

# CAMBIO DEL ESCENARIO CLIMATICO EN UN SECTOR DE LA REGION CENTRAL DE ARGENTINA.

C. FILIPPIN <sup>1</sup> y G.CASAGRANDE <sup>2</sup>

## RESUMEN

El Cambio Ambiental Global que ocurre a escala planetaria es motivo de preocupación y estudio en distintos campos disciplinarios. La necesidad de prever impactos ambientales ha provocado, durante la última década, una notable concentración de esfuerzos y recursos en torno al tema. ¿Qué impacto puede tener un cambio en el escenario climático sobre las pautas futuras de diseño bioambiental?. El objetivo de este trabajo es estudiar algunas tendencias de cambio que está sufriendo el clima en la región central del país, con el propósito de describir escenarios futuros probables. En términos metodológicos, la evolución del escenario se analizó en una serie temporal que incluye varios quinquenios consecutivos. La media estadística, el coeficiente de variación y la tendencia en un análisis de regresión fueron los instrumentos estadísticos utilizados para evaluar un escenario dinámico definido por un conjunto de variables que incluyó temperatura (mínima, media y máxima), amplitud diaria, grados-día de calefacción, nubosidad, heliofanía y humedad relativa, lluvias y vientos. Por su importancia crítica en el diseño bioambiental, el estudio se centró en los meses de invierno y verano.

## INTRODUCCION.

El llamado "Efecto Invernadero" es actualmente una de las teorías más aceptables en la ciencia atmosférica para explicar cambios en el clima mundial. Está bien establecido que el calentamiento biosférico que se registra en el planeta desde mediados del siglo pasado, es el resultado directo de una retención de la energía radiante que ocurre por la presencia de vapor de agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), clorofluocarbonados (CFCs) y otros gases invernaderos que absorben radiación infra-roja (Arnfield, 1987). A mayor concentración de gases invernadero en las partes más altas de la atmósfera, menor es la energía infra-roja que escapa hacia el espacio exterior, y mayor es el calor retenido en los niveles atmosféricos más bajos.

<sup>1</sup> Becaria Perfeccionamiento CONICET, Centro Regional La Pampa-San Luis-INTA  
Calle Spinetto 785- C.C. 152 (6300) Santa Rosa (La Pampa).  
<sup>2</sup> Técnico Estación Experimental Anguil INTA

También es un hecho aceptado que el calentamiento global provoca alteraciones ambientales difíciles de predecir, tales como cambios en las corrientes y niveles oceánicos, la orientación de los vientos, la distribución, intensidad y frecuencia de las lluvias, y las acumulaciones de nieve. Estos efectos, entre otros provocan alteraciones sobre los ecosistemas naturales y los creados o modificados por el hombre (WRI, 1990-91).

Existen modelos matemáticos que simulan la circulación general de la atmósfera y procuran predecir las tendencias de estos cambios. Sin embargo, su eficacia es todavía incierta y no garantizan un margen de seguridad aceptable (IGBP, 1992). La efectividad es todavía menor a nivel de determinada región o localización geográfica. En éstas, puede resultar más útil proyectar hacia el futuro tendencias estadísticas de las últimas décadas, antes que recurrir a modelos simulados de predicción.

¿Qué impacto puede tener la variación climática sobre la eficiencia térmica de la arquitectura? ¿es necesario contemplar pautas diferentes de diseño para enfrentar un escenario climático cambiante? ¿cuáles son los puntos sensibles de la interacción sistema - ambiente en los que habría que concentrar la atención y los esfuerzos?

Las hipótesis previas que motivaron este estudio fueron: a) el clima de la región experimentado variaciones significativas durante las últimas décadas, b) la variación estaría definida por un cambio en los patrones estacionales de comportamiento climático, c) habría una tendencia hacia una tropicalización relativa del ambiente regional.

Los objetivos del trabajo son: a) definir condiciones y tendencias del modelo climático regional, y b) prever impactos probables y cambios adaptativos que sea necesario introducir en el diseño bioambiental, para enfrentar un escenario climático cambiante.

