

Modelado térmico-energético edilicio como instrumento didáctico: Aplicación práctica en Asignatura de Arquitectura Sustentable

*Irene Blasco Lucas*¹, *Celina Filippín*², *María Silvia Castro*¹, *Celina Villalba*¹, *Anahí Guevara*¹

Resumen

Se realizó una experiencia con el fin de lograr a la vez una rápida y profunda comprensión de la importancia que representa el uso de estrategias sustentables en edificios, como parte de la Asignatura "Arquitectura Sustentable en la Aridez" en la Maestría en Arquitectura de zonas áridas y sísmicas de la Universidad Nacional de San Juan. En ella, los conocimientos aprendidos fueron aplicados mediante el diseño de pequeños modelos analógicos y digitales, y la evaluación de su comportamiento térmico-energético a través de monitoreos y simulaciones respectivamente, asociado al uso de dos herramientas informáticas específicas. Como ejemplo se muestra sintéticamente el informe elaborado por un equipo de estudiantes del posgrado.

Palabras clave: Térmico-energético; modelos; instrumento didáctico; sustentabilidad.

Thermal-energy building modeling as a teaching tool: Practical application in Sustainable Architecture Subject

Abstract

An experience has been done in order to achieve both a quick and deep understanding of the importance that the use of sustainable building strategies represents, as part of the subject "Sustainable Architecture in aridity" at the Master of Architecture in arid and seismic zone of the National University of San Juan. In this, learned knowledge was applied by designing small analog and digital models, and evaluating its thermal-energy performance through monitoring and simulation respectively, associated the use of two specific tools. As example, a summarized report prepared by a team of graduate students is shown.

Keywords: Thermal-energy; models; didactic instrument; sustainability.

¹ Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa-FAUD-UNSJ). Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan, Argentina. Tel.:+54-264-423-2395 Int. 318. E-mails: iblasco@faud.unsj.edu.ar, iblasco06@gmail.com

² CONICET. Av Spinetto 785, Santa Rosa - 6800 La Pampa, Argentina. Tel/fax: +54-295-430-910. E-mail: cfilippin@cpenet.com.ar

Introducción

En el presente trabajo se considera que hacer *Arquitectura Sustentable* “...implica concebir el diseño arquitectónico teniendo en cuenta en el largo plazo los aspectos ambientales, económicos, sociales e institucionales para aprovechar moderada y eficientemente los recursos utilizados y minimizar impactos negativos de las construcciones, tanto sobre el ambiente natural como sobre los habitantes, donde los temas energéticos relacionados con el mantenimiento de condiciones confortables adquieren gran relevancia.” (Blasco Lucas, 2013). Conforman el principal compromiso ético disciplinar en la actualidad, afianzando el concepto de Arquitectura como “*arte-ciencia del buen construir el hábitat humano*” (Tedeschi, 1969). De allí la importancia de incorporar un sólido cuerpo teórico-metodológico de conocimientos en la enseñanza de grado y posgrado, con sus principios básicos e instrumentos adecuados para ejercer la práctica profesional. Por el carácter de ciencia fáctica y la esencia multidisciplinar de la Arquitectura resulta particularmente apta la pedagogía constructivista para reforzar tanto la participación activa, como la responsabilidad y creatividad de los estudiantes en estrecha relación con los docentes. Es necesario entonces utilizar recursos didácticos apropiados a las características disciplinares para lograr los fines formativos perseguidos e integrar la visión espacio-temporal propia de la Arquitectura Sustentable (Blasco Lucas, 2015).

En general se acepta que la teoría es un sistema lógico-deductivo constituido por un conjunto de hipótesis aplicadas a un campo específico a través de algunas reglas que permitan extraer conclusiones y hacer inferencias, sirviendo de este modo para confeccionar **modelos** que interpreten un conjunto amplio de observaciones y datos experimentales, en función de los axiomas o principios, supuestos y postulados de la teoría, dando fundamentos para llevar a cabo experiencias en un mayor nivel de certeza (Mario Bunge, 1975; en Lakatos, 1993 : 123-133).

Según el diccionario (LECTUM, 1965 : Tomo III), el término “*Modelo*” tiene diferentes acepciones, pero todas se relacionan con el sentido de molde (en latín “*Modulus*”, en italiano “*Modello*”). En su más amplia concepción todas las definiciones refieren que se trata de una “*interpretación de algo*”. Dado que un “*modelo*” es una representación abstracta de una parte de la realidad, una imagen de la misma -la cual constituye un macrosistema que interconecta varios sistemas-, el mismo se constituye en una herramienta ideal para facilitar procesos de enseñanza-aprendizaje.

Características y tipos de “modelos”

Debido a las naturales limitaciones del ser humano para aprehender la complejidad inherente a la realidad -que surge de la multiplicidad de aspectos intervinientes y tipos de interrelaciones entre los mismos-, se recurre a la construcción de modelos, que se caracterizan tanto por seleccionar aquellas variables de mayor relevancia para el problema analizado, como por excluir aquellas que pueden influir en un porcentaje muy bajo en el fenómeno de estudio, contribuyendo de este modo a lograr una mayor claridad. Esto implica una simplificación de la realidad, por lo cual, mientras ésta sea mayor, menor será la posibilidad de éxito del modelo, por alejarse demasiado de la necesaria fidelidad con su fuente de origen (Thuvander, 2000 : 14-17). Es así que en la Ciencia de la computación teórica se utiliza el concepto de “*modelo*” (Biehl, 2010: 6-15) entendiéndolo como una representación sencilla que ayuda a una mejor comprensión del sistema global, capaz de capturar la información de las etapas del ciclo de vida y actividades de desarrollo de distintos dominios (requisitos, diseño, implementación, pruebas, análisis de calidad, simulación, verificación).

