puede tener grandes efectos en el uso de la energía de la vivienda, y traducirse en enormes diferencias entre el rendimiento energético real y el supuesto para los edificios. Las diferencias entre el uso de energía real y el previsto dependen de las disparidades entre la realización final pronosticada y la real de la construcción, las instalaciones técnicas y el uso concreto de los sistemas construidos por los ocupantes.

En el sector de edificios, que por un lado involucra una cantidad de actores privados y públicos, hay una fragmentación a menudo de intereses conflictivos y, tales intereses y el conocimiento de los problemas energéticos varían considerablemente entre los actores, por otro generalmente adolece de una falta de liderazgo en las mejoras de eficiencia energética (WBCSD, 2009). En una recomposición o fusión de esa fragmentación, se puede obtener un modelo más acotado del objeto arquitectónico con su morfología, tecnología e indicadores que pueden ser perfectamente cuantificados, el comitente y la física del ambiente con sus condiciones climáticas y el contexto geográfico. En esta recomposición, la concreción del edificio, según las reglas del arte y del buen construir, en una determinada localización geográfica y en un contexto cultural determinado, hay un proceso de diseño que no es lineal: involucra una ida y vuelta, discusión y acuerdos entre los diferentes actores. (Figura 3). Filippín y Beascochea (2007) describen en su trabajo los edificios bioclimáticos construidos y monitoreados en la provincia de La Pampa. El trabajo detalla el diseño y el comportamiento energético en condiciones reales de uso de cada caso.

Las autoras precitadas consideran que es imprescindible diseñar, construir, medir y corregir a partir de las debilidades y fortalezas observadas en cada paso. Y estiman, tendiente a minimizar la fragmentación entre los actores involucrados (diseñadores, constructores, comitentes, especialistas, usuarios, etc.), que son fundamentales el diálogo y el compromiso pertinentes a cada etapa del proceso, con el objetivo de disminuir discrepancias entre la estimación de la energía a consumir por el edificio y el valor real de energía determinada por sus ocupantes. Se fomentará, de este modo, el sentido de pertenencia del usuario con participación activa en el período de uso del edificio bioclimático.

Durante el año 2006 el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), a través del Centro Regional La Pampa - San Luis (Ente Promotor), impulsó el diseño y la construcción de edificios bioclimáticos. Marek y Filippín (2007) y Filippín y Marek (2010) describen las estrategias de diseño bioclimáticas y la tecnología del edificio diseñado para la Unidad de Extensión Guatraché en la provincia de La Pampa. Filippín, Marek, y Flores Larsen (2015) analizan en un trabajo anterior el comportamiento energético.

En este marco, los objetivos del presente trabajo son: - integrar las métricas inherentes al propio edificio, los resultados del comportamiento energético, la respuesta del usuario en cuanto a su compromiso con la implementación de buenas prácticas; -ratificar y/o rectificar las estrategias de diseño que permitan la relocalización del proyecto en otras áreas geográficas.

## 2. CASO DE ESTUDIO

### 2.1. Diseño arquitectónico – térmico.

El edificio, caso de estudio, se ubica en la localidad de Guatraché, de 6000 habitantes, en el extremo SE de la provincia de La Pampa. Sus coordenadas geográficas son: *Latitud: 37°38'*; *longitud: 63°34'* y *altura sobre el nivel del mar: 175m*. La temperatura media anual, máxima media y mínima media es de 14.6, 22.1 y 7.6 °C, respectivamente (SMN, 1982). La radiación solar media anual sobre superficie horizontal es de 18.8MJ/m<sup>2</sup> (Grossi Gallegos y Righni, 2007) y la humedad relativa de 64%. La Tabla 1 muestra algunos datos climáticos. Perteneció a la zona bioambiental IIIa templada fría de la Norma IRAM 11603, 1996/2011, que recomienda para esta zona: muy buena aislación térmica en toda la envolvente debiendo verificar el riesgo de condensación (se deben evitar los puentes térmicos), una orientación NO-N-NE-E y ventilación cruzada.

*Lineamientos generales del diseño:* minimizar el consumo de energía convencional en el acondicionamiento térmico-luminico (gestión energética), priorizar el uso de tecnología local y una elección integrada de los procesos constructivos, maximizar las condiciones de confort energético-visual, relación armoniosa con su entorno inmediato, gestión del agua y de los residuos, bajo costo de operación y mantenimiento, y minimizar el sobre-costos de inversión. *Estrategias de diseño:* 1.zonificación espacial clara de las distintas áreas funcionales priorizando su orientación según el destino de cada una de ellas; 2.minimización de la zonificación térmica a través del uso de diferentes elementos de conexión entre áreas pasivas (con ingreso del sol) y no-pasivas (sin ingreso de sol directo), 3. climatización natural en invierno: solarización del edificio a través de ganancia solar directa (área transparente orientada al norte) y conservación de la energía mediante el diseño de una envolvente energéticamente eficiente, 4.climatización natural en verano a través del uso de masa de acumulación y ventilación cruzada, 5.disminución del consumo de electricidad a través de la correcta orientación de cada área funcional., de un diseño eficiente de la distribución de las luminarias y el uso de artefactos de bajo consumo de energía, 6. acondicionamiento del entorno inmediato exterior a través del diseño de espacios semi-cubiertos con una vegetación acorde a las diferentes orientaciones (árboles de hojas caducas y perennes), 7. recuperación y reutilización del agua de lluvia para el riego de la huerta experimental en el propio edificio.

