

# METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO: SUSTENTO INFORMÁTICO PARA ELECCIÓN DE PAUTAS Y ESTRATEGIAS

Guillermo E. Gonzalo

Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente (CEEMA) - Instituto de Acondicionamiento Ambiental (IAA).

Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) - Universidad Nacional de Tucumán (UNT).

Av. Roca 1800, (4000) Tucumán, Argentina. Tel. 54-381-4354093 int. 7914 – Fax. 54-381-4252572.

ggonzalo@herrera.unt.edu.ar

Sara L. Ledesma, V.M. Nota, C.F. Martínez, G.I. Quiñones y G. Márquez Vega.

(CEEMA) – IAA – FAU- UNT.

ceema@herrera.unt.edu.ar

## Abstract

*Methodology for the bioclimatic design: computer sustain for election of guidelines and strategies.*

*After numerous studies and practical of use, field and laboratory measurements, carried out among the years 1994 and 1999, we arrived to the elaboration and presentation of a methodology for the bioclimatic design and energetically sustainable that already takes two books publications. With the support of more than 600 figures that facilitate the understanding of the concepts explained in the books and 26 computer software and databases, that are attached to the second book, the work is facilitated so that designers of buildings that have not been never in contact with a certain climate, or that they don't have sufficiently assumed by means of the observation of the particularities of a certain climatic situation, to understand the form in that the climate influence their design, condition or determine the design solutions and average strategies that will choose when carrying out an architecture work.*

## 1. Introducción

Luego de numerosos estudios y prácticas de utilización, mediciones de campo y laboratorio, realizadas entre los años 1994 y 1999, se llegó a la elaboración y presentación de una metodología para el diseño bioclimático y energéticamente sustentable, que ya lleva dos instancias de publicación. (Gonzalo 1998) (Gonzalo y Nota, 2003).

Ambos libros estaban diseñados fundamentalmente para los estudiantes de arquitectura, y por extensión a profesionales y técnicos del área de diseño y la construcción de edificios, aportando sugerencias proyectuales y metodologías de simulación y verificación, que facilitarían la determinación de pautas y estrategias para el diseño bioclimático y la utilización de energías no convencionales en los edificios y su hábitat.

Con el apoyo de más de 600 figuras que facilitan la comprensión de los conceptos que se tratan y 26 programas de computación y bases de datos que se fueron desarrollando y completando desde la primera entrega y que se adjuntan al segundo libro, se facilita la labor para que diseñadores de edificios que no hayan estado nunca

en contacto con un clima determinado, o que no tengan suficientemente asumido por medio de la observación y meditación conciente de las particularidades de una determinada situación climática, para comprender la forma en que influyen, condicionan o hasta determinan las soluciones proyectuales que deberá pautar o las estrategias de diseño que deberá elegir a la hora de realizar una obra de arquitectura.

Estos elementos informáticos están en permanente desarrollo y verificación, por lo que siempre se han publicado sin ningún tipo de protección, de modo de que los usuarios especializados puedan aportar cambios, sugerencias, tratamientos diversos en los procedimientos de cálculo o utilización de los programas. Asimismo, se han utilizado en la mayoría de los casos, como base de programación, planillas electrónicas de cálculo, lo cual permite tener una transparencia total en los procedimientos y algoritmos utilizados.

La experiencia del dictado de seminarios por invitación de diversas universidades nacionales y extranjeras, entre ellas la Universidad Ricardo Palma de Perú; la Universidad Roma Tre; la Universidad de Mozambique;

la Universidad de Córdoba y de La Rioja, la Universidad Politécnica de Munich en Alemania, permitió verificar la adecuación de lo propuesto en condiciones climáticas muy variables y en Facultades de Arquitectura con planes de estudios muy diversos.

Se muestran en forma muy sintética algunos de los programas de computación que fueron desarrollados y verificados, debido a que la extensión del trabajo haría imposible una completa descripción y resultados alcanzados, así como las tareas de campo y laboratorio que condujeron en muchos de ellos a su validación.

