

**Comunicación del Académico de  
Número Ing. Agr. Juan J. Burgos**

**Validación de modelos analógicos y  
numéricos para la predicción de los  
cambios antropogénicos del clima en  
América del Sur en relación con los  
impactos socio-económicos**



## DE

## AGRONOMIA Y VETERINARIA

Fundada el 16 de Octubre de 1909

Avda. Alvear 1711 - 2º P., Tel. / Fax 812-4168 y 815-4616, C.P. 1014

Buenos Aires, República Argentina

**MESA DIRECTIVA**

Presidente	Dr. Norberto Ras
Vicepresidente	Ing. Agr. Diego J. Ibarbia
Secretario General	Dr. Alberto E. Cano
Secretario de Actas	Ing. Agr. Manuel V. Fernández Valiela
Tesorero	Dr. Carlos O. Scoppa
Protesorero	Dr. Emilio G. Morini

**ACADEMICOS DE NUMERO**

Dr. Héctor G. Aramburu	Ing. Agr. Walter F. Kugler
Ing. Agr. Héctor O. Arriaga	Dr. Alfredo Manzullo
Ing. Agr. Wilfredo H. Barrett	Ing. Agr. Dante F. Mársico
Dr. Jorge Borsella	Ing. Agr. Angel Marzocca
Dr. Raúl Buide	Ing. Agr. Luis B. Mazoti
Ing. Agr. Juan J. Burgos	Ing. Agr. Edgardo R. Montaldi
Dr. Angel Cabrera	Dr. Emilio G. Morini
Dr. Alberto E. Cano	Dr. Norberto Ras
Med.Vet. José A. Carrazzoni	Ing. Agr. Manfredo A. L. Reichart
Dr. Bernardo J. Carrillo	Ing. Agr. Norberto A. R. Reichart
Dr. Pedro Cattáneo	Dr. Carlos T. Rosenbusch
Ing. Agr. Manuel V. Fernández Valiela	Ing. Agr. Luis De Santis
Dr. Guillermo G. Gallo	Dr. Carlos O. Scoppa
Ing. Agr. Rafael García Mata	Ing. Agr. Alberto Soriano
Ing. Agr. Roberto E. Halbinger	Dr. Boris Szyfres
Ing. Agr. Juan H. Hunziker	Ing. Agr. Esteban A. Takacs
Ing. Agr. Diego J. Ibarbia	Dr. Antonino C. Vívanco

**ACADEMICOS HONORARIOS**

Ing. Agr. Dr. Norman E. Borlaug (Estados Unidos)

Ing. Agr. Dr. Theodore Schultz (Estados Unidos)