2.2. Distribución de las áreas funcionales.

Las oficinas, la sala de reunión y el salón de usos múltiples (quincho-sala de reunión-garaje) están orientadas al norte para favorecer el ingreso del sol en el invierno a través de áreas transparentes protegidas con aleros y pérgolas para permitir su sombreado en verano. La administración y la dirección se ubican en el sector, con pequeñas ventanas para garantizar la ventilación cruzada y la expansión visual, el primer sector tiene ventanas altas orientadas al norte para favorecer el calentamiento solar pasivo, el segundo, posee ventanas hacia la circulación que permiten la iluminación natural indirecta. Un elemento determinante del diseño es un plenum técnico-térmico, con ventanas al norte ubicado entre la zona norte y sur y a 2.40m de altura sobre la circulación. El espacio se concibe como un sector captador –

almacenador - compensador de energía solar y además aloja las instalaciones de telefonía. Este elemento de diseño, *volante – térmico*, permite operar el edificio de modo distinto según las estaciones del año: reforzará el calentamiento del sector sur del edificio a través de la apertura de las ventanas que se ubican entre ambos sectores, por otro, un manejo cómodo y conveniente de las ventanas altas (+4.00m) para optimizar la ventilación natural y cruzada en verano. Esta situación se repite en el área de administración en la cual las ventanas altas pueden ser abiertas desde una pasarela (continuación del plenum) El total de ganancia solar directa (área efectiva de vidrio) corresponde al 12% de la superficie útil del edificio (Figura 1-2 y 6).

Tabla 1: Datos climáticos de la localidad

Temperatura de julio	mínima media	1.1
	media	6.9
	máxima media	13.1
	mínima absoluta	-11.0
Amplitud térmica de invierno		12.0
Temperatura mínima de diseño		-4.9
Velocidad media del viento en invierno		11 km/h
Radiación solar media julio sobre superficie horizontal		8.1MJ/m <sup>2</sup>
Temperatura de enero	máxima media	31.5
	media	23.2
	mínima media	14.6
	máxima absoluta	39.5
Amplitud térmica de verano		16.9
Temperatura máxima de diseño		35.5
Velocidad media del viento en verano		11 km/h
Radiación solar media enero sobre superficie horizontal		23.4MJ/m <sup>2</sup>
Grados-día de calefacción base 18°C		1200
Grados-día de enfriamiento base 23°C		379

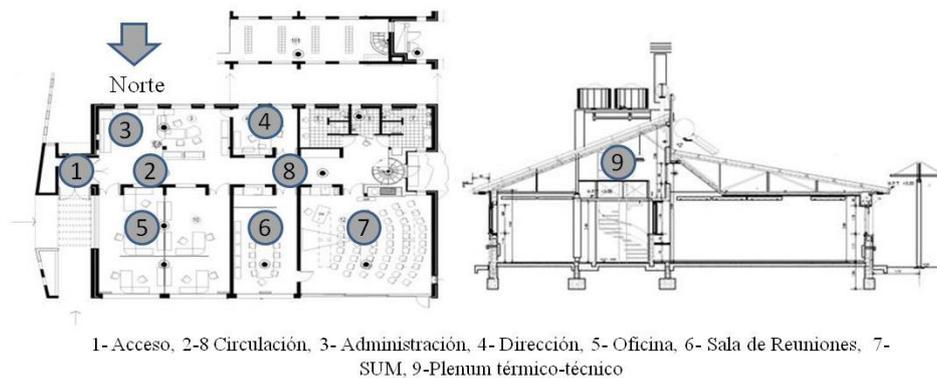


Fig. 1: Planta, corte transversal y vista norte.

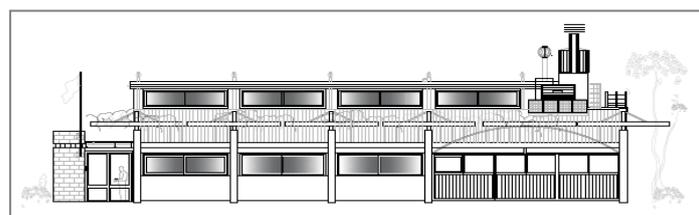


Fig. 2: Fachada hacia el norte

2.3. Tecnología..

Se privilegió, por un lado, el uso de tecnología local: 1- cabriadas de techo desarrolladas y construidas en una metalúrgica local, 2- ladrillos cerámicos macizos de 0.29 \* 0.15 \* 0.13m de largo, ancho y alto, respectivamente fabricados en la misma localidad, único en toda la zona que se fabrica por extracción con una máquina construida con

material reciclado que tiene un sistema con trampa de agua que filtra el CO2 de la combustión del túnel de cocción. El agua se reutiliza en el amasado del barro. Por otro lado se priorizó, una tecnología que permitiera la construcción por etapas.

Tabla 2: Indicadores dimensionales y térmicos-energéticos

Perímetro (m)	Area útil (m <sup>2</sup> ) -1-	I <sub>c</sub> (%)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Envolvente (m <sup>2</sup> ) -2-			FAEP (2/1)	Transmitancia térmica (W/ m <sup>2</sup> °C)			G (W/m <sup>3</sup> °C)
				Vertical	Cubierta	Total		Pared	Cubierta	Ventana	
73	269	83	899	209	272	481	1.79	0.63	0.41	3.2	1.10

I<sub>c</sub> = Índice de compacidad; FAEP = Relación entre envolvente y área útil; G = Coeficiente volumétrico de pérdida