## 2. Desarrollo

En cuanto a los aspectos que hacen al Uso Racional de la Energía (URE) en el área edilicia destacamos la importancia del rol del profesional de la construcción en cuanto a su acción proyectual urbanística y edilicia, que hace que en su área de decisión esté involucrado más del 50% del total de consumo energético del país. Sin embargo es muy poco lo que se realiza hasta ahora para calificar a los profesionales a fin de que puedan convertirse en decisores apropiados y guías sociales para el URE y la utilización de energías no convencionales en la edificación.

En general podríamos establecer que las bases para el URE y aprovechamientos energéticos no convencionales deben ser establecidos más como pautas para el diseño bioclimático de los edificios, que como una compleja metodología de cálculo, las cuales sí se utilizarían para la verificación de proyectos en los distintos organismos de actuación, mediante técnicas computacionales.

Como ejemplo, uno de los últimos documentos de la Comisión de Comunidades Europeas (2001) sobre el rendimiento energético en los edificios, establece diferentes propuestas, entre las que destacamos:

(10) Los edificios tienen una gran incidencia en el consumo de energía a largo plazo, por lo que todos los nuevos edificios deberían cumplir unas normas mínimas de rendimiento energético adaptadas a las condiciones climáticas locales. Como en general no se aprovecha el potencial que ofrece la utilización de fuentes de energía alternativas, es conveniente realizar un estudio de

viabilidad de tales sistemas en los nuevos edificios de unas ciertas dimensiones.

(11) Debe considerarse que la reforma de los edificios existentes de unas ciertas dimensiones es una buena oportunidad de tomar medidas eficaces en el coste para aumentar su rendimiento energético.

(12) La certificación energética de los edificios en el momento de su construcción, venta o alquiler, ofrecería una información objetiva del rendimiento energético de los mismos y contribuiría a aumentar la transparencia del mercado inmobiliario y a fomentar la inversión en ahorro energético. Debería también facilitar la utilización de incentivos.

La experiencia en docencia, investigación y extensión universitaria nos indicaba que si bien se comprendían los conceptos pertinentes al diseño bioclimático y en algunos casos, utilizando herramientas gráficas que habían sido desarrolladas para la enseñanza a los alumnos de grado, se aplicaban algunas pautas de diseño y estrategias bioclimáticas en presentaciones y concursos de arquitectura que se realizaban en nuestro medio, nuestros colegas recurrían permanentemente a la consulta, sobre todo por la carencia de metodologías simples de verificación de soluciones proyectuales a nivel de anteproyecto. Es así que se desarrollaron los programas, algunos de los cuales se sintetizan a continuación.

## 3. Programas de aplicación

### 3.1. Programas para análisis climático y de recursos energéticos

Estos programas permiten trabajar con datos meteorológicos y realizar los gráficos para las principales variables que influyen en el diseño bioclimático. Las bases de datos que incluye el programa derivan de múltiples trabajos realizados en los últimos años, llegando a incluir los datos meteorológicos de 54 estaciones de la República Argentina. Se contempla en cada una de ellas 42 variables climáticas, que luego de seleccionada la estación, pueden ser expresadas en forma gráfica para su observación o impresión. El usuario puede, además,

introducir los datos climáticos de una estación que no esté contemplada en el programa, a fin de realizar la misma operación.

Para completar estos análisis y permitir cálculos de sistemas energéticos renovables, basados en la utilización de energía solar, se desarrolló un programa de computación que permite calcular la radiación directa, difusa y total diaria, y que comparado con los registros enunciados tiene un error similar al aceptado por las normas solarimétricas. Este programa tiene en cuenta la transmitancia real de la atmósfera y la nubosidad para la localidad que se considere. Mediante el cálculo teórico se pueden obtener los valores de radiación presumibles no sólo como radiación global (directa + difusa) en un plano horizontal, sino para planos de cualquier acimut e inclinación, constituyéndose en una herramienta muy útil para el cálculo de la influencia solar en la arquitectura y en el uso de sistemas o estrategias que utilicen la energía solar (Gonzalo 1984). Este programa, que se basa, con algunas modificaciones, en los cálculos propuestos por Bernard R. et al, (1982) y en las estimaciones de Wernly J. (1982) sobre la influencia de la nubosidad y el vapor atmosférico, fue realizado en el año 1989, tomando en cuenta trabajos anteriores y luego de sufrir múltiples cambios se presentó para el uso de los alumnos en el postgrado para el título de Magíster en Auditoría Energética que conduce nuestro grupo de trabajo.