Las nociones de modelo y sistema van estrechamente asociadas: el sistema es la parte de la realidad a ser analizada y el modelo es su representación, en definitiva, es un sistema que representa a otro (Lundequist, 1995 : 93). Son construcciones sociales y se los utiliza heurísticamente (del Griego, *heuriskein*: encontrar) para lograr visualizar y simular procesos dinámicos complejos.

Von Bertalanffy (1998) afirma que la Teoría General de Sistema (TGS) *“representa un amplio punto de vista que trasciende grandemente los problemas y los requerimientos tecnológicos, una reorientación que se ha vuelto necesaria en la ciencia en general, en toda la gama de las disciplinas que va de la física y la biología a las ciencias sociales y del comportamiento, y hasta la filosofía”*. Rompiendo con el enfoque clásico de las ciencias exactas, la TGS se instrumenta a partir de detectar isomorfismos, que son paralelismos entre principios cognoscitivos generales en distintos campos, resultando abstracciones y modelos conceptuales coincidentes aplicables a fenómenos diferentes, en muchos casos relacionados con una ley específica. Las causalidades lineales y no lineales (incluso las circulares), la reversibilidad e irreversibilidad de los fenómenos (alta entropía), las perturbaciones previstas y arbitrarias, la aleatoriedad, la homeostasis (o búsqueda natural del equilibrio), el automatismo, etc., son algunos de los múltiples conceptos que intervienen en los sistemas complejos, muchos de ellos posibles de modelar matemáticamente mediante cálculo infinitesimal, mientras que otros -generalmente en el campo de las ciencias humanas- aplican la TGS a modo de “explicaciones en principio” resultando “modelos verbales” con argumentaciones cualitativas (lógica tradicional y lógica difusa).

Siempre es muy importante lograr definir correctamente el sistema y los principios, modelos y leyes generales aplicables al problema que se estudia, y esto no puede basarse en analogías vagas y superficiales (Von Bertalanffy, 1998 : 23-48). En función de todo lo afirmado anteriormente, se puede sintetizar que los Modelos se caracterizan por:

- contar con principios que permiten relacionar estrechamente los elementos reales con los representados
- conformarse en base a la estructura real de un sistema
- poseer un nivel de complejidad estrechamente relacionado con la cantidad de información que contienen
- ser sólo verdaderos para el sistema que representan
- resultar válidos para representar relaciones entre varios sistemas diferentes
- lograr ser exitosos solo cuando se formulan correctamente las preguntas que definen el problema de origen

Generalmente se utilizan esquemas gráficos o ideogramas para construir los modelos, y al igual que éstos, se estructuran dando un orden particular a los conceptos, elementos y variables interactuantes (Ramos Álvarez, 2005 : 23-26). Algunos autores (Climent, 1993) clasifican estos modelos e ideográficas en dos grupos, cada uno con cuatro tipos diferentes según su complejidad, principalmente adaptados a problemáticas de gestión. En el primer grupo existen controles cíclicos entre cada etapa del proceso y enfatizan el alcance de la meta final. Pueden ser: lineales, multi-lineales, cibernéticos y socio-cibernéticos. El segundo grupo, se centra en el intercambio de procesos, abarcando los holísticos, interdependientes, cibernéticos holísticos y cibernéticos interdependientes.

Por otro lado, el uso generalizado de la tecnología informática ha llevado a diferenciar entre “modelos analógicos” y “modelos digitales”. En Arquitectura, ambos son usados habitualmente en el proceso de diseño, sobre todo para elaborar “maquetas” de los espacios. En el primer caso, son materializadas físicamente en escala reducida, y en el segundo, son visualizables vectorizadas en las pantallas de computadoras. Los dos tipos resultan de gran utilidad, enfatizando distintos fines. Adicionalmente, aunque en menor grado, se requieren “modelos alfa-numéricos” -que también suelen ser digitales- para cuantificar y evaluar determinadas variables constructivas. Estos modelos presentan dificultades para ser incorporados en el proceso de diseño debido a las características intelectuales y cognitivas de los alumnos de la Carrera Arquitectura, que normalmente vivencian estas herramientas como limitantes de su creatividad.

Metodología

La experiencia llevada a cabo, se conforma de 4 instancias pedagógicas claves, consistentes en:

1. **Teoría:** Principales fundamentos teóricos del tema brindados por los docentes, los cuales serán profundizados por los alumnos. En el presente caso, versó sobre estrategias bioclimáticas y de ahorro energético.
2. **Ideación y Materialización:** Aplicación teórico-analítica por parte de los alumnos, de los conceptos básicos recibidos, a fin de diseñar sistemas de acondicionamiento térmico pasivo en un espacio dado, y la experiencia a llevar a cabo, tales como:
 - 2.1. Construcción del modelo físico-analógico correspondiente, respetando las características de los componentes reales y las proporciones dimensionales respectivas.
 - 2.2. Descripción de un módulo constructivo sencillo predefinido, con algunos sistemas utilizados en el planteo bioclimático elaborado.
3. **Cuantificación:** Registro y simulación de los parámetros principales realizando las variaciones previstas en los modelos, tales como:
 - 3.1. Mediciones de temperatura y humedad en tiempo real con dataloggers de los puntos clave del sistema que se testea, exponiéndolo durante 2 días y 1 noche a cielo abierto. Se usan para las lecturas intervalos de tiempo del orden del minuto. Además se mide el ambiente exterior y el del aula, éste a modo de referencia.
 - 3.2. Cálculo dinámico del comportamiento térmico y el consumo energético asociado del módulo constructivo predefinido, cambiando localización geográfica, y/o dimensiones y tipos de componentes.
4. **Uso de herramientas:** Manejo de programas informáticos para procesamiento de mediciones y de cálculo térmico-energético, a fin de ejercitar a los alumnos en su uso y en la interpretación de los resultados, en esta oportunidad fueron:
 - 4.1. PROMEDI-HTL (Blasco Lucas, 2013), que es un libro programado en planillas Excel, apto para el análisis simultáneo de los registros ejecutados con múltiples sensores.
 - 4.2. SIMEDIF (Flores Larsen y Lesino, 2000; Filippín, 2005), el cual es un programa de libre disponibilidad, para diseño y simulación del comportamiento de edificios con acondicionamiento térmico natural y artificial.

Para resolver las cuestiones operativas, se conformaron equipos compuestos con 2 o 3 integrantes, libres para interactuar entre los distintos grupos. Se destinó un tiempo acotado de 2hs para elaborar

el diseño, y 4hs para construir el modelo analógico, mientras que la simulación se llevó a cabo durante 4hs y el procesamiento e interpretación final de resultados en 2hs adicionales. Con todo el material los alumnos redactaron posteriormente un informe -contando con la asistencia docente por vía mail-, lo cual fue útil para que terminaran de madurar el tema.

Experiencia realizada

Cada equipo tuvo las consignas y el tiempo para la ideación el día anterior al previsto para la construcción de las maquetas, debiendo conseguir los materiales necesarios para contar con los mismos durante la actividad de Taller (Figura 1), que se desarrolló en un clima distendido de reflexión, diálogo, intercambio y trabajo. En la Figura 2 se muestran algunos modelos analógicos construidos en el breve lapso estipulado. Una vez dispuestas las maquetas al aire libre para efectuar las mediciones higrotérmicas, se llevó a cabo el Taller experimental de modelado térmico-energético digital (Figuras 3 y 4) con SIMEDIF, donde primero la docente mostró un ejemplo resuelto, y luego los alumnos se ejercitaron realizando variaciones al módulo constructivo definido previamente.

Figura 1. Taller experimental durante la construcción de los modelos analógicos.



Fuente: Foto tomada por I. Blasco Lucas.

Figura 2. Algunos modelos analógicos construidos.



Fuente: Fotos tomadas por I. Blasco Lucas.

Figura 3. Taller de experimentación de modelos digitales: Explicación de ejemplo de simulación con SIMEDIF.



Fuente: Foto tomada por I. Blasco Lucas.

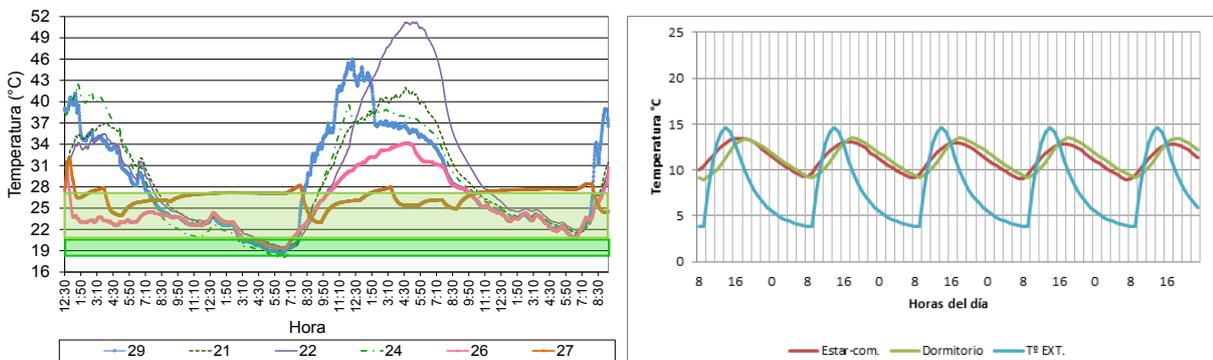
Figura 4. Taller de experimentación de modelos digitales: Práctica individual de simulación con SIMEDIF.



Fuente: Foto tomada por I. Blasco Lucas

En la Figura 5 se exponen algunos resultados obtenidos con las herramientas informáticas que ejercitaron los alumnos para el procesamiento de mediciones higrotérmicas (programa PROMEDI-HTL, Izquierda), y para la simulación térmico-energética (software SIMEDIF, Derecha).

Figura 5. Algunos resultados obtenidos con herramientas informáticas. Izquierda: con PROMEDI-HTL (procesamiento de mediciones higrotérmicas). Derecha: con SIMEDIF (Simulación térmico-energética).