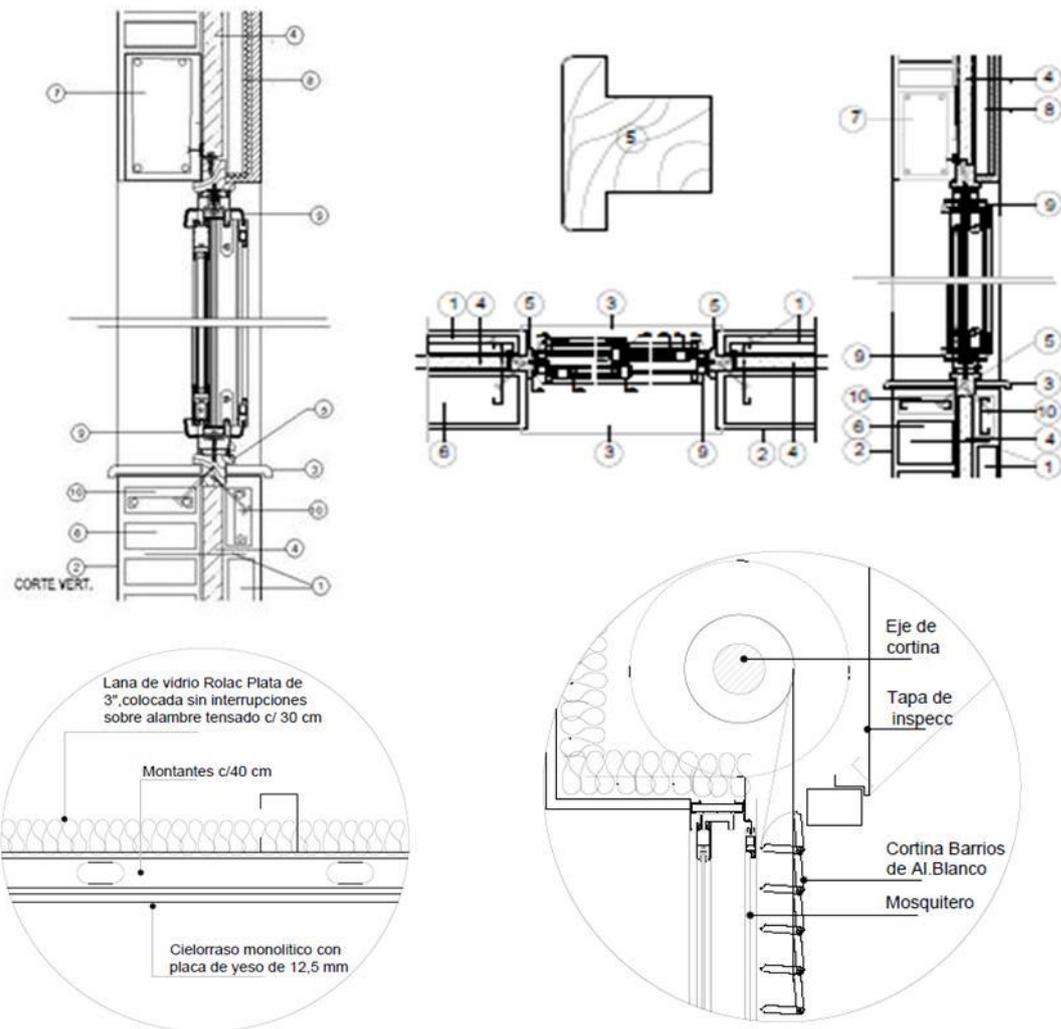


Fig. 3: Detalles constructivos en etapa de diseño

Las paredes son tri-capa: ladrillo macizo como masa térmica en el interior (espesor = 0.18m), aislamiento térmico de poliestireno expandido de 0.05m de espesor y una protección mecánica externa de ladrillo macizo de 0.07m de espesor ( $K = W/0.63 \text{ m}^2\text{°C}$ ). Como resultado de la pared de ladrillo macizo en el interior de la envolvente vertical y el uso también de paredes interiores macizas, el edificio es de alta inercia ( $400 \text{ kg/m}^2$ , NEW METHOD 5000). Los techos inclinados son de chapa galvanizada con un aislamiento de 0.12m de espesor con cielorraso de PVC ( $K=0.41 \text{ W/ m}^2\text{°C}$ ). La carpintería es de aluminio pre-pintada con ruptura de puente térmico y pre-marco de madera (ver detalles constructivos en Figura 3). Las áreas transparentes son de vidrio simple con cortina de enrollar en la fachada norte. Según la organización funcional, el uso de ganancia solar directa y la tecnología adoptada la Tabla 2 muestra algunos indicadores dimensionales y energéticos del proyecto. El índice de compacidad (Czajkowski, Gómez, 1994) del 83% muestra un edificio compacto y un FAEP de 1.79, valor que indica que el diseño corresponde a un edificio energéticamente eficiente (Esteves, Oliva, Gelardi, 1997-1999). En el análisis de precios realizado por rubro en 2006 se observa que la protección mecánica del aislamiento térmico en las paredes y el uso de la carpintería con ruptor de puente térmico corresponde a un 1.93% y a un 1.70% del costo total, respectivamente. Alrededor de un 2% corresponde a la pérgola de protección climática. El extra-costo resultante de alrededor del 8.5% de las estrategias de diseño bioclimáticas fue considerado aceptable por el ente promotor (Marek y Filipín, 2007).

#### 2.4. Simulación del comportamiento térmico.

Durante la etapa de diseño se realizó la simulación del comportamiento térmico invernal a través del modelo SIMEDIF (Flores Larsen y Lesino, 2016). Para una temperatura media de invierno de  $6.9\text{°C}$  (media mínima =  $1.1\text{°C}$ ; media máxima =  $13.1\text{°C}$ ) y una irradiancia de  $8.1 \text{ MJ/m}^2$  sobre superficie horizontal. En condiciones reales de uso el edificio alcanzaría una temperatura media de  $18\text{°C}$  con un consumo diario de  $4.6\text{m}^3$  de gas natural (con el encendido de 6 calefactores de  $2300 \text{ kcal/h}$  entre las 8 y las 11h). Bajo las mismas condiciones climáticas, sin ganancias internas el  $Q_{cal}$  (carga de calefacción) para mantener una

temperatura media interior de  $18\text{°C}$ , es de  $351.43 \text{ MJ}$  ( $98 \text{ kWh}$ ) que equivalen a  $9.4 \text{ m}^3/\text{día}$ . Al tratarse de un edificio másico con conservación de la energía (edificio con aislación térmica) la fluctuación entre la temperatura mínima y máxima interior es de  $4\text{°C}$  ( $12\text{°C}$  en el exterior). Para la estación invernal se prevé un consumo total anual de energía  $752 \text{ m}^3$  de gas natural que equivalen a  $29 \text{ kWh/m}^2$ . Al ahorro de energía en calefacción corresponde una disminución de las emisiones de  $\text{CO}_2$  (Factor de conversión:  $0.20 \text{ kg/kWh}$ ). El valor resultante define un edificio de Baja Emisión según EEO (1991) para edificios no-residenciales destinados a escuelas.