### 3.2. Programas para análisis y cálculos de ventilación

Son una serie de programas, que parten desde los cálculos más simples de locales con ventanas en un solo frente, hasta ventilación cruzada y por efecto chimenea. El primero es el método NORMA (Santamouris 1993), que está diseñado para calcular el flujo de aire producido por ventanas ubicadas en un solo frente, debido a las diferencias de temperaturas. Sigue en orden de complejidad el cálculo o verificación de ventanas ubicadas en un mismo frente, pero a distintas alturas y se completa con el caso de ventilación cruzada, con ventanas en distinto frentes o con salida en el techo. A modo de ejemplo se muestra una de las pantallas del software.

### 3.3. Programas para análisis y cálculos termo-físicos

Con fines de facilitar los cálculos y determinar para los muros y techos las propiedades termo-físicas en cuanto al peso unitario, transmitancia térmica, retardo, amortiguamiento y constante térmica de tiempo para las condiciones de verano (calor proveniente del exterior) e invierno (del interior), se ha desarrollado un soporte lógico que se basa en la metodología de cálculo de las Normas IRAM vigentes en Argentina. Se muestra a continuación un ejemplo de cálculo mediante planilla

FORMULARIO PARA CALCULAR EL FLUJO DE AIRE EN EDIFICIOS VENTILADOS NATURALMENTE VENTANAS EN UNA SOLA CARA, UBICADAS A DIFERENTE ALTURA

VARIABLES	VALORES
SUP.VENTANAS BAJAS: [m <sup>2</sup> ]	3.00
SUP.VENTANAS ALTAS: [m <sup>2</sup> ]	1.50
VOLUMEN DEL LOCAL: [m <sup>3</sup> ]	105.00
DIST.VERTICAL ENTRE VENT. [m]	1.00
MES DE DISEÑO:	ENERO
TEMP. MEDIA EXTERIOR: [°C]	30.00
TEMPERATURA INTERIOR: [°C]	27.00
FLUJO DE AIRE Q: [m <sup>3</sup> /h]	1505.65
RENOVACIONES HORA: [N°]	14.34

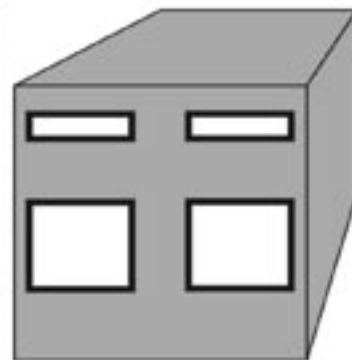


Imagen 1: Ejemplo de uno de los programas para el cálculo o verificación de la ventilación natural.

**CENTRO DE ESTUDIOS ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE - IAA - FAU - UNT**

DESCRIPCION PARAMENTO: PARED DOBLE CON COLUMNAS Y VIGAS DE ENCADENADO, VENTANAS Y PUERTA  
 DENOMINACION: PARED NORTE DOBLE DE LADRILLOS COMUNES Y HUECOS, REVOCADOS, CON CAMARA AIRE  
 COEF.ABS.COLOR SUP.EXT.: 0.5 VER PLANILLA COLOR Introducir valores aislmente en celdas resaltadas

Resistencia térmica:  $m^2C/W$  Verano: 0.75 Invierno: 0.75  
 Transmittancia térmica K:  $W/m^2C$  Mínimo: 1.80 1.85 Máximo: 1.34 1.34  
 K MAX. NORMAS: Reccom. 1.50 1.00 Ecolog. 0.45 0.38