**ACADEMICOS EMERITOS**

Dr. Enrique García Mata

Dr. Rodolfo M. Perotti

## ACADEMICOS CORRESPONDIENTES

- |   |  |
|---|--|
| Ing. Agr. Ruy Barbosa<br>(Chile)                | Ing. Agr. Jorge A. Mariotti<br>(Argentina)         |
| Dr. Joao Barisson Villares<br>(Brasil)          | Dr. Horacio F. Mayer<br>(Argentina)                |
| Dr. Roberto M. Caffarena<br>(Uruguay)           | Dr. Milton T. de Mello<br>(Brasil)                 |
| Ing. Agr. Edmundo A. Cerrizuela<br>(Argentina)  | Dr. Bruce Daniel Murphy<br>(Canadá)                |
| Ing. Agr. Guillermo Covas<br>(Argentina)        | Ing. Agr. Antonio J. Nasca<br>(Argentina)          |
| Ing. Agr. José Crnko<br>(Argentina)             | Ing. Agr. León Nijensohn<br>(Argentina)            |
| Dr. Carlos L. de Cuenca<br>(España)             | Ing. Agr. Sergio F. Nome Huespe<br>(Argentina)     |
| Ing. Agr. Jorge L. Chambouleyron<br>(Argentina) | Dr. Guillermo Oliver<br>(Argentina)                |
| Dr. Luis A. Darlan<br>(Argentina)               | Ing. Agr. Gustavo A. Oriole<br>(Argentina)         |
| Méd.Vet. Horacio A. Delpietro<br>(Argentina)    | Ing. Agr. Juan Papadakis<br>(Grecia)               |
| Ing. Agr. Johanna Dobereiner<br>(Brasil)        | Dr. h.c. C. Nat. Troels M. Pedersen<br>(Argentina) |
| Ing. Agr. Guillermo S. Fadda<br>(Argentina)     | Ing. Agr. Rafael E. Pontis Videla<br>(Argentina)   |
| Ing. Agr. Osvaldo A. Fernández<br>(Argentina)   | Dr. Charles C. Poppensiek<br>(Estados Unidos)      |
| Ing. For. Dante C. Fiorentino<br>(Argentina)    | Ing. Agr. Aldo A. Ricciardi<br>(Argentina)         |
| Dr. Román Gaignard<br>(Francia)                 | Ing. Agr. Manuel Rodríguez Zapata<br>(Uruguay)     |
| Ing. Agr. Adolfo E. Glave<br>(Argentina)        | Ing. Agr. Fidel Roig<br>(Argentina)                |
| Ing. Agr. Víctor Hemsy<br>(Argentina)           | Dr. Ramón A. Rosell<br>(Argentina)                 |
| Dr. Sir William M. Henderson<br>(Gran Bretaña)  | Ing. Agr. Jaime Rovira Molins<br>(Uruguay)         |
| Ing. Agr. Armando T. Hunziker<br>(Argentina)    | Ing. Agr. Armando Samper Gnecco<br>(Colombia)      |
| Dr. Luis G. R. Iwan<br>(Argentina)              | Ing. Agr. Alberto A. Santiago<br>(Brasil)          |
| Dr. Elliot Watanabe Kitajima<br>(Brasil)        | Ing. Agr. Franco Scaramuzzi<br>(Italia)            |
| Ing. Agr. Antonio Krapovickas<br>(Argentina)    | Ing. Agr. Jorge Tacchini<br>(Argentina)            |
| Ing. Agr. Néstor R. Ledesma<br>(Argentina)      | Ing. Agr. Arturo L. Terán<br>(Argentina)           |
| Dr. Oscar J. Lombardero<br>(Argentina)          | Ing. Agr. Ricardo M. Tizzio<br>(Argentina)         |
| Ing. Agr. Jorge A. Luque<br>(Argentina)         | Ing. Agr. Victorio S. Trippi<br>(Argentina)        |
|   | Ing. Agr. Marino J.B. Zaffanella                   |

## **COMISIONES**

### **COMISION DE PUBLICACIONES**

Dr. Héctor G. Aramburu (Presidente)  
Dr. Alberto E. Cano  
Ing. Agr. Esteban A. Takacs

### **COMISION DE PREMIOS**

Dr. Alfredo Manzullo (Presidente)  
Ing. Agr. Héctor O. Arriaga  
Dr. Jorge Borsella  
Ing. Agr. Wilfredo H. Barrett

### **COMISION CIENTIFICA**

Ing. Agr. Angel Marzocca (Presidente)  
Dr. Guillermo G. Gallo  
Ing. Agr. Manuel V. Fernández Valiela

### **COMISION DE INTERPRETACION Y REGLAMENTO**

Ing. Agr. Diego J. Ibarbia (Presidente)  
Dr. Alberto E. Cano  
Dr. Héctor G. Aramburu

### **Artículo N° 17 del Estatuto de la Academia**

"La Academia no se solidariza con las ideas vertidas por sus miembros en los actos que ésta realice salvo pronunciamiento expreso al respecto que cuente con el voto unánime de los académicos presentes en la sesión respectiva"

# **Comunicación del Académico de Número Ing. Agr. Juan J. Burgos \* Con la colaboración del Dr. Gennady Menzhulin;\*\* Lic. Juan C. Labraga\*\*\* y Lic. Andrea Salvatore.\*\*\*\***

## **Validación de modelos analógicos y numéricos para la predicción de los cambios antropogénicos del clima en América del Sur en relación con los impactos socio-económicos**

### **I. Introducción**

La profusa bibliografía que existe sobre modelos analógicos y numéricos, para la predicción del cambio antropogénico global del clima, fue generada por grupos científicos de países del Hemisferio Norte y posteriormente por algunos del Hemisferio Sur.

La aplicación de estos modelos sobre una escala regional, subregional y local, para predecir los impactos o escenarios socio-económicos del futuro, ha demostrado diferencias entre los mismos. Especialmente los numéricos muestran diferencias entre sí cuando los elementos simulados más se apartan del principal forzante del clima, como es el balance de energía. Tal es lo que ocurre con estos modelos al pretender simular la precipitación, la humedad del suelo, la evaporación y el escurrimiento. (Schlesinger y Mitchell, 1987; Grotch, 1988 y Burgos et al. 1991). En el Subcontinente de América del Sur, aún no se han generado modelos propios y sólo se han aplicado modelos de otros continentes, cuando se ha deseado anticipar algunos impac-

tos del cambio antropogénico del clima, sin efectuar una validación previa. (Nobre et al. 1988; Burgos, 1991).

El Programa de Investigaciones Regionales sobre el Cambio Global (PROINGLO) del CONICET de Argentina, empeñado desde 1991 en el estudio de los impactos socio-económicos del Cambio Antropogénico del Clima, ha tratado de promover la validación de los modelos existentes, tanto analógicos como numéricos del clima, al ámbito de América del Sur con énfasis, en la República Argentina. Para ello, se estableció una colaboración bilateral con la Academia de Ciencias de Rusia, con el Instituto de Hidrología del Estado de San Petersburgo, Rusia, y con el CSIRO de Australia. En la tarea de este último proyecto colaboraron estrechamente investigadores del Centro Patagónico (CENPAT) del CONICET y el Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina.

En esta comunicación se consideraron los resultados obtenidos en la Argentina, hasta el presente, con los dos proyectos mencionados.

\* Centro de Investigaciones Biometeorológicas (CIBIOM-PROINGLO-CONICET), Buenos Aires, Argentina.

\*\* Instituto Hidrológico del Estado de San Petersburgo, Rusia.

\*\*\* Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn, Argentina.

\*\*\*\* Servicio Meteorológico Nacional, Buenos Aires, Argentina.

## **II. Validación de métodos analógicos sobre el Cambio Global Antropogénico del Clima, para predecir sus impactos socio-económicos en América del Sur.**

Desde mediados de este siglo se comenzó a percibir la importancia del aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera, como consecuencia de la revolución industrial de principio de siglo. Con el propósito de anticipar los impactos que esta variación de la composición atmosférica podría ocasionar en la sociedad, se empezaron a desarrollar algunos modelos climáticos basados en las analogías de las variaciones climáticas pasadas y sus consecuencias sobre la actividad humana, que se proyectaron hacia el futuro, (Kellogg y Schwabe, 1982; Pittock y Salinger, 1982; Burgos, 1991). Referencias históricas, paleográficas y climáticas del pasado se tomaron, en estos casos, como base deductiva del clima del porvenir y sus consecuencias.

En la década de los años 1960, se estructuró un grupo de científicos bajo la conducción del Prof. M.I. Budyko, primero en el Observatorio Geofísico Principal A.I. Voiekov de Leningrado (URSS) y actualmente en el Instituto Hidrológico del Estado de San Petersburgo (Rusia). Este grupo hizo importantes contribuciones a la física del Sistema Climático y al desarrollo de la Paleoclimatología, Paleobotánica y Paleogeofísica, que ha permitido generar un modelo analógico del clima, cuyos fundamentos han sido expuestos en diferentes trabajos, tales como en Budyko (1980); Budyko et al. (1982); Budyko (1984); Budyko et al. (1985); Budyko et al. y MacCracken et al. (1987); Budyko et al. (1990 y 1991).

Para la elaboración de estos modelos, sobre la base de la cantidad de sedimentos carbonatados de diferen-

tes épocas del período terciario y anteriores, se estimaron las variaciones del contenido del CO<sub>2</sub> de la atmósfera y de ellas la temperatura de la Tierra. Otras informaciones paleográficas permitieron reconstruir los biomas que cubrieron la Tierra y de toda la información conjunta se estimó la precipitación y su régimen.

El trabajo titulado "Cambios Antropogénicos del Clima en América del Sur", uno de cuyos ejemplares se exhibe ahora fue ejecutado y redactado por M.I. Budyko, I.I. Borzenkova, G.V. Menzhulin e I.A. Shiklomanov, en el Instituto Hidrológico del Estado de San Petersburgo, Rusia, y publicado por la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria de Argentina, en 1994. Este trabajo puede considerarse como una validación preliminar del método analógico ruso para predecir el cambio antropogénico del clima en el próximo siglo para este Subcontinente y sus impactos sobre los recursos hídricos y la productividad de los cultivos.