Una adecuada aislación térmica en la envolvente, el sombreado de las áreas transparentes, para disminuir las cargas de refrigeración, permitiría mantener una temperatura de confort durante el verano para valores medios de temperatura exterior (Temperatura media:  $23\text{°C}$ ; Temperatura mínima:  $14.6\text{°C}$ ; Temperatura máxima:  $31.5\text{°C}$ ). Por tratarse de un edificio no-residencial la permanencia de ventanas abiertas durante la noche no es factible, sólo podrá ventilarse durante las primeras horas de la mañana. Para reducir el consumo de energía convencional además de una envolvente energéticamente eficiente, la ganancia solar directa a través de las áreas transparentes al norte, la ventilación cruzada para disipar el calor durante las primeras horas de la mañana en el verano y para mantener las condiciones de salubridad, se plantea el uso racional de la energía colocando termostatos en calefactores ( $18\text{-}20\text{°C}$ ) y acondicionadores de frío ( $23\text{-}25\text{°C}$ ), temporizadores en toda la iluminación externa del edificio, la divulgación de un uso adecuado del edificio.

#### 2.5. Construcción del edificio y sus diferentes etapas entre 2006 y 2011.

Por razones legales se inició la construcción en 2006 para cumplir el plazo establecido en una clausula de la donación del terreno por parte del Municipio Local y de acuerdo a la disponibilidad presupuestaria se inició la primera etapa: montaje de la estructura metálica resistente y la cubierta de techo, tecnología de los componentes que priorizó la producción local de los elementos (Figura 4).



Fig. 4: Producción local de componentes tecnológicos. Armado de la cubierta como primera etapa de la construcción del edificio hacia 2006



Fig. 5: Estrategias de climatización según los puntos 3, 4 y 7 de la etapa de diseño

La figura 5 muestra la implementación de las estrategias de diseño descriptas: calentamiento solar pasivo a través de áreas vidriadas al norte y su acumulación en paredes interiores másicas (ver en figura 3) y sombreado de aquellas, en período estival. En la figura 6 se observan los principales detalles constructivos de cada componente tecnológico. Se muestra el pre-marco de madera en las ventanas en acuerdo con el detalle constructivo de la figura 3, y la aislación térmica en las paredes y en la cubierta según tabla 2. La

figura 7 detalla cada una de las áreas funcionales y muestra el uso de diferentes elementos de conexión entre áreas pasivas (con ingreso del sol) y no-pasivas (sin ingreso de sol directo para minimizar la zonificación térmica según pautas de diseño. En la misma figura se observa el plenum térmico-técnico, área que a criterio de los responsables del diseño y del estudio térmico fue fundamental como elemento de ventilación cruzada entre el sector sur y norte del edificio (figura 7).



Fig. 6: Detalles constructivos en obra. Referencias: 1-aislación hidrófuga-térmica en el cimiento (ver detalle constructivo en el diseño); 2- masa térmica; 3- aislación térmica en envolvente vertical; 4- barrera de vapor en la envolvente y pre-marco de madera en vano (ver detalle constructivo en el diseño); 5- cubierta de chapa pre-pintada; 6- aislación térmica de la cubierta

Algunas pautas de diseño en cuanto a la gestión de los residuos debieron revisarse en el avance de la obra: la prueba de permeabilidad del terreno determinó la existencia de un manto de tosca muy dura, no apto para los drenajes con filtros biológicos y el tratamiento de efluentes se debió resolver con un sistema tradicional de pozo absorbente. El uso de medio bloque de hormigón como protección mecánica de la aislación térmica de la envolvente vertical en

reemplazo de la pieza maciza del mismo material, solución propuesta por la empresa constructora y aceptada por los responsables del proyecto arquitectónico-térmico, permitió mejorar la resistencia térmica del muro al crear en él una cámara de aire. El valor de la transmitancia térmica pasa de 0.63 a 0.57 ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ) y permite reducir el valor del coeficiente global de pérdidas (Ver figura 6-3).



Fig.7: Áreas funcionales según punto 1 de las estrategias de diseño. 1-2: administración y vista del plenum técnico-térmico; 3: circulación; 4: sala de reunión; 5: SUM (salón de usos múltiples); 6: pasarela sobre administración y plenum hacia atrás. Edificio terminado. Imagen izquierda Fuente: C. Filippín, S. Flores Larsen, L. Marek (2015).

### 3. RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO TERMICO-ENERGETICO EN CONDICIONES REALES DE USO

El comportamiento de los usuarios de un edificio está influenciado por un gran número de causas, tanto "externas" al propio ocupante (por ejemplo, temperatura del aire, velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa, etc) e internas o "individuales" (por ejemplo, actitudes y preferencias) y características propias del edificio. Distintos autores demostraron que el comportamiento de los usuarios desempeña un papel fundamental en la cantidad de energía utilizada en los edificios, consumo que acuerda por ejemplo, con el momento de apertura de la ventana, de su tipo, el uso de unidades de aire acondicionado o la elección de la temperatura interior (Andersen *et al.*, 2007; Gerra Santin, Itard, Visscher, 2009; Herkel, Knapp, Pfafferoth, 2008; Rijal *et al.*, 2007; Schweiker, Shukuya, 2009). En consecuencia, el ocupante tiene una gran influencia en la variación del consumo de energía en diferentes tipos de edificios. En el trabajo de Branco *et al.* (2004), las suposiciones hechas sobre el comportamiento de los ocupantes no estaban de acuerdo con el comportamiento real de los ocupantes. En la literatura, se han estudiado diferentes usos finales de la energía determinados por las características técnicas y arquitectónicas y por el comportamiento de los ocupantes. Aún se desconoce mucho sobre la motivación del comportamiento de los ocupantes relacionado con el control de edificios.