VERIFICA K (C-COLOR) K máx.c/color S/NO  
 Verano Invierno Verano Invierno  
 2.16 1.85 SI SI  
 1.32 1.00 NO NO  
 0.34 0.38 NO NO

C.T.T. EPPE Retardo Amortg.  
 Ext. a Int.: 24.52 0.227 6.17 0.58  
 Int. a Ext.: 44.34 0.344 8.48 0.55  
 Peso total (kg/m2): 389.0  
 Peso unitario (kg/m2): 194.5

Capa	Especificación	Espes. (m)	Conduc. $W/m^2C$	R.C.aire $m^2C/W$	R.C.aire $m^2C/W$	Peso Es. (kg/m2)	Cap.Ter. $J/kg^2C$	R.Tver $m^2C/W$	R.Tver $m^2C/W$	Peso (kg/m2)	R.veid $m^2C/W$	R.veid $m^2C/W$	Co.Ter. h	R.veid $m^2C/W$	Co.Ter. h
1	R.se							0.040	0.040					0.040	
2	REVOQUE INTERIOR	0.0150	0.90			1990	1000	0.016	0.016	28.5	0.008	0.048	0.381	0.011	4.836
3	LADRILLO COMUN	0.1300	0.91			1990	1000	0.143	0.143	234.0	0.071	0.128	8.291	0.031	34.840
4	PINTURA ASFALTICA	0.0020	0.7			2000	850	0.007	0.007	10.0	0.004	0.203	0.366	0.488	0.824
5	CAMARA DE AIRE	0.0500		0.175	0.175			0.179	0.179	0.0	0.000	0.208	0.000	0.283	0.000
6	LADRILLO HUECO	0.0900	0.348			1120	920	0.230	0.230	88.0	0.115	0.491	11.044	0.168	3.7758
7	REVOQUE EXTERIOR	0.0150	1.180			1990	1000	0.013	0.013	28.5	0.008	0.012	4.849	0.046	0.368
8								0.000	0.000	0.0	0.000	0.012	0.000	0.040	0.000
9								0.000	0.000	0.0	0.000	0.012	0.000	0.040	0.000
10								0.000	0.000	0.0	0.000	0.019	0.000	0.040	0.000
11	R.al							0.130	0.130					0.040	
ESPESOR TOTAL		0.290	No introducir valor de conductividad para cámara de aire			RES TERM TOT		0.748	0.748	389.0					
												C.T.T. ext. a int.	24.830	C.T.T. int. a ext.	44.344

OBSERVACIONES:

Imagen 2: Planilla interactiva para el cálculo de transmitancia según capas de materiales de muros o techos.

