

REGIONALIZACION BIOCLIMATICA DE ARGENTINA MEDIANTE EL USO DE TECNICAS MULTIVARIADAS Y SIG

Jorge Daniel Czajkowski *

Analía Gómez **

Irene Martini ***

Yael Rosenfeld ***

La implementación de políticas de conservación de energía en edificios y aplicación de sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental, demanda una regionalización del territorio que contemple una diversidad de variables. Existe el antecedente de la norma IRAM 11.603/78, pero no resulta útil a los requerimientos actuales, por lo que en algunos casos algunos entes provinciales realizaron su propia regionalización.

Parecería necesario actualizar la regionalización bioambiental nacional en vigencia, tomando como antecedentes los trabajos sectoriales realizados por grupos del país. Las nuevas herramientas desarrolladas en los últimos años parecerían útiles para encarar el trabajo. En función de esto se pretende utilizar estas herramientas y contrastar los resultados con la zonificación en vigencia para posteriormente actualizarla.

Las clasificaciones climáticas como las de Thornthwait u Hoffmann presentan características homogéneas de regiones geográficas que en principio no son aplicables a usos bioclimáticos. El campo de aplicación Habitat-Energía necesita regionalizaciones bioclimáticas a partir de variables específicas para la determinación de demandas y aportes energéticos.

Una regionalización con este enfoque puede ser utilizada como referencia en el diseño de edificios adecuados al clima, evaluación higrotérmica de estos y en la producción de alternativas de los mismos. Permitiría la determinación de pautas de diseño urbanístico, edilicio, tecnológico según regiones y en normas sobre conservación de energía. Esto fundamenta el objetivo del trabajo sobre la necesidad de formular una regionalización bioclimática nacional actualizada.

Se realizó así la recolección y sistematización de los datos del Servicio Meteorológico Nacional en un sistema informatizado, y se revisaron los trabajos realizados durante los últimos años por distintos grupos del país de los que se tomaron y discutieron las propuestas de zonificaciones parciales.

El procesamiento de los datos se realizó con el módulo "Cluster" del paquete estadístico SPSS. El método cuenta con bastante aceptación, pero debe observarse que existe el problema de la transferencia de la clasificación obtenida a la cartografía ya que el

* Becario Posdoctoral CONICET. UI2, IDEHAB, FAU-UNLP. La Plata, Argentina

** Investigador UI2, IDEHAB, FAU-UNLP. La Plata, Argentina

*** Becarias UNLP. UI2, IDEHAB, FAU-UNLP. La Plata, Argentina

Calle 47 n° 162, C.C. 478 (1900), La Plata, Argentina. Tel-Fax 021-214705.

Email: czajko@isis.unlp.edu.ar.

procedimiento es dificultoso. Esto nos llevó a contemplar la posibilidad de utilizar Sistemas de Información Geográfica "S.I.G." como instrumento para acelerar y mejorar las clasificaciones, en particular el programa "Idrisi" que cuenta con antecedentes con igual fin en Brasil (Silva et al, 1995). Este sistema traslada automáticamente la clasificación al mapeo.

La regionalización existente

Como referencia en la Figura 1 se muestra la actual regionalización del país consistente en 6 zonas principales y 10 sub-zonas. Las zonas principales se definen por la temperatura efectiva en las zonas cálidas y por los grados día de calefacción (base 18°C) en las zonas frías, siendo el límite entre ambas la isolínea de TEC=21,6 °C. Las sub-zonas se definen por las isolíneas de amplitud térmica de 14°C y 18°C del mes de enero, afectando a las zonas I a IV.

La Regionalización vigente fué realizada a partir de los datos de 74 estaciones meteorológicas y en la actualidad se cuenta con más de 154 estaciones. La incorporación de mayor cantidad de puntos, permitiría en principio mejorar la definición de zonas.

El criterio utilizado se basó en la superposición de tres variables (TEC, GD18 y amplitud térmica), con un límite en la no-necesidad de calefacción. Con las herramientas de cálculo actuales, en principio, podría tratarse mayor cantidad de variables enriqueciendo la clasificación. Pero es necesario consertar cuáles son las variables críticas de cada zona del país en función de la aplicabilidad de la misma al desarrollo de edificios energéticamente concientes.