En este contexto se describe y analiza el comportamiento energético de las áreas funcionales del edificio y los factores ambientales (condiciones climáticas) en distintos períodos entre 2011 y 2012. Se colocaron adquirentes de datos tipo HOBO en cada una de las áreas y se colocó una estación meteorológica para medir la radiación solar y la velocidad

de viento, la humedad relativa y la temperatura. Para el período comprendido entre el 9 y el 26 de agosto de 2011 la temperatura promedio interior fue de 18.4°C, 9.5°C por encima de la exterior (8.9°C). La zona con su fachada al norte (oficina + sala de reunión) y ganancia solar directa a través de ventanas bajas muestra una temperatura promedio de 19.3°C, una décima por encima de la zona sur también con ganancia solar directa a través de ventanas altas (administración y director). Se observa en la figura 9 un valor de 18.7°C en el pasillo, zona térmica intermedia entre la norte y la sur, por un lado, sin ganancia solar directa, y por otro, está conectada libremente con la administración, y hacia el oeste, con el SUM a través de una puerta que se abre en forma permanente. Ameritan un comentario particular dos áreas de uso discontinuo: el SUM (Salón de usos múltiples) y el plenum técnico-térmico. La primera área funcional (ver planta e imagen en figura) muestra una temperatura promedio de 14.2°C. El espacio destinado a cochera y a lugar de encuentro social y/o desarrollo de actividades de divulgación propias de un edificio destinado a la extensión agropecuaria, tiene su conexión con el exterior a través de una puerta metálica que cubre todo el vano (7.40mts) y casi la totalidad del ancho del área (8.05mts).

El elemento genera importantes pérdidas de energía no solo a través del elemento sino por la apertura total del mismo. El plenum (ver imagen) muestra una temperatura interior de 20.5°C. La ubicación espacial (nivel +3.00), una altura promedio de 1.70m y el diseño arquitectónico (abierto hacia administración) del área, genera estratificación térmica y un mayor aporte de energía desde la cubierta. La temperatura en los espacios de uso continuo oscila entre 18.7°C en el pasillo, y los 19.5°C en la oficina técnica con aporte solar. (Ver figura 8).

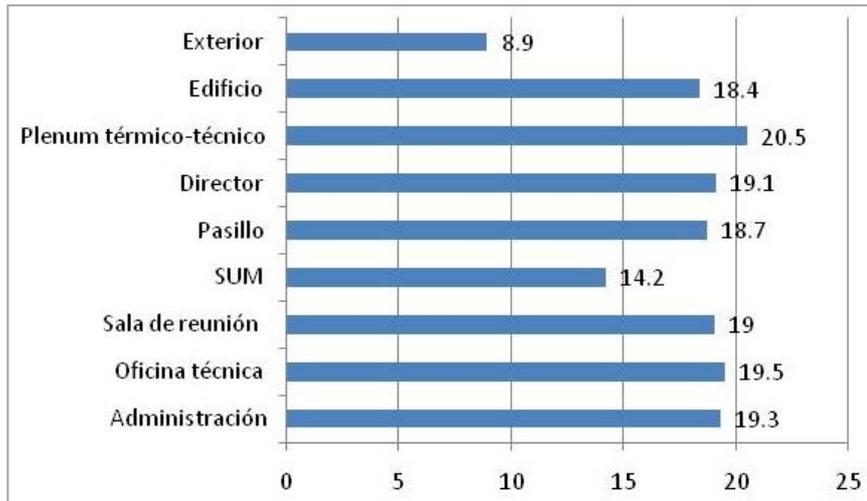


Fig. 8: Temperatura promedio por área funcional entre el 9 y el 26 de agosto de 2011

La lectura tri-diaria del consumo de energía en medidor) permitió realizar un análisis bastante riguroso de la energía consumida entre el 9 y el 26/8/2011, período caracterizado por vientos fuertes del sur y con descenso de la temperatura exterior. El período abarca no sólo fines de semana sino también fines de semana extendido. Para todo el período el consumo de gas natural para calefaccionar los espacios fue de  $389 \text{ m}^3$  (3790 kWh de acuerdo a:  $1 \text{ m}^3 = 8400 \text{ kcal}$ ). El gas consumido durante la jornada laboral (8 a 15.3h) fue de  $6.0 \text{ m}^3$  con una temperatura exterior que no fue inferior a  $10^\circ\text{C}$  y una máxima que osciló entre los  $16$  y  $17^\circ\text{C}$  y una radiación solar sobre superficie horizontal que fue variando entre los  $180$  y  $600 \text{ W/m}^2$ . La temperatura interior de la oficina al norte osciló entre los  $22.5$  y los  $20^\circ\text{C}$ . En el período entre el 17 y el 19/8/2011 caracterizado por vientos fuerte del sur, ausencia de sol y descenso de la temperatura exterior hasta los  $0^\circ\text{C}$ , el consumo de gas durante la jornada laboral trepó a  $10 \text{ m}^3$ . Durante las horas de uso el PMV oscila entre  $-0.5$  y  $5$ . A las 10h el valor es de 0 (neutral) con los calefactores en piloto según la opinión de los usuarios y con contribución de la ganancia solar directa. Para este valor de PMV el PPD y para una actividad metabólica de  $93 \text{ W/m}^2$  acuerda con la Norma ISO 7730 y corresponde a una temperatura interior que oscila entre  $18.3^\circ\text{C}$  (HR = 42%) y  $21.3^\circ\text{C}$  (HR = 35.4%). El día laborable 19/8, con cielo claro fue el climáticamente más riguroso con una temperatura exterior que descendió por debajo de los  $0^\circ\text{C}$  y la velocidad del viento sur alcanzó los  $4.2 \text{ m/s}$ . Como resultado el consumo de gas subió un 33% respecto a los días laborables definidos en párrafos anteriores, alcanzando los  $9 \text{ m}^3$ . La temperatura interior no superó los  $21.7^\circ\text{C}$ . Durante el fin de semana entre las 15.3 y las 8hs (12/8 al 15/8) los calefactores, según comentario de los usuarios, quedan en piloto, las cortinas de enrollar de todas las ventanas con fachada al norte permanecen cerradas (ausencia de aporte de calor solar) y el consumo es de  $0.73 \text{ m}^3/\text{h}$ . La temperatura promedio interior descendió desde los  $21.2^\circ\text{C}$  (finalización de la jornada laboral el día viernes) a los  $18^\circ\text{C}$  a las 8h (inicio de actividad del día lunes), comportamiento que estuvo en acuerdo, por un lado con el descenso de la temperatura exterior hasta los  $4^\circ\text{C}$ , a la ausencia del sol por oscurecimiento de las áreas transparentes y por ausencia de ganancias internas. El descenso de  $3.2^\circ\text{C}$  de la temperatura interior permite inferir que la masa de acumulación funcionó correctamente.