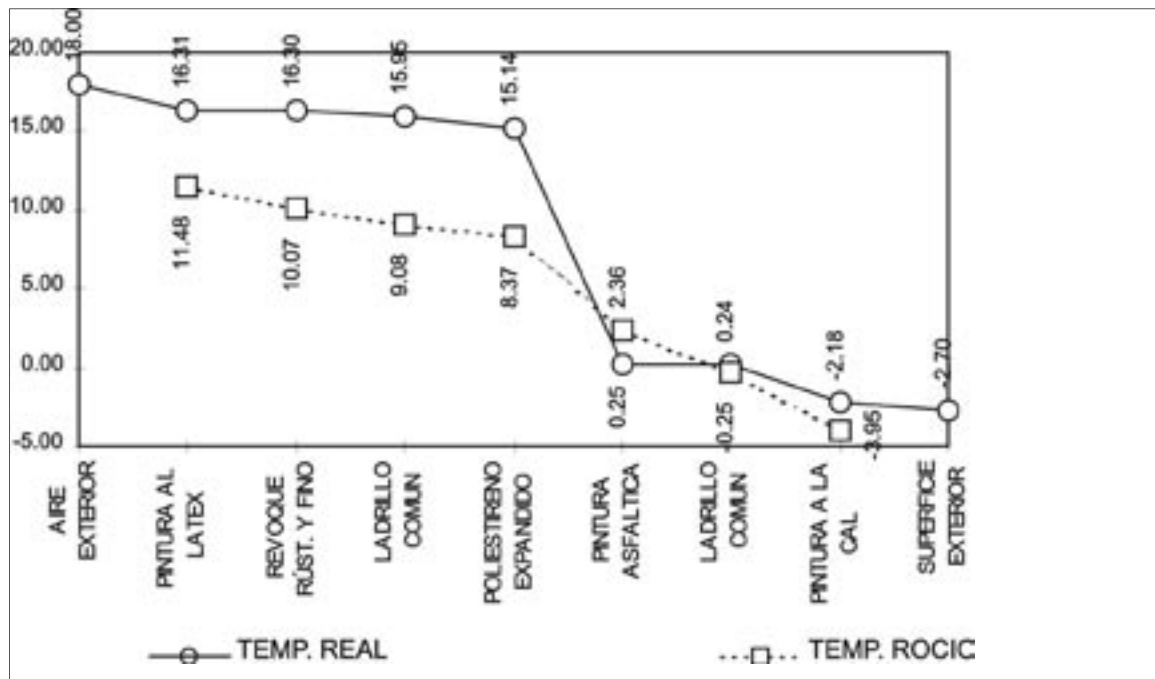


Imagen 3. Ejemplo de gráfica producida por el programa para verificación de riesgo de condensación.

electrónica y software desarrollado al efecto. (Gonzalo G.E. 1989) (Gonzalo G.E. et al. 2000).

### 3.4. Programas para verificación del riesgo de condensación

Uno de los elementos que pueden presentar mayores riesgos en la construcción de edificios es el vapor de agua, que en condiciones particulares de temperatura interna y externa puede producir el riesgo de condensación superficial o intersticial en los muros o techos que componen la envolvente. Este importante factor muchas veces no es considerado por el proyectista, sobre todo por la complejidad que demanda su cálculo, por lo que este software es de mucha utilidad ya permite trabajar en forma interactiva, modificando tanto la ubicación de las distintas capas que componen los paramentos exteriores, como su composición, materiales constitutivos, etc. En forma gráfica se visualiza permanentemente el comportamiento de las temperaturas reales y de rocío, que en caso de cruzarse, como muestra la imagen, nos

estaría indicando que se está produciendo condensación en la capa donde se cruzan.

### 3.5. Programas para balances energéticos en edificios

El programa se diseñó para facilitar los cálculos térmicos en edificios de baja complejidad, como es el caso de viviendas, centros de atención primaria de salud, guarderías infantiles, etc., que son los diseños bioclimáticos que los alumnos de grado desarrollan en la materia Acondicionamiento Ambiental 1, como método de aplicación de los conocimientos teóricos que han adquirido durante el cuatrimestre de su dictado, en el tercer nivel de la carrera.

Si bien el programa tiene limitaciones, ya que calcula la carga térmica para una situación de temperatura interior constante y para una única zona, permite realizar estimaciones comparativas de soluciones de la envolvente del edificio, orientaciones relativas de sus frentes, inclinaciones de techos, utilización y cambios