## MATERIALES Y METODOS.

La región analizada corresponde a un sector geográfico de la región central del país que toma como epicentro a la localidad de Anguil, en la provincia de La Paz (36°23' S, 63°59' W y 165m de latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar respectivamente). Está enclavada en un sector de clima continental que ha sufrido cambios climáticos visibles durante las últimas décadas.

La información analizada proviene de la EEA Anguil del INTA (Casagrande, 1992) que contempló las siguientes variables: temperatura, mínima, media y máxima, amplitud térmica (°C), grados-día de calefacción (°C), precipitaciones, heliofanía relativa (%), humedad relativa (%), nubosidad total (octavas) y dirección y frecuencia de vientos.

Las técnicas estadísticas de análisis utilizadas incluyeron promedios estadísticos, coeficientes de variación, y tendencias seriadas medidas a través de análisis de regresión. Las frecuencias y período de registro fueron: valores anuales acumulados de lluvia (período 1921-1992), temperaturas diarias, mínimas, medias y máximas (período 1963-1992), heliofanía y humedad relativa, nubosidad total y vientos (período 1973/1992).

El análisis se concentró sobre las variables de mayor incidencia en el diseño bioambiental, y sobre los periodos estacionales de mayor sensibilidad térmica, a saber, los meses de junio, julio, agosto y septiembre (J.J.A.S.) para la estación invernal, y los de diciembre, enero, febrero y marzo (D.E.F.M.) para la estación estival.

Se empleó para el análisis estadístico el programa SAS (SAS, Institute, Inc. 1988) y para graficación el programa QPRO ( Borland, Software Craftmanship. 1800 Green Hills Road, Scotts Valley, CA 95067-0001).

**RESULTADOS Y DISCUSION.**

El análisis de regresión simple y lineal resulta útil para visualizar direcciones de cambio de largo plazo en algunas variables ambientales que definen la condición y la tendencia del modelo climático regional. Estos datos parecen mostrar una tendencia general de los últimos 30 años hacia una tropicalización relativa del clima, definida por un aumento de lluvias, temperatura, nubosidad, y por una caída de la radiación global

La Figura 1 permite apreciar que, en las últimas tres décadas, estaría ocurriendo un cambio general del escenario climático en el área analizada. Sin embargo, es necesario puntualizar dos restricciones importantes: 1º) un periodo de 30 años es, en materia ambiental, un lapso muy corto para inferir un posible cambio climático. Puede ocurrir que sea simplemente la fase de un ciclo más prolongado. 2º) las tendencias estimadas en base a promedios anuales solo explican una parte de la variabilidad ocurrida, pero no permiten apreciar variantes estacionales dentro de la serie estadística analizada.

Las ecuaciones resultantes del análisis de regresión realizado para cada variable son: radiación:  $y = 6471 - 3.03 * X$  ( $X=1973/1989$ ), grados-día:  $y = 6016 - 2.22 * X$  ( $X=1963/1992$ ), temperatura media:  $y = -13.3 + 0.014 * X$  ( $X=1963/1992$ ), nubosidad:  $y = -16.5 + 0.010 * X$  ( $x=1973/1992$ ), lluvias:  $y = -16195 + 8.53 * X$  ( $X=1963/1992$ ).

A los fines de este trabajo, es necesario profundizar el análisis concentrando la atención principalmente, en periodos estacionales que son críticos en la arquitectura bioambiental.

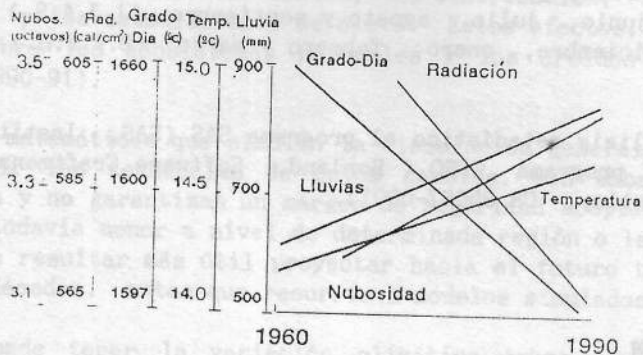


Figura 1: Patrones de variación climática en la región pampeana semiárida-subhúmeda.