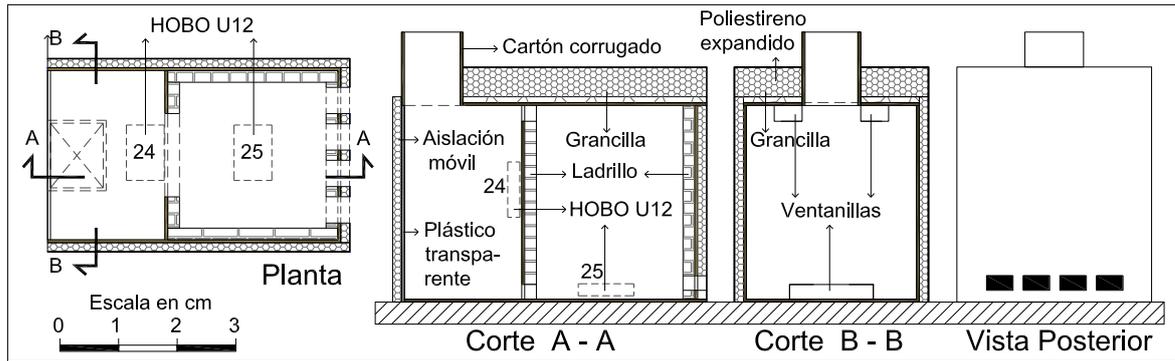
Fuente: Figuras elaboradas por I. Blasco Lucas con PROMEDI-HT(Izq.), y por M.M. Herrera y E. Franco (Der.).

A modo de ejemplo de los resultados detallados obtenidos en cada instancia pedagógica, a continuación se presentan parcialmente los informes individuales realizados por uno de los equipos conformados, rescatando solo los aspectos comunes a todos los grupos, pues cabe destacar que hubo interesantes aportes diferenciales en cada caso.

Ideación del Sistema

Para el diseño de la maqueta (Figura 6) se tuvo como referencia las cartillas con esquemas de sistemas pasivos de calefacción y refrescamiento, provistas en el curso, que permitieron definir los componentes de los cuatro subsistemas energéticos del modelo: *Captación*, *Acumulación*, *Conservación* y *Distribución*. A partir del análisis del clima de la ciudad de San Juan con diferentes métodos bioclimáticos, se precisaron las estrategias generales adecuadas para lograr una arquitectura adaptada a sus particulares características ambientales, y se seleccionaron tanto las de utilidad anual, tales como: **masa térmica** (con grancilla en el techo y ladrillos en los muros) y **conservación energética** (con aislación térmica de poliestireno expandido en toda la envolvente); como también las estacionales: **ventilación cruzada** (con aberturas en la parte inferior del muro expuesto al Sur, y superiores en el orientado al Norte); **chimenea solar** (para evacuar el aire caliente en verano); **protección solar** (mediante persiana móvil de poliestireno expandido que sirve de alero cuando está abierta, y color blanco en la envolvente); y **ganancia directa** para invierno (con plástico transparente al Norte).

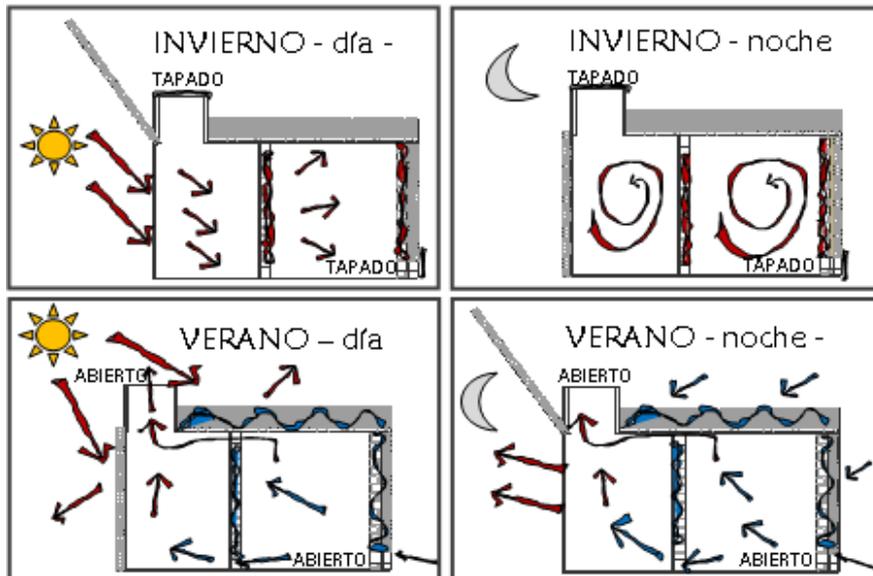
Figura 6. Ideación del sistema: descripción gráfica del modelo analógico.



Fuente: Figura elaborada por I. Blasco Lucas en base a esquemas hechos por A. Guevara y C. Villalba.

Asimismo, se analizó esquemáticamente el funcionamiento térmico que tendría el modelo analógico propuesto durante el día y la noche de las dos estaciones más extremas (invierno y verano), cuyos gráficos se representan en la Figura 7.

Figura 7. Ideación del sistema: descripción gráfica del funcionamiento térmico estacional, diurno y nocturno del modelo analógico.



Fuente: Figura elaborada por I. Blasco Lucas en base a esquemas hechos por A. Guevara y C. Villalba.

Materialización del modelo analógico

En la Figura 8 se muestra la materialización del modelo analógico en distintos momentos.

Figura 8. Modelo analógico: proceso constructivo y exposición en la terraza de posgrado junto a otras.



Fuente: Fotos tomadas por I. Blasco Lucas y M.S. Castro.

En las fotos se puede ver el proceso constructivo con los materiales que conformaron la maqueta, el aspecto de la misma terminada, y su exposición en la terraza de posgrado junto a otras, mientras se registraban las mediciones. Se utilizó una caja de cartón corrugado como contenedor estructural de los distintos elementos del modelo, y para personalizarla se la denominó “Villa 31”.

Procesamiento y análisis de mediciones higrotérmicas

Aunque se instalaron dos sensores HOBOS -uno en cada recámara de la maqueta- solo funcionó el del espacio delantero identificado como “24”. Para contar con los valores de los parámetros exteriores, se ubicó protegido afuera otro sensor, cuyo código fue “29”. A modo de referencia se llevaron a cabo mediciones en el interior del aula (climatizada), a través del datalogger “27”, para comparar los distintos resultados. El resumen de datos estadísticos se muestra en la Tabla 1.

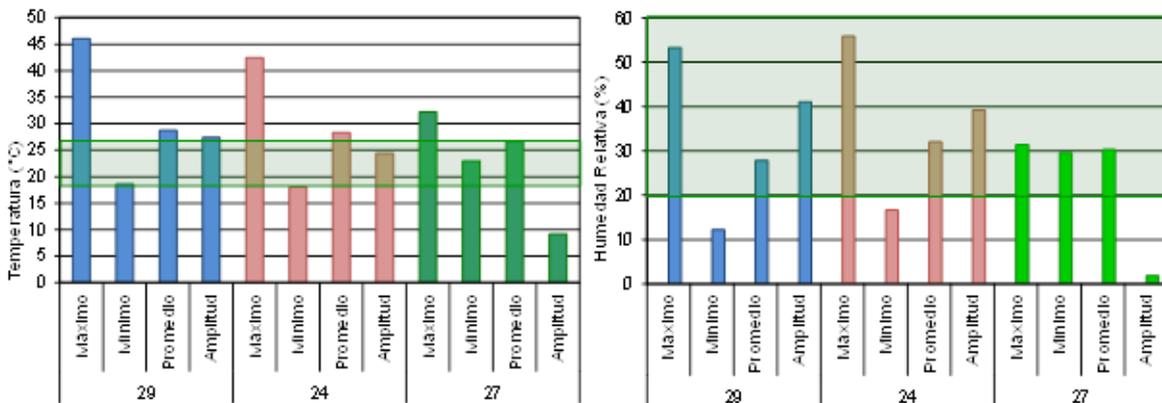
Tabla 1. Síntesis de datos estadísticos.

Sensor	Valor	Temperatura				Humedad Relativa				Iluminancia (Lux)
		Estadística	Cálculo Variaciones			Estadística	Cálculo Variaciones			
			V = E-Ci (°C)	V/E (%)	Ci/E (%)		V = E-Ci (%)	V/E (%)	Ci/E (%)	
29	Máximo	46,00	-	-	-	53,32	-	-	-	32280,10
	Mínimo	18,60	-	-	-	12,23	-	-	-	3,90
	Promedio	28,71	-	-	-	27,83	-	-	-	11622,18
	Amplitud	27,40	-	-	-	41,09	-	-	-	32276,20
24	Máximo	42,45	3,56	8	92	55,86	-2,54	-5	108	32280,10
	Mínimo	18,01	0,59	3	97	16,63	-4,40	-36	136	3,90
	Promedio	29,33	0,39	1	99	32,01	-4,18	-15	115	4658,51
	Amplitud	24,44	2,96	11	89	39,23	1,85	5	95	32276,20
27	Máximo	32,18	13,83	30	70	31,38	21,94	41	49	32280,10
	Mínimo	22,97	-4,36	-23	123	29,56	-17,33	-142	242	3,90
	Promedio	26,62	2,09	7	93	30,27	-2,45	-9	109	2903,00
	Amplitud	9,21	18,19	66	34	1,81	39,27	96	4	32276,20

Fuente: Tabla elaborada por I. Blasco Lucas con PROMEDI-HTL.

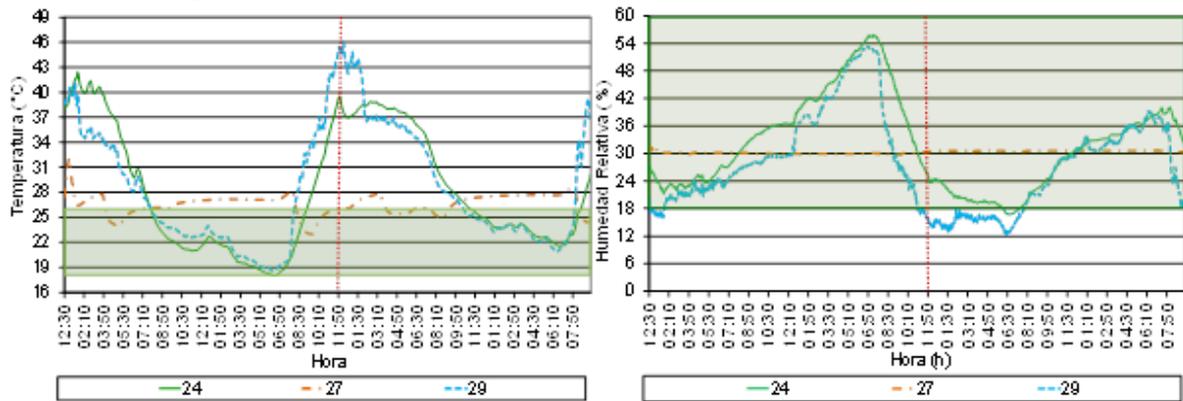
Las condiciones climáticas durante la experiencia fueron extremas (20/11/2013), alcanzando una temperatura máxima de 46°C (Tabla 1). En el interior de la maqueta llegó a 42,45°C logrando bajar más de 3°C, sin embargo, en los valores mínimos solo desciende 0,59°C, pero finalmente la amplitud térmica es de 24,44°C, un 8% menor que la exterior. La humedad máxima es 2,5% superior en el interior del modelo, mientras que la mínima es un 4,4% menor. Aunque el aula estuvo climatizada mientras se ocupó, alcanzó más de 32°C. Debido al amplia área transparente presentó una elevada luminancia (igual a la exterior) cuando la misma estuvo sin protección.

Figura 9. Representación de los valores estadísticos de temperatura (Izquierda) y humedad (Derecha).



Fuente: Figuras elaboradas por M.S.Castro, C. Villalba y A. Guevara con PROMEDI-HTL.

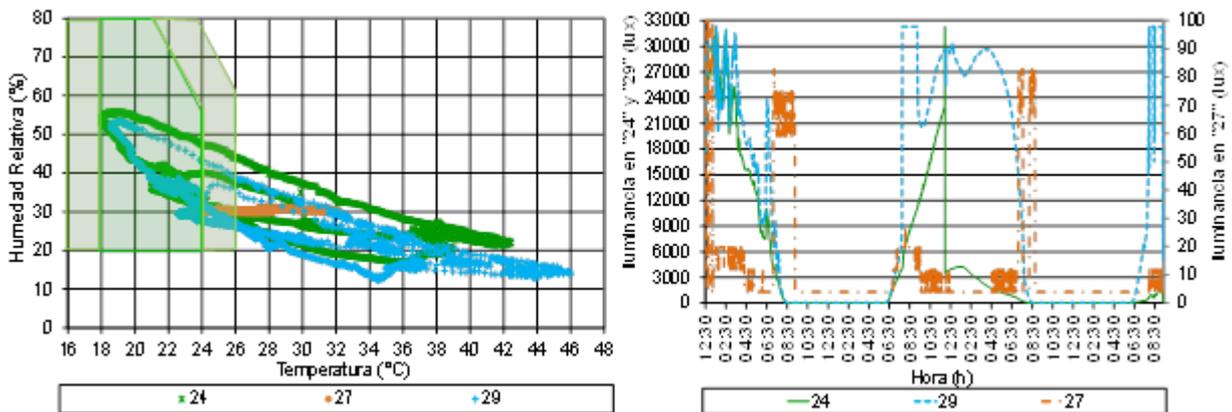
Figura 10. Evolución temporal de temperatura (Izquierda) y humedad (Derecha).



Fuente: Figuras elaboradas por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara con PROMEDI-HTL.

Durante el primer día la superficie de plástico transparente del modelo permaneció sin la protección térmica, lo cual determinó que en horario nocturno las temperaturas interiores fuesen levemente más bajas que las exteriores, pero que en horario diurno ascendiesen hasta 3°C por sobre la misma, ya que el área prevista de ventilación resultó insuficiente para evacuar el calor acumulado en la masa del modelo. Recién a partir de mediodía de la segunda jornada se cubrió la abertura transparente (el momento se indica con línea punteada color rojo en las gráficas de la Figura 10) permitiendo un descenso marcado de la temperatura al inicio, y manteniendo una menor diferencia por encima de la exterior. El aula tuvo una curva muy aplanada, pero fuera de la zona de confort, con una baja humedad relativa (30%).

Figura 11. Dispersión higrométrica (Izquierda) e Iluminancia (Derecha).



Fuente: Figuras elaboradas por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara con PROMEDI-HTL.

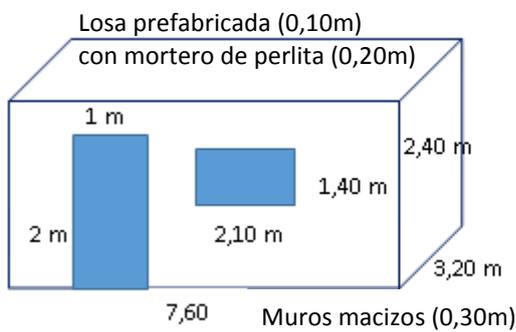
En la Figura 11 Izquierda se observa que las condiciones higrotérmicas del modelo acompañan el comportamiento exterior logrando una mejoría considerada significativa si se tiene en cuenta la escala del mismo, la rigurosidad climática que tuvo lugar y el elevadísimo albedo causado por la cubierta de membrana de aluminio, más aún cuando las estrategias aplicadas no fueron manejadas correctamente -debido a la dificultad que hubo para ascender a la azotea donde se llevaron a cabo las mediciones-.

La Iluminancia interior de la maqueta sigue prácticamente la curva de la exterior y desciende bruscamente cuando se tapa el área de ganancia solar (Figura 11 Derecha). El aula estuvo la mayor parte del tiempo oscurecida por el uso del proyector.

Módulo constructivo para simulación

En la Figura 12 se representa el módulo constructivo predeterminado para realizar las diferentes variantes de simulación térmico-energética. El mismo mide 7,20m x 3,60m x 2,60m, y tiene dos puertas de madera de 2,00m x 1,00m en muros opuestos (todos macizos de 0,30m), y una ventana de 2,10m x 1,40m orientadas al Norte (vidrio simple de 4mm). La losa es prefabricada de 0,10m de espesor con 0,20m de mortero de perlita. Se evalúa el comportamiento térmico del módulo para la ciudad de San Juan (Tabla 2), variando los niveles de aislación térmica y el uso o no de sistemas de acondicionamiento (con/sin termostato). A su vez, se analizan las situaciones con termostato en invierno a 18°C y 20°C; y en verano a 20°C y 24°C. Con los resultados obtenidos, se compara la energía auxiliar necesaria para cada situación.

Figura 12. Módulo constructivo predeterminado.



Fuente: Elaborado por M.S. Castro.

Tabla 2. Datos de localización y climáticos utilizados.

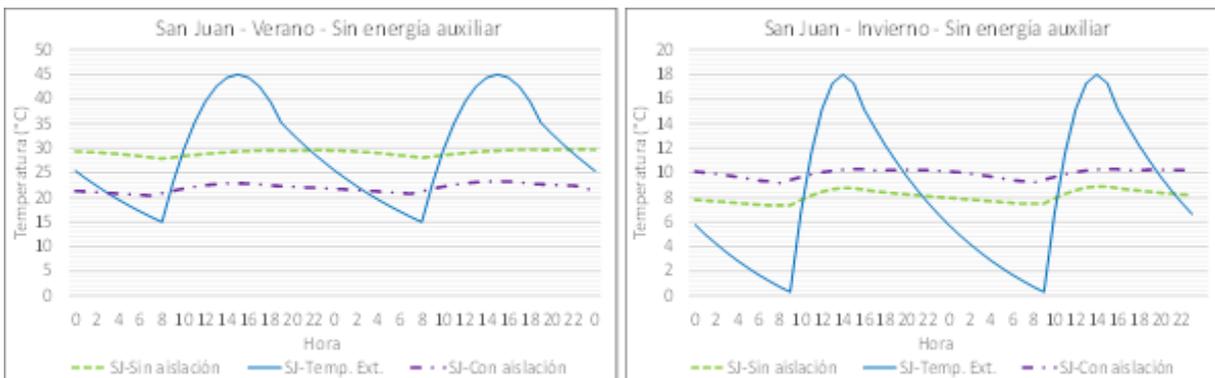
Ciudad			San Juan
Localización Geográfica	Latitud		31,8
	Longitud		68,4
	Altura snm (m)		598,0
Estación	Parámetro	Tipo	
Invierno	Temperatura (°C)	Máxima	18,0
		Mínima	0,3
		Promedio	8,8
	Radiación	Global (MJ/m ²)	10,8
Verano	Temperatura (°C)	Máxima	45,0
		Mínima	15,0
		Promedio	30,0
	Radiación	Global (MJ/m ²)	25,2

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.

Simulación térmico-energética

Las simulaciones fueron realizadas para 15 días corridos en cada estación, pero se analizan solo los dos últimos, cuando ya entró en régimen el sistema. A modo de ejemplo de los resultados obtenidos con SIMEDIF para diferentes alternativas se muestran las gráficas de las Figuras 13 y 14. En la Figura 13 se analiza el comportamiento del módulo para ambas estaciones sin aislación y con aislación térmica. Se observa que en verano durante la primera situación alcanza valores que varían alrededor de los 30°C, mientras que en la segunda permanece en la zona de confort, descendiendo la temperatura hasta 10°C.

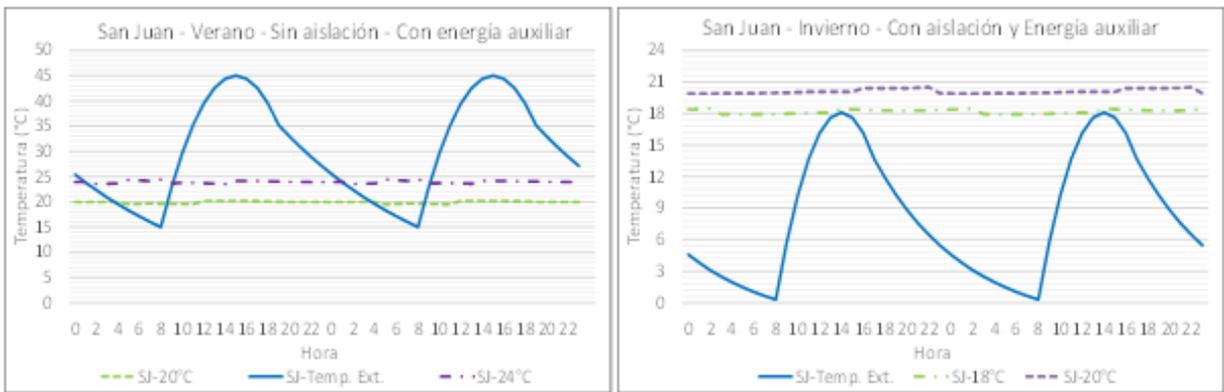
Figura 13. Algunos resultados obtenidos con SIMEDIF sin aislación térmica ni uso de energía auxiliar.
Izquierda: para Verano. **Derecha:** para Invierno.



Fuente: Figuras elaboradas por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara usando MS-Excel.

Asimismo, en invierno, sin aislación la temperatura oscila alrededor de los 8°C, y con aislación sube unos 2°C, pero continúa permaneciendo en desconfort. Se constata que el módulo posee una buena inercia térmica, demostrada en el fuerte aplanamiento de la onda de temperatura para todos los casos antes descritos. En la Figura 14 se presentan dos casos con uso de energía auxiliar. Si en verano (Izquierda), se considera el módulo sin aislación, pero usando energía auxiliar para refrigerar con termostato fijado a 20°C y a 24°C, el consumo asciende respectivamente a 42,15kWh y a 31,70kWh, ocasionando un aumento de 14,89 kWh (35%). Por otro lado, en invierno (Derecha), con aislación térmica y uso de energía auxiliar para calefacción seteada a 18°C y a 20°C, se necesita consumir respectivamente 29,04 kWh y 29,42kWh. La diferencia de subir 2°C implica un incremento del orden de 1,3%. En la Tabla 3 se sintetizan los resultados de consumos obtenidos para facilitar la comparación.

Figura 14. Algunos resultados obtenidos con SIMEDIF. **Izquierda:** para Verano sin aislación y con uso de energía auxiliar. **Derecha:** Para Invierno con aislación y con uso de energía auxiliar.



Fuente: Figuras elaboradas por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara usando MS-Excel.

Tabla 3. Síntesis comparativa de las necesidades de energía auxiliar para cada situación.

Termostato (°C)	Energía auxiliar				
	Unidades	Verano sin aislación		Invierno con aislación	
		Consumo	Incremento (%)	Consumo	Incremento (%)
18	MJ/día			104,45	1,30
	kWh			29,04	
	Cal/h			2497,00	
20	MJ/día	176,30	35,00	105,80	
	kWh	49,11		29,42	
	Frig/h Cal/h	4.214,90		2530,00	
24	MJ/día	114,03			
	kWh	31,70			
	Frig/h	2.726,00			

Fuente: Tabla elaborada por I. Blasco Lucas en base a cuadros hechos por M.S. Castro, C. Villalba y A. Guevara.

Conclusiones

Los resultados pedagógicos obtenidos con la experiencia conducida demuestran que el uso del modelado térmico-energético -tanto analógico como digital- representa un instrumento didáctico altamente eficiente en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Arquitectura Sustentable. Los alumnos manifestaron que esta modalidad les permitió, por un lado, asimilar mejor los conceptos y comprender cómo lograr la integración de la tecnología informática con sus facilidades de cálculo al proceso de diseño. También los sensibilizó fuertemente como práctica fenomenológica

permitiéndoles captar en profundidad la sutil influencia de cada variable en el juego dinámico y complejo de la temática. En definitiva, hubo una mayor aceptación hacia el enfoque holístico-ambiental que necesariamente debe tener hoy más que nunca la disciplina Arquitectura.

Bibliografía

- Biehl, Matthias (2010). *Literature study on model transformations. Embedded control systems*. Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden.
- Blasco Lucas, Irene (2013). *Arquitectura sustentable en hábitat rural de zona árido-sísmica: Aportes teórico-metodológicos*. Tesis Doctoral en Arquitectura. Universidad de Mendoza.
- Blasco Lucas, Irene (2015). *Formación en Arquitectura Sustentable: Experiencia en la FAUD-UNSJ a nivel de grado y posgrado*. Actas de la XXXVIII Reunión de Trabajo de ASADES. San Rafael, Mendoza.
- Bunge, Mario (1975). *Teoría y realidad*. Ariel. Barcelona.
- Climent, J. (1993). *From linearity to holism in technology transfers models*. The Journal of Technology Transfer 8 (3 y 4). En: *Metodología para la evaluación de una política de gestión de riesgos ante desastres naturales y antrópicos*. Ramos Alvarez M., 2005: 23.
- Filippín, Celina (2005). *Uso eficiente de la energía en edificios*. Amerindia. Santa Rosa, La Pampa.
- Flores Larsen, Silvana, Lesino, Graciela (2000). *SIMEDIF 2000: Nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) 4, 2 : 8.53-8.58.
- Lakatos, Imre (1993). *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza. Madrid.
- LECTUM Editores Argentinos S.A. (1965). *Nuevo diccionario enciclopédico ilustrado para América Latina*. Editorial Sopena Argentina S.A. Buenos Aires.
- Ramos Alvarez, Mauricio (2005). *Metodología para la evaluación de una política de gestión de riesgos ante desastres naturales y antrópicos*. Red CYTED XIV-G Hábitat en Riesgo. Córdoba.
- Tedeschi, Enrico (1969). *Teoría de la Arquitectura*. Segunda Edición. Nueva Visión. Buenos Aires.
- Thuvander, Liane (2000). *The building stock: A complex system changing over time*. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden.
- Von Bertalanffy, Ludwig (1989). *Teoría general de los sistemas: Fundamento, desarrollo y aplicaciones*. Traducción al español: Almela J. Séptima edición. Fondo de Cultura Económica. México.