#### 2. Parasol horizontal y vertical al NORTE

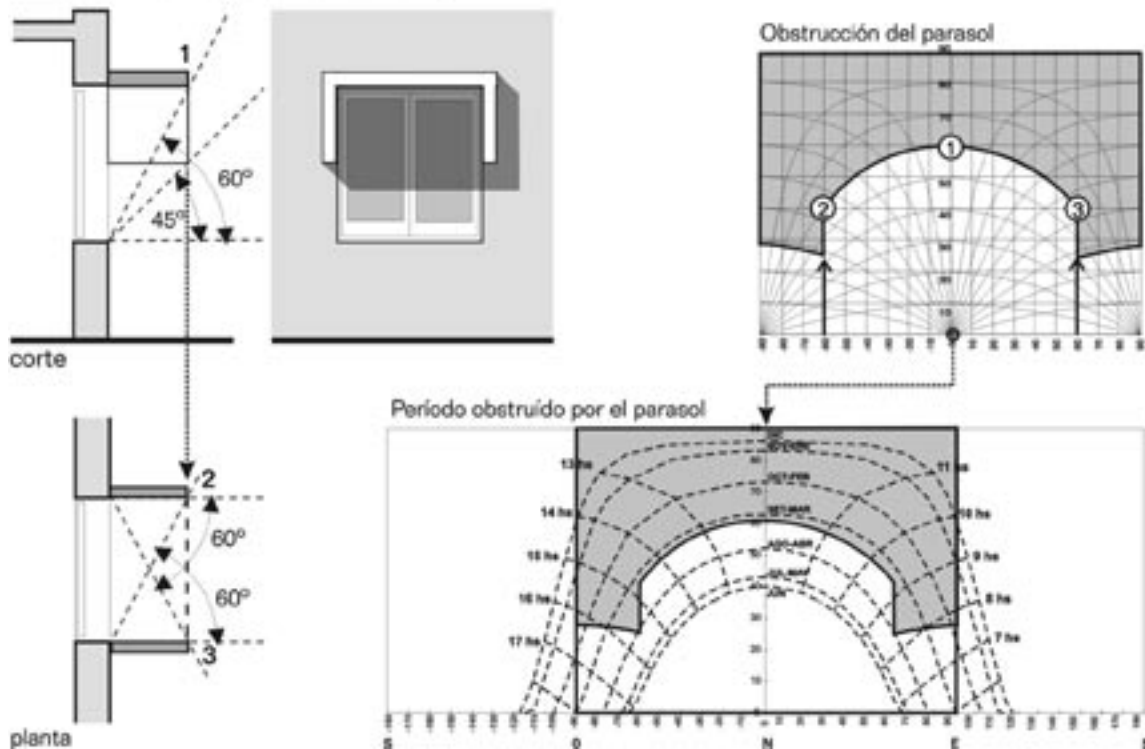


Imagen 4: Muestra de un estudio de protecciones solares para una ventana en S.M. de Tucumán.

de materiales y colores, etc., lográndose el objetivo didáctico del mismo.

Los resultados del software fueron comparados con el programa Quick2 (TEMMI, 1995) (Gonzalo G.E., 2001), encontrándose que los resultados tienen un ajuste adecuado, considerando las condicionantes básicas del programa.

### 3.6. Programas para estudios de protecciones solares

Para los estudios de soleamiento y protecciones se realizaron programas que permiten determinar para cualquier latitud los diagramas del reloj solar horizontal, que luego permite el análisis en forma gráfica o con el apoyo de un simulador solar, y que permite visualizar en modelos la incidencia solar para cualquier hora y día del año. Además, se desarrolló un software para la determinación de la trayectoria solar en proyección cilíndrica desarrollada y su correspondiente diagrama de visión de bóveda, a fin de realizar el dimensionado de parasoles.

## 4. Conclusiones

Además de los programas señalados, se han desarrollado otros que incluyen: determinación de situaciones de confort según el método de Fanger modificado, desarrollo gráfico de pautas y estrategias de diseño bioclimático conforme a las características termo-hidrófugas de una localidad, determinación de pautas por el método de Mahoney y de Olgay (con modificaciones y actualizaciones), software para el cálculo de enfriamiento por cañerías enterradas, etc.

La extensión de este trabajo no permite mostrarlos a todos, ya que al momento son más de 26 programas y base de datos bioclimáticas, pero hemos querido ejemplificar en algunos de ellos el objetivo principal de nuestra tarea en docencia, investigación y extensión, que tiende a facilitar al proyectista todos aquellos elementos que representan un procedimiento de cálculo complejo, que habitualmente no los asume, con los riesgos posteriores o los altos costos energéticos de un diseño inadecuado para el clima.