Figura 1. Clasificación bioambiental de la República Argentina. (IRAM 11.603/78)

Obtención de datos y su procesamiento

En la República Argentina la recolección de datos meteorológicos se encuentra principalmente a cargo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 1992), dependiente de la Fuerza Aérea con 154 estaciones en el área de estudio. Se registran datos referidos a temperaturas de bulbo seco y húmedo, velocidades y frecuencias de vientos, precipitaciones, nubosidad y heliofanías entre otras. A partir de esos registros se construyeron los indicadores energéticos como los grados día de calefacción y enfriamiento para varias bases, las temperaturas de diseño, las magnitudes de amplitud térmica y la radiación solar global sobre plano horizontal.

Los *Grados Día* permiten evaluar la carga térmica necesaria de edificios y optimizar el diseño de la envolvente de los mismos, suministrando asimismo una valoración de la rigurosidad del clima en determinado lugar. Los Grados día de calefacción se determinan computando para cada día del año la diferencia entre una temperatura base (18°C, es una de las más usadas) y la temperatura exterior. En nuestro caso al no poseer datos diarios para todas las estaciones, se emplearon dos métodos estadísticos basados en temperaturas medias medias mensuales.

Existen varias expresiones para determinar los Grados Día a partir de temperaturas medias. Cuando se realizó la regionalización de la provincia de Buenos Aires (Czajkowski, 1992), se desarrolló una expresión empírica producto de correlacionar la latitud, la altura sobre el nivel del mar, la temperatura media anual, las temperaturas máximas y mínima medias y la humedad relativa con las estaciones en las cuales se disponían los valores de grados día (ver cuadro 1). La regresión múltiple resultó satisfactoria con un $R^2=0.9618$ para 60 casos de todo el país (Fabris y Yarque, 1985). El método permitió una aproximación con un error menor al 15%. Posteriormente se abandonó este camino ya que la expresión se mostraba consistente en los rangos en que se encuadraban los parámetros de cada estación meteorológica. Como es usual en modelos basados en regresiones es posible interpolar pero no extrapolar. En buena parte de casos el procedimiento era válido pero en casos rigurosos (cálidos o fríos) perdía consistencia.

$$GD18 = 3944.531 + \text{latitud} * (-13,222) + \text{asnm} * (0.00995) + \text{tmed} * (-223.41) + \text{tmáx} * (27.6563) + \text{tmín} * (-15.560) + \text{hr} * (0.50891)$$

Cuadro 1 Determinación de grados día a partir de datos medios anuales.

Posteriormente se experimentó con otra expresión basada también en un método estadístico (Erbs, 1981), que determina los grados día a partir de datos medios mensuales y la desviación estándar (ver cuadro 2). Esta expresión resultó aun peor, con errores superiores al 50% entre previos y calculados. Donde GD son los grados día de calefacción, N el número de días del mes, Tb es la temperatura base (18°C), Tmm es la temperatura media mensual y S_n es la desviación estándar de la temperatura mensual promedio.

$$GD = N * ((Tb - Tmm) + (1 * sn * N)/2) \quad \text{donde} \quad Sn = 2.06 - 0.0337 * Tmm$$

Cuadro 2 Ecuaciones para determinar los grados día según método de Erbs.

Finalmente se dejaron de lado las expresiones empíricas y se trabajó con la expresión teórica de grados día de calefacción y enfriamiento. Se empleo así el algoritmo del cuadro 3 para grados día de calefacción donde: N_i son los días del mes considerado; T_{Bc} , es la temperatura base de calefacción; T_{MAX} y T_{MIN} , son temperaturas máximas y mínimas medias mensuales; y X_c , es un coeficiente que valdrá 1 cuando la temperatura máxima media mensual sea mayor a la temperatura base de calefacción. Para los grados día de enfriamiento se determinaron según la expresión del cuadro 4 donde: N_i son los días del mes considerado; T_{Be} , es la temperatura base de enfriamiento; T_{MAX} es la temperatura máxima media mensual; y X_e es un coeficiente que valdrá 1 cuando la temperatura máxima media mensual sea mayor a la temperatura base de enfriamiento.

$$GDc = \sum_i^n (Tbc - (Tmáx + Tmín) / 2) * Ni * Xc$$

Cuadro 3 Determinación de grados día de calefacción a partir de datos medios anuales.

$$GDe = \sum_i^n (TMAX + TBe) / 2 * Ni * Xe$$

Cuadro 4 Determinación de grados día a partir de datos medios anuales.