Respecto a los valores obtenidos en la simulación del comportamiento térmico según párrafos anteriores y para una temperatura media de  $6.9^\circ\text{C}$  (media mínima =  $1.1^\circ\text{C}$ ; media máxima =  $13.1^\circ\text{C}$ ), un cielo claro, y en condiciones reales de uso el edificio alcanzaría una temperatura media de  $18^\circ\text{C}$  con un consumo diario de  $4.6 \text{ m}^3$  de gas natural (con el encendido de 6 calefactores de  $2300 \text{ kcal/h}$  entre las 8 y las 11h). Para una temperatura interior de diseño menor, la performance térmica-energética real corresponde a una temperatura media exterior superior y a una temperatura media interior de alrededor de  $3.2^\circ\text{C}$  superior ( $21.2^\circ\text{C}$ ). Es posible inferir que la diferencia en el consumo diario de energía podría estar ocasionada por la mayor temperatura alcanzada, menor apertura de las cortinas de enrollar, mayor nubosidad y/o por coincidir con un período muy ventoso que provoca la disminución de la eficiencia de los calefactores al generar mayor disipación de energía a través de los conductos de ventilación. El consumo anual de energía destinada a calefacción fue de  $72.3 \text{ kWh/m}^2$  (C. Filippín, S. Flores Larsen, L. Marek, 2015). En acuerdo con I. Sartori, A.G. Hestnes (2007) puede ser considerado un edificio de bajo consumo. Los resultados acuerdan con las expresiones de Fabi et al. (2012), hay factores externos e individuales que influyen en el comportamiento de los ocupantes, y que podrían denominarse "Conductores", factores ante los cuales el ocupante del edificio reacciona, y otros que sugieren que actúe: el ocupante conduce una acción y que los autores dividen en cinco grupos: ambientales físicos, contextuales, psicológicos, fisiológicos y sociales.

La figura 9 muestra el comportamiento térmico del edificio hacia el final de la primavera y varios días del verano (entre el 24 de noviembre de 2011 y el 13 de febrero de 2012). El promedio de la temperatura interior de todo del edificio estuvo  $1.1^\circ\text{C}$  por encima de la temperatura promedio del aire exterior ( $24.3^\circ\text{C}$ ). Respecto al consumo de electricidad se distingue el consumo durante la jornada laboral y entre las 16 y las 7h del día siguiente. El mayor consumo se registra en diciembre con un valor promedio diario de  $12.25 \text{ kWh}$  con un coeficiente de variación del 51.4% (DS =  $6.3^\circ\text{C}$ ). Los valores máximos de energía eléctrica consumida se registraron el 27 y el 28/12/2011 con un valor de 21 y 23 kWh, respectivamente. La temperatura del aire exterior superó los  $35^\circ\text{C}$  con un valor mínimo de  $20^\circ\text{C}$ . La humedad relativa máxima osciló entre 50 y 60% con un valor mínimo

entre 14 y 17%. Ambos días fueron de cielo claro (radiación solar sobre superficie horizontal máxima = 900 W/m<sup>2</sup>) y ventoso con una velocidad de viento de 10.5 m/s con dirección norte. Según datos del consumo registrado en el medidor y la temperatura del aire interior, el día 27 se enciende el sistema mecánico de acondicionamiento cuando la temperatura llega a los 27.9°C (11.40h). El sistema se apaga cuando la temperatura alcanza los 24.0°C (14.40h). El día 28 se enciende el sistema con una temperatura interior

de 26.7°C (10.40h) y se apaga a los 24.0°C (13.10h). Corresponde a estos dos días entre 2 y 2 ½ h de encendido del sistema de acondicionamiento mecánico. Los resultados obtenidos de PMV y PDD cumplen con los requisitos de la norma ISO 7730. Los valores muestran que no hubo sobrecalentamiento, el diseño arquitectónico-térmico fue un aspecto que constituyó una gran preocupación para diseñadores y calculistas.