### Evaluación Térmica del clima.

Una de las estaciones críticas para el diseño bioambiental es el invierno (junio, julio, agosto y septiembre). Desde el punto de vista arquitectónico interesa conocer la evolución de las temperaturas (medias, mínimas y máximas), la amplitud térmica y los grados-día de calefacción requeridos. En el Cuadro 1 se presentan los valores de estas variables para 5 quinquenios consecutivos entre 1966 y 1990. Una característica destacada de los quinquenios desde la década del 70 es una elevación de los promedios en temperaturas mínimas y una reducción de las amplitudes térmicas. Pero quizás el factor más interesante a analizar es la variabilidad de los factores analizados. Los coeficientes de variación más altos ocurren precisamente en relación a las temperaturas mínimas, y van perdiendo importancia en orden creciente con las temperaturas medias y máximas respectivamente. Esto significaría que la elevación de las temperaturas mínimas -factor relevante en el diseño bioclimático- relativiza su importancia frente a la variabilidad registrada.

En el Cuadro 2 se puede efectuar un análisis equivalente estival (diciembre, enero, febrero y marzo), aunque en este período el problema no es conservar la energía sino disiparla eficazmente. Si bien las tendencias revelan nuevamente una elevación relativa de las temperaturas mínimas y una reducción de las amplitudes térmicas, no ocurre ningún cambio de significación con el resto de las variables ni con los coeficientes de variación.

Si éstas tendencias se afirman o se estabilizan en el futuro, quizás adquiera una gravitación creciente en el diseño la disipación de energía en verano, sin descuidar los problemas de conservación de energía en el invierno. En este último caso, debería preocupar más la variabilidad que la tendencia creciente de las temperaturas mínimas.

**Cuadro 1: COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES TERMICAS POR QUINQUENIOS DURANTE EL INVIERNO.**

QUINQUENIOS	TEMPERATURA (°C) *			AMPLITUD TERMICA	GRADOS-DIA CALEFACCION base 13°C
	MINIMA	MEDIA	MAXIMA		
1966-70	1.9(108)	9.3(21)	16.8(14)	15.0(12)	1065(5)
1971-75	1.3(172)	8.8(23)	16.5(16)	15.2(14)	1122(7)
1976-80	1.3(150)	9.2(26)	17.1(14)	15.9(14)	1101(7)
1981-85	1.5(117)	8.7(27)	15.9(18)	14.4(13)	1136(6)
1986-90	2.1(87)	9.1(15)	16.5(11)	14.4(8)	1092(5)

**Cuadro 2: COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES TERMICAS POR QUINQUENIOS DURANTE EL VERANO.**

QUINQUENIOS	TEMPERATURA (°C) *			AMPLITUD TERMICA
	MINIMA	MEDIA	MAXIMA	
1966-70	12.9(7)	21.1(2)	29.4(2)	16.6(6)
1971-75	12.3(7)	20.6(3)	28.9(4)	16.6(8)
1976-80	12.9(4)	21.2(3)	28.7(6)	15.8(10)
1981-85	13.2(5)	21.5(3)	29.1(2)	15.9(5)
1986-90	13.8(6)	21.6(3)	29.0(3)	15.2(4)

\* Valores Promedio con Coeficientes de Variación entre parentesis. Los promedios surgen de valores diarios para los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre y Diciembre, Enero, Febrero y Marzo.

### Heliofanía y Nubosidad.

En el Cuadro 3 se presentan datos comparados de heliofanía y nubosidad en invierno y verano. Los datos de heliofanía relativa muestran una tendencia declinante en verano y levemente creciente en invierno, pero los valores estivales siguen superando claramente a los invernales. En relación a nubosidad, las tendencias se revierten, declinando los índices de nubosidad total en invierno y aumentando en verano. La nubosidad de ambas estaciones tiende llamativamente, hacia una convergencia cuantitativa; es decir, a semejarse entre sí.