Se determinó para cada caso la radiación solar global a partir de sumar la radiación solar directa (Liu&Jordan, 1962) más la difusa (Orgill&Holland, 1986). En la determinación se debió previamente estimar el índice de claridad atmosférica *KT* a partir de la nubosidad media mensual, según la expresión del Cuadro 5.

$$Kt = \text{Nubosidad} * (-0.04365) + 0.69278$$

Cuadro 5 Ecuación empírica para determinar el índice de claridad atmosférica a partir de la nubosidad media mensual.

Se conformó así una matriz de datos con 154 estaciones meteorológicas para los doce meses del año y valores medios anuales, contemplando 14 variables y 28.028 registros.

Procedimiento para determinar las áreas homogéneas:

El procedimiento consiste en agrupar estaciones en función de la similitud de los casos, construyendo grupos que representan zonas geográficas con características homogéneas. Para esto se aplicó un método jerárquico aglomerativo de clasificación, utilizando la distancia euclidiana como medida de la disimilitud entre casos.

El proceso parte de agrupar las estaciones más próximas de a dos en un espacio multidimensional (hiperespacio), definido por la cantidad de variables que operemos.

Luego a cada grupo se agrega la estación más próxima según la distancia entre ellas hasta completar el proceso. Se debe tener en claro que cada etapa de agrupamiento es una clasificación posible desde la división de la región en tantos grupos como estaciones tengamos a un solo grupo que las contenga.

Este método fue ensayado para otras regiones de la Argentina (Filippin, 1990) (Perone, 1987) y por los autores en la construcción de tipologías residenciales del área metropolitana de Buenos Aires (Czajkowski, 1990) y tipos bioclimáticos de la provincia de Buenos Aires (Czajkowski, 1993).

Estado de Avance

En una primer etapa se utilizó una muestra reducida de casos hasta perfeccionar la aplicación del método. Se seleccionaron 36 localidades, entre las que se encuentran las capitales de provincia y sobre esa matriz reducida se realizó un análisis “Cluster” para:

- a. Los Grados Día base 18°C.
- b. La combinación de 6 indicadores medios anuales: temp. media, mínima, máxima, humedad relativa(%), velocidad del viento(km/h) y amplitud térmica, para una situación global.
- c. La combinación de amplitud térmica y temperatura de diseño máxima para la situación de verano.
- d. La combinación de amplitud térmica, velocidad del viento y temperatura de diseño máxima para la situación de verano.
- e. La combinación de amplitud térmica y temperatura de diseño mínima para el invierno.