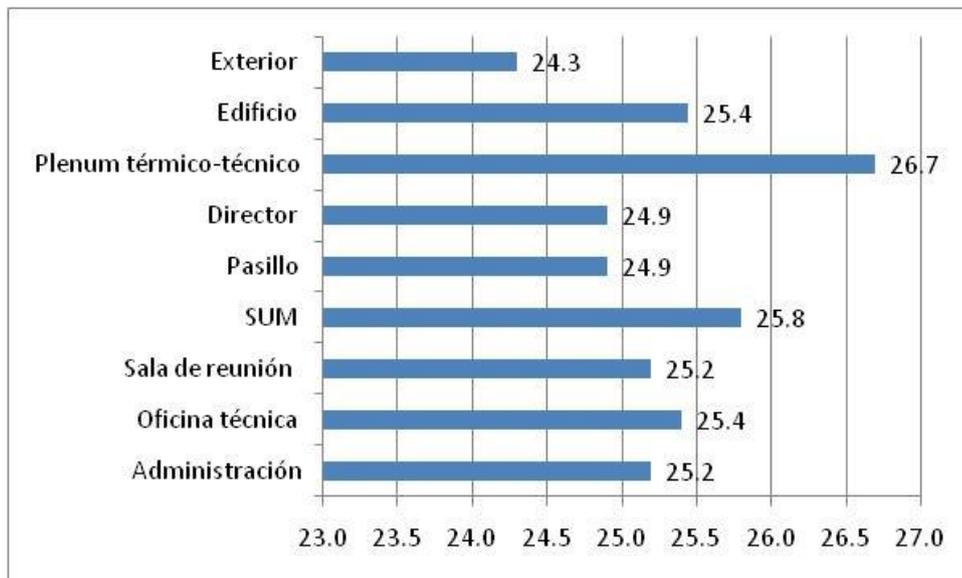


Fig. 9: Temperatura promedio por área funcional entre el 24 de noviembre de 2011 y el 13 de febrero de 2012.

Hacia el 2016 el desarrollo de las coberturas vegetales en el entorno inmediato del edificio satisface una de las pautas de diseño: 6. acondicionamiento del entorno inmediato exterior a través del diseño de espacios semi-cubiertos con una vegetación acorde a las diferentes orientaciones (árboles de hojas caducas y perennes) (Figura 10). Según párrafos anteriores, alrededor de un 2% del sobre-costo por implementación de estrategias bioclimáticas correspondió a la pérgola de protección climática. Si bien fue el valor más alto en un análisis por estrategia de diseño, los resultados de su implementación son satisfactorios según la opinión de los propios usuarios. Se prevé realizar un nuevo monitoreo en el verano 2019 para evaluar y realizar un análisis cuali-

cuantitativo del comportamiento energético del edificio con las protecciones de las coberturas vegetales y la ventilación natural.

#### 4. PRIMEROS RESULTADOS DE LA RELOCALIZACION DEL EDIFICIO

A partir de los resultados del monitoreo higro-térmico y energético se implementaron algunas modificaciones para la relocalización del edificio en Victorica, en el NO de la provincia, en la zona bioambiental IIIa, prácticamente en el



Fig. 10: Entorno inmediato al edificio

límite de la IVb de máxima irradiancia según Norma IRAM 11603, 1996/2011. La temperatura de diseño de invierno y verano es de 1.6 y 0.7 °C, respectivamente, superior a Guatraché. En acuerdo con esos valores los grados-día de calefacción y enfriamiento aumentan. La misma recomienda el uso de elementos y / o recursos que mejoren la inercia térmica, aberturas con sistemas de protección, el uso de colores claros en la envolvente exterior, evitando la orientación oeste

Los autores del presente trabajo resuelven mantener los lineamientos y pautas generales del diseño de acuerdo a los resultados del monitoreo del edificio anterior y considerando como validas los aportes y sugerencias de los usuarios. Se modifica la implantación en el terreno preservando la orientación hacia el norte de las áreas funcionales de uso permanente. Algunas estrategias: 1- mantener el área de ganancia solar directa. La decisión se toma priorizando el aumento de los grados días de enfriamiento y no los de calefacción para minimizar el sobrecalentamiento del edificio en las estaciones intermedias y el verano, 2: usar DVH

(Doble vidrioado hermético) en todas las áreas transparentes orientadas al sur sin protección nocturna, 3- mantener la tecnología de los componentes tecnológicos en cuanto a valor de permeabilidad térmica 4: continuar con el uso de cortinas de enrollar de aluminio con lamas blancas aisladas tipo barrio en ventanas bajas y de enrollar común en ventanas altas, 5: cerrar con carpintería el plenum técnico-térmico hacia la administración para evitar la estratificación térmica entre ambas áreas funcionales, manteniendo la conexión con una pasarela a través de una puerta que permite además generar ventilación natural, favorecida por un aspirador eólico en el punto más alto de la cubierta, 6: cerrar el pasillo con carpintería para independizar el SUM con mayores renovaciones de aire por las características propias a su uso (salón de usos múltiples) y así evitar la zonificación térmica entre ambas áreas que fue de 4.5°C en el edificio monitoreado, 7- colocar estantes de luz móviles para minimizar deslumbramiento en el sector de administración según observación de los usuarios. (Ver Figura 11).



Fig. 11: Implantación del edificio, acceso y fachada norte, vista interior del plenum desde administración y vista de los estantes móviles de luz.