La experiencia nos indica, sobre todo a través de las tareas de extensión universitaria realizadas, los concursos de arquitectura y de los proyectos de alumnos de grado y postgrado en varias universidades donde se aplicaron estos programas, que estos modelos simples, fáciles de utilizar y aprender, que no requieren de un equipamiento o de un software de base sofisticado y que permiten al proyectista alcanzar pautas de diseño, criterios de uso de materiales y tecnologías apropiadas en su diseño, logran perfeccionar los otros criterios también muy importantes, como los funcionales, técnicos, significativos, etc., permitiendo un ahorro energético y una mejor calidad de vida para los usuarios de los edificios que así se diseñan.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán, Programa 26/B206 y Proyecto 26/B304, así como el de distintos colegas de universidades nacionales y extranjeras que colaboraron con la aplicación de los distintos programas de computación y con críticas y sugerencias que permitieron mejorarlos.

## Referencias

- Bernard R., G.Menguy y M.Schwartz. 1982. *La radiación solar*. Lavoisier. París.
- Comisión de Comunidades Europeas. 2001. *Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al rendimiento energético de los edificios*. Bruselas. CCE.
- Gonzalo G.E. 1984. *Cálculo de la radiación horaria para planos de cualquier orientación e inclinación*. FAU-UNT. Tucumán.
- Gonzalo G.E. 1989. Soporte lógico para el cálculo de propiedades termofísicas de elementos constructivos: K-Retardo-Amortiguamiento y CTT. FAU-UNT, Tucumán.
- Gonzalo G. E. 1998. *Manual de Diseño Bioclimático*. Editorial Arte-Color, Tucumán. ISBN N° 950-43-9028-5.
- Gonzalo G.E., Ledesma S.L., Nota V. y Martínez C. 2000. *Actualización del programa computacional para verificación del riesgo de condensación en cerramientos exteriores*.

Actas XXIII Congreso de Asades. Resistencia. Chaco.

Gonzalo G.E. 2001. *Comparación del comportamiento térmico de la envolvente en escuelas*. Proyecto CIUNT 26/B104, Tucumán (inédito).

Gonzalo G.E. (colaboración V.M.Nota). 2003. *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Buenos Aires. Librería Técnica CP67. ISBN N° 987-1135-07-6.

Santamouris M. 1993. NORMA. *A method to calculate the*

*thermal performance of passively cooled buildings*. Cooling Load of Buildings, Vol. 5, V.1.1, School of Architecture, Dublin, Ireland.

TEMMI, 1995. *Quick 2*, Ideal v.2.02g. Transfer of Energy Momentum and Mass International. Sudáfrica.

Wernly J. 1892. *Valores teóricos de radiación*. Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas, Córdoba.

### **Guillermo Enrique Gonzalo**

*Profesor Titular y Doctor en Arquitectura.*

*Director del Instituto de Acondicionamiento Ambiental de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Tucumán (IAA-FAU-UNT).*

*Director del proyecto de investigación del Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente (CEEMA) 26/B304, financiado por el Consejo de Investigaciones de la UNT.*

*Director de proyectos financiados por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica y otras fuentes públicas y privadas de Argentina y otros países.*



### **Sara Lía Ledesma**

*Profesora Adjunta. Arquitecta. Co-directora de los proyectos anteriores. Secretaria de Extensión de la FAU-UNT.*



### **Viviana María Nota**

*Jefa de Trabajos Prácticos. Miembro del grupo de investigación del CEEMA-IAA-FAU-UNT.*



### **Cecilia Fernanda Martínez**

### **Graciela Inés Quiñones y**

### **Gabriela Márquez Vega.**

*Auxiliares Docentes Graduas. Miembros del grupo de Investigación del CEEMA-IAA-FAU-UNT.*

*Áreas de interés (del grupo de trabajo): Arquitectura bioclimática. Auditoría energética. Energías renovables. Ahorro energético en edificios y sistemas urbanos. Desarrollo de software para cálculos y simulaciones bioclimáticas y energéticas.*