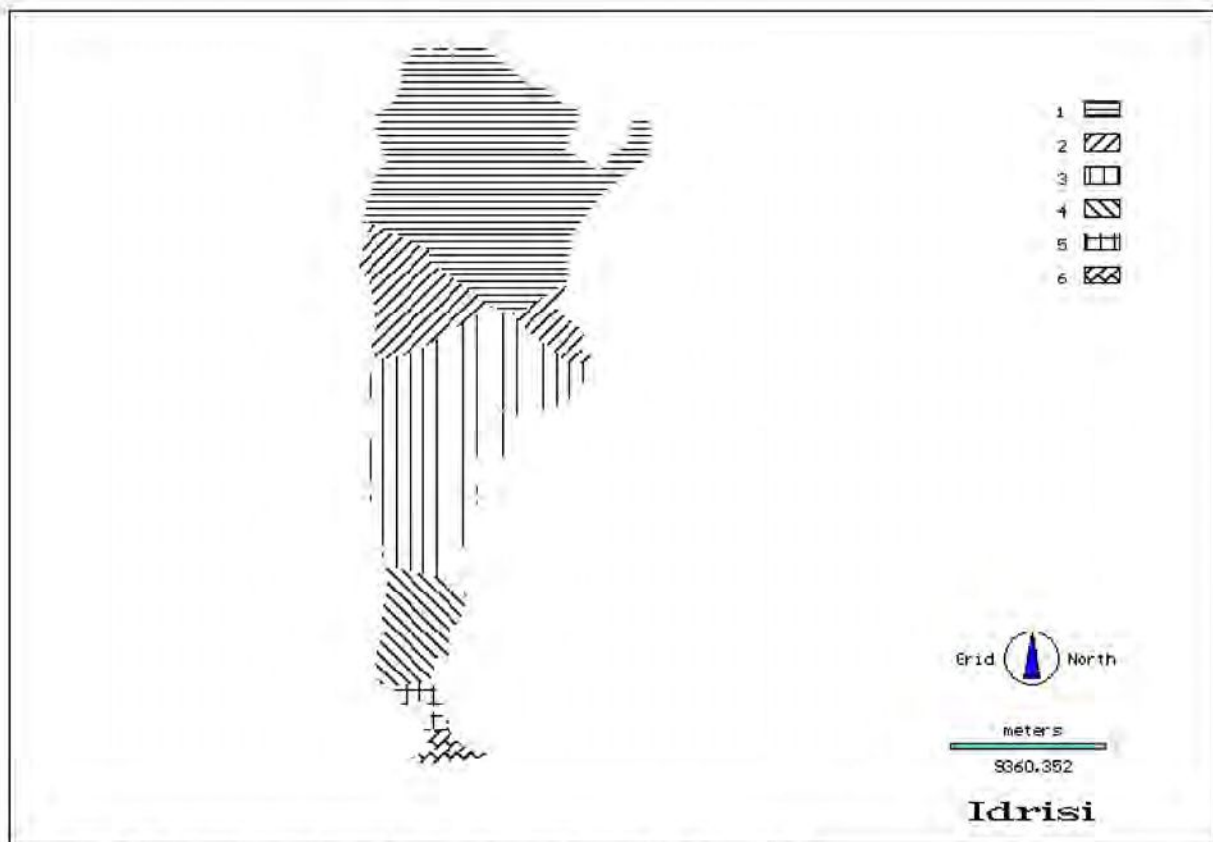


Figura 2. Regionalización en 6 zonas para *Grados Día* base 18°C.

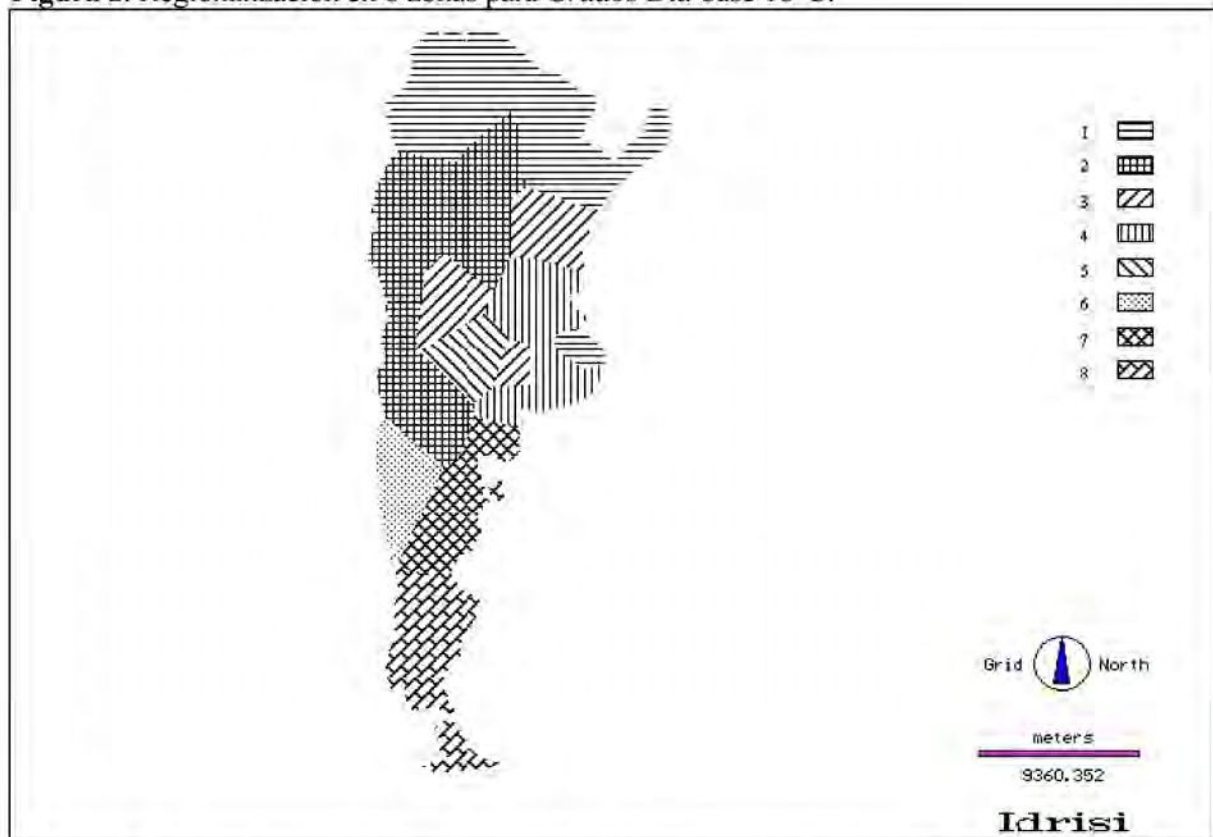


Figura 3. Regionalización en 8 zonas para las siguientes variables medias anuales: temperaturas máxima, media y mínima (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/h) y amplitud térmica (°C).

Paralelamente se digitalizó con una tableta digitalizadora, el mapa de la Argentina en el programa "IDRISI", indicando los puntos correspondientes a las localidades tratadas. Posteriormente se incorporó al S.I.G. el resultado de las clasificaciones logradas con el análisis "Cluster" y se obtuvo la distribución espacial de los datos. El procedimiento utilizado en la zonificación, se basa en el "método de Thiessen", que consiste en determinar polígonos exagonales en torno a puntos, y cuya dimensión y proporciones variará con la equidistancia a otros puntos. Este método se basa en un algoritmo de interpolación óptima.

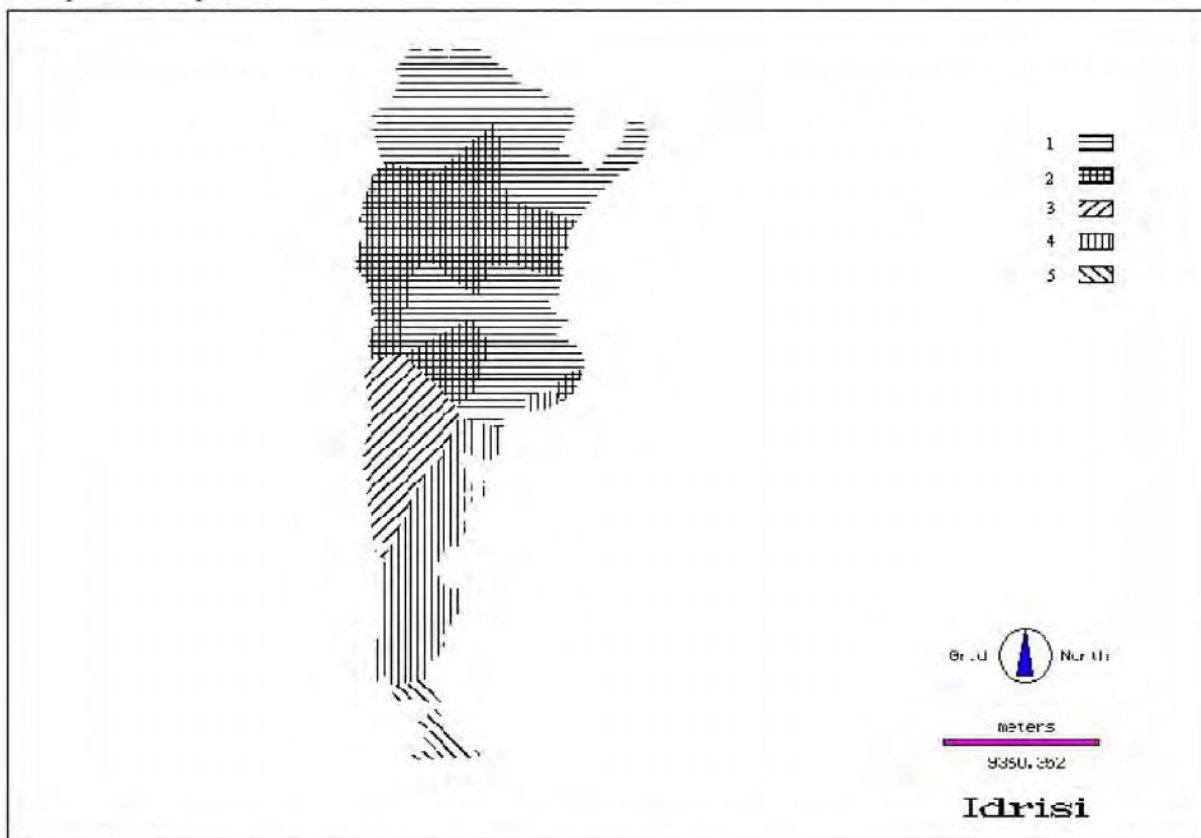


Figura 4 Regionalización en 5 zonas para las siguientes variables medias anuales: temperaturas medias máxima, mínima y media (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (km/h) y amplitud termica (°C)

Los resultados difieren bastante de la regionalización vigente, encontrándose los mayores problemas en la zona cordillerana. Algunos resultados de esto pueden observarse en las siguientes Figuras 2 a 5.

Otro procedimiento que se piensa utilizar es determinar la zonificación, eliminando el análisis "Cluster", mediante el uso de los procedimientos del S.I.G. Este programa permite generar las superficies homogéneas a partir de estimar estadísticamente la distribución espacial de los desvios, usando la autocovarianza espacial. Así se pueden obtener la distribución espacial de los desvios generados por los indicadores climáticos utilizados.

Se analizó la posibilidad de interpretar bioclimáticamente las zonas, a partir del uso de los nomogramas de Givoni. Este criterio utilizado en Brasil (Silva et. al., 1995), permitiría otro acercamiento a la interpretación de las zonas, en especial para las estrategias de refrescamiento pasivo en las zonas y/o períodos cálidos.

Conclusión

Las conclusiones son provisorias debido al estado de avance del trabajo. Puede reconocerse la dificultad del tratamiento de la situación cordillerana, pero el camino que se sigue parece ser el correcto.

En función de los resultados obtenidos por la zonificación en el Sistema de Información Geográfica y por el análisis "Cluster", se planteará como alternativa un método por isolíneas, para una posterior contrastación y ponderación.

Referencias.

Czajkowski J. y Rosenfeld E. (1992) "*Regionalización climática de la Provincia de Buenos Aires*". Publicado en Actas de ASADES, Pp.1-10, Catamarca.

Czajkowski, J. y Rosenfeld, E. (1990) "*Regionalización bonaerense para el mejoramiento bioclimático de redes edilicias*". Actas 1º Jornadas Platenses de Geografía. UNLP, Facultad de Humanidades y Ciencias de la educación, Departamento de Geografía. La Plata. (8 pág).

Czajkowski, J. y Rosenfeld, E. (1990) "*Metodología para el análisis de las clasificaciones complejas y construcción de tipologías mediante la reducción del espacio de atributos. Un enfoque energético*". Expuesto en la 14a Reunión de Trabajo de ASADES. Mendoza.

Erbs D.G. et al. (1981) "*Degree day for variable base temperatures*", Proceedings of ISES - Volume 6, Pag. 387-391, Edit. J.Hayes and W.Kolar.

Fabris, A. y Yarque, E. (1985) "*Tablas del cociente carga colector para 60 localidades de la Argentina*". Instituto Solar Arquitectura Buenos Aires.

Fernández, A. (1995) "*Clima, movimiento del aire y confort: nueva zonificación de regiones cálidas de Argentina*". Actas del III Encuentro Nacional y I Encuentro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construido, Pp. 409-414. Gramado, RS, Brasil.

Fernandez, J.; Estevez, A. y De Rosa, C. (1992) "*Zonificación climática de la provincia de Mendoza*". Publicado en Actas de ASADES, Pp.11-20, Catamarca.

Filippin, C. y Roberto, Z. (1990) "*Determinación de áreas geográficas homogéneas para el desarrollo de proyectos sociales en base a técnicas estadísticas multivariadas*". XIV Reunión de Trabajo de ASADES. Mendoza.

IRAM, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. (1978) "*Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*". Buenos Aires.

Perone, D. y Cannelli, N. (1987) "*Clasificación bioclimática de la región NEA*". Actas de la 12a. Reunión de Trabajo de ASADES. Buenos Aires.

Servicio Meteorológico Nacional (1992) "*Estadísticas climatológicas 1981-1990*". Fuerza Aérea Argentina. Buenos Aires.

Silva, A.C.S.B.; Sattler, M.A. y Lamberts, R. (1995) "*Zoneamento bioclimático Brasileiro para fins de edificação*". Actas del III Encontro Nacional y I Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído, Pp. 161-166. Gramado, RS, Brasil.