Los valores promedio de nubosidad en ambas estaciones, corresponderían a valores de días con cielo parcialmente nublado (Evans, 1988). En un análisis decádico, para el período invernal y en función del porcentaje de días con cielo claro, nublado y cubierto se observan valores de 27, 45.5 y 27.5% y 26, 42.5 y 31.5% para la década del 70 y 80 respectivamente. Se registraría entonces, un aumento del 15% en el porcentaje de días con cielo cubierto. Para el mismo período, y para el ciclo 1973/1990, las tandas o rachas de días con cielo cubierto responden a un patrón de sucesos aleatorios, con una probabilidad del 25% de ocurrencia para el período analizado.

Realizado un análisis de regresión de secuencias de pares de días con cielo cubierto, se obtiene un valor de  $r=0.47$  con una probabilidad del 0.07% de que las estimaciones sean debidas al azar. Se observa una tendencia creciente en el período analizado, siendo  $y = -22.6 + 0.34 * X$ , (X: años de la serie).

**Cuadro 3: COMPORTAMIENTO QUINQUENAL DE HELIOFANIA RELATIVA Y NUBOSIDAD EN INVIERNO Y VERANO**

QUINQUENIOS	INVIERNO		VERANO	
	HELIOFANIA RELATIVA (%)	NUBOSIDAD TOTAL(octavos)	HELIOFANIA RELATIVA (%)	NUBOSIDAD TOTAL(octavos)
1976-80	48 (4.5)	4.4 (0.49)	68 (7.0)	3.5 (19.0)
1981-85	49 (4.2)	4.2 (0.75)	67 (5.7)	3.7 (14.7)
1986-90	49 (4.0)	4.0 (0.89)	64 (3.5)	3.7 (10.2)

#### Humedad Relativa y Lluvias

Los datos del Cuadro 4 muestran, como es esperable, una mayor humedad relativa del aire en invierno que en verano, con una tendencia a inviernos más húmedos durante la década de 1980. Esto no resultó tan evidente durante el verano. La variabilidad estadística no fue de significación en ninguna de las estaciones.

La cantidad de lluvia invernal también fue mayor en la década de 1980, pero esta situación no se repitió en el período estival. No obstante hay un notable efecto estacional sobre las precipitaciones, ya que las lluvias de verano son 3-4 veces superiores a las de invierno. La variabilidad inter-anual para lluvias es sustancialmente mayor a la de humedad relativa, lo que era esperable en función de las tendencias históricas.

**Cuadro 4: COMPORTAMIENTO QUINQUENAL DE LA HUMEDAD RELATIVA Y LAS LLUVIAS EN INVIERNO Y VERANO**

QUINQUENIOS	INVIERNO		VERANO	
	HUMEDAD RELATIVA (%)	LLUVIAS (mm)	HUMEDAD RELATIVA (%)	LLUVIAS (mm)
1976-80	69.2 (4.78)	82.2 (34)	63.8 (7.2)	437 (36.8)
1981-85	73.8 (4.40)	142.6 (55)	63.7 (3.7)	308 (138.4)
1986-90	74.6 (3.50)	122.0 (31)	67.5 (5.1)	389 (25.7)

entos.

La relación a décadas anteriores entre 1975 y 1990, ha ocurrido un notable incremento de los días con vientos de los cuadrantes N y NE, respecto a los del cuadrante S y SO (Cuadro 5). De acuerdo a la tesis de Suriano y Ferpozzi (1992), mientras el enfriamiento relativo de la atmósfera terrestre determina en el Hemisferio Sur un ascenso de los anticiclones del Pacífico y del Atlántico hacia los trópicos, el calentamiento de la misma provoca un descenso de dichos anticiclones hacia los polos. Cuando ocurre lo primero, la región estudiada resulta barrida por frentos fríos y secos del Sur y Sudoeste. Cuando ocurre lo segundo, los vientos predominantes son los cálidos y húmedos de los sectores Norte y Noreste. La fase climática dominante en las dos últimas décadas determinan una predominancia clara, tanto en invierno como en verano, de los vientos del Norte y Noreste, que tienden a llevar las marcas térmicas y las precipitaciones pluviales.