El monitoreo energético comenzó el 17 de julio de 2017 y se prolongó hasta el 5 de febrero de 2018. Durante agosto prevalecen en el exterior, temperaturas del aire cercanas a 0°C, máximas que rara vez superan los 20°C y días con cielo claro con buena insolación. La temperatura del aire interior promedio en el área de uso continuo osciló en los 19.5°C, el plenum, registró un valor medio de 19.1°C, el área de socialización 16°C. En acuerdo con la aspiración del diseño disminuyó a 0.4°C la estratificación térmica del aire entre el plenum y el área de administración, respecto al edificio anterior (1.2°C). En cuanto al consumo de energía para calefaccionar el edificio se describen dos situaciones: día nublado con una radiación solar máxima de 100 W/m<sup>2</sup> y una

temperatura del aire que alcanzó los 14°C el gas natural consumido fue de 17,2m<sup>3</sup> (0,064 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) para una temperatura interior promedio en el área de uso continuo de 21.7°C. Un día de cielo claro con un valor de radiación solar máximo de 500 W/m<sup>2</sup> y una temperatura máxima del aire exterior de 18°C, el gas natural consumido fue de 7.6m<sup>3</sup> (0,028 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) para una temperatura interior promedio en el área de uso continuo de 22.3°C. En esta primera aproximación se observa claramente el efecto de la solarización y conservación de energía: la mayor disponibilidad del recurso solar reduce al 50% el gas natural consumido. Hacia el verano, el 29 de diciembre de 2017 la temperatura del aire exterior trepó a los 45°C. El área de uso

continuo alcanzó una temperatura máxima promedio de 27°C. El consumo de energía eléctrica destinada al acondicionamiento mecánico fue de 22 kWh (0.081 kWh/m<sup>2</sup>). Al igual que para el comportamiento de invierno, el de verano se presenta como muy auspicioso.

## 5. CONCLUSIONES

El desarrollo del trabajo permitió cumplir con los objetivos: - integrar las métricas inherentes al propio edificio y el proceso de diseño y su construcción, los resultados del comportamiento energético, la respuesta del usuario y los cinco años de uso del edificio. La integración de las diferentes etapas: diseño, construcción y monitoreo posibilitó tomar decisiones para la relocalización geográfica del edificio, nuevamente en una pequeña localidad hacia el NO de la provincia con condiciones térmicas en invierno y verano más rigurosas. De acuerdo a los resultados obtenidos en Guatraché, en la nueva localización geográfica, zona muy cercana a la zona bioambiental de máxima irradiancia, se priorizó satisfacer el aumento del valor de grado - día anual de enfriamiento manteniendo el área de ganancia directa, aún con un valor mayor de grado-día anual de calefacción.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ente Promotor de estos edificios experimentales: Centro Regional del INTA, La Pampa-San Luis. También a técnicos y administrativos de las Unidades de Extensión por su valiosa y activa participación en cada monitoreo. A las arquitectas Florencia Cantera y Rocio Piatti por su valiosa colaboración en la re-elaboración de la planta, corte y vista de edificio de la Agencia de Extensión del INTA, Guatraché.

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

## REFERENCIAS

- Branco G, Lachal B, Gallinelli P, Weber W. (2004). Predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on long-term experimental data. *Energy and Buildings*; **36**:543-555.
- Czajkowski J.; Gomez A. (1994). Introducción al diseño bioclimático y economía energética edilicia. Fundamentos y métodos, Publicación de la Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, República Argentina.
- EEO, Energy Efficiency Office (1994). Comparing with accepted standards-performance indices, Published by the Department of the Environment, Great Britain.
- Esteves, A.; Oliva, A. L.; Gelardi, D. Nueva medida para considerar la forma en la conservación de energía en edificios. Revista de la Universidad de Mendoza, 16, 1997-1999, EDIUM.
- Filippín C., Marek, L. (2010). Edificio Bioclimático para la Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial del INTA en Guatraché (La Pampa). IN: Arquitectura Sostenible. Bases, soportes y casos demostrativos. Compiladora: Beatriz Garzon. 1ª ed. Buenos Aires: NOBUKO, 238p. ISBN: 978-987-584-295-3. pp. 53-69.
- Filippín C., S. Flores Lrsen, Marek, L. (2015). Experimental monitoring and post-occupancy evaluation of a non-domestic solar building in the central region of Argentina. *Energy and Buildings*; **102**: 18-31.
- Filippín, C., Beascochea, A. (2007). Performance assessment of low-energy buildings in central Argentina. *Energy and Buildings*; **39**: 546-557.
- Flores Larsen, S.; Lesino, G. (2016). Simedif bajo Windows, 2001. Available at: <http://exactas.unsa.edu.ar/simedif/>.
- Grossi Gallegos H. y Righini R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Versión CD.
- IEA 2009, International Energy Agency, Website of Task 41: *Solar Energy and Architecture* (<http://www.iea-shc.org/task41/>).
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. IRAM 11602: Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Buenos Aires, 1992/2011
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. IRAM 11604: (2011). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrótérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. Buenos Aires.
- International Organization de Standardization. ISO 7730: (2005). Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- Lucon O., D. Urge-Vorsatz, A. Zain Ahmed, H. Akbari, P. Bertoldi, L. F. Cabeza, N. Eyre, A. Gadgil, L. D. D. Harvey, Y. Jiang, E. Liphoto, S. Mirasgedis, S. Murakami, J. Parikh, C. Pyke, and M. V. Vilarino (2014): Buildings. In: Climate Change : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlomer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Marchio D, Rabl A. (1991). Energy-efficient gas-heated housing in France: predicted and observed performance. *Energy and Buildings*; **17**:131-139.
- Marek, L. y Filippin, C. (2007), Edificio bioclimático para la Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial del INTA en Guatraché (La Pampa). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **11**, 05. 01 - 05. 08.
- New Method 5000. Appendix 14, Section III. In Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook. SBN 0 7134 69188.
- Nordford L.K., Socolow R.H., Hsieh E.S., Spadaro G.V. (2013). Two-to-one discrepancy between measured and predicted performance of a "low energy" office building: insights from a reconciliation based on the DOE-2 model. *Energy and Buildings* 1994; **21**:121-131.
- OECD/IEA, Transition to Sustainable Buildings, Strategies and Opportunities to 2050.
- Sartori, I., A.G. Hestnes, A.G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, **39**: 249-257
- Servicio Meteorológico Nacional. (1992). Estadísticas Climatológicas 1981-1990, Serie B - N° 37, Buenos Aires, Argentina.
- WBCSD, (2009), Energy Efficiency in Buildings: Transforming the market, WBCSD, Switzerland,