**Cuadro 5: NUMERO DE DIAS CON VIENTOS DE DISTINTO CUADRANTE EN INVIERNO Y EN VERANO**

QUINQUENIOS	INVIERNO		VERANO	
	N-NE	S-SO	N-NE	S-SO
1976-80	168	98	139	45
1981-85	196	66	145	46
1986-90	181	83	98	45

#### CONCLUSIONES

Los datos analizados indicarían que es factible aceptar las dos primeras hipótesis formuladas, ya que el clima regional ha experimentado variaciones en las últimas décadas, y esa variación estaría marcando un cambio en los patrones estacionales de comportamiento climático.

Respecto a algunas tendencias que la sustentarían la tercera hipótesis no es verificable dentro del lapso del tiempo analizado, puesto que no es factible aceptar la tesis de una tropicalización relativa del clima en un período ambiental relativamente corto (25 años).

Salvando las restricciones apuntadas respecto a la serie de tiempo analizada, se podría sintetizar en un modelo el comportamiento del clima regional en los últimos 25 años, y en las estaciones críticas para el diseño bioambiental: el invierno y el verano. El modelo nos presenta un comportamiento homogéneo en ciertas variables, y más bien errático en otras. Los caracteres más relevantes de este modelo nos muestran, como constantes de ambas estaciones, un predominio creciente de los vientos del N-NO sobre los del S-SO, un aumento de las temperaturas mínimas, y un descenso de las amplitudes térmicas. Estos cambios podrían servir de apoyo a la tesis de una tropicalización relativa del clima. Pero las temperaturas medias y

máximas, la humedad relativa y los grados día de calefacción requeridos manifiestan modificaciones de importancia en las dos estaciones. Las lluvias, nubosidad y la heliofania presentan por su parte, en ambas estaciones, comportamiento opuesto. Estos elementos relativizan la idea de una post tropicalización.

¿Qué impacto potencial pueden tener estas variaciones sobre las pautas de bioambiental?. El interrogante no tiene una respuesta sencilla. Pero las evidencias estarían indicando que los cambios no son todavía de una magnitud tal que impongan necesidad de nuevos modelos de arquitectura bioclimática. Más cabría en pensar ajustes específicos del diseño para neutralizar algunas variaciones, también específicas, de algunas variables clave del clima. De consolidarse o acentuarse tendencias medidas, las estrategias deberían orientarse a enfatizar la problemática del verano más que del invierno. Esto es, deberían concentrarse en la fase disipativa o de descarga, más que en la fase de ganancia o recarga de energía.

## BIBLIOGRAFIA

- ARNFIELD, (1987). Greenhouse Effect. The Encyclopedia of Earth Sciences Series Vol. 11 (J.E. Oliver and R.W. Fairbridge, eds.) Van Nostrand Reinhold Co., N. York, pp. 463-64.
- CASAGRANDE, G. (1992) Comunicación Personal.
- EVANS, M. y de SCHILLER, S. (1988). Diseño Bioambiental y Arquitectura Secretaría de Extensión Universitaria de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires Argentina. pp 187.
- IGBP (1992). International Geosphere-Biosphere Programme (ICSU).
- SAS. Institute, Inc. (1988). SAS/STAT User's Guide, Versión 6.02 Edition. Institute, Inc, Cary, NC.
- SURIANO, J. y FERPOZZI, L. (1992). El Cambio Global. Tendencias Climáticas en Argentina y el Mundo. Ciencia Hoy v 3, Nº18.
- WRI (1990). The World Resources Institute. World Resources. A guide to the Environment Oxford University Press, N. York, p. 11-31. Climate Change: A Global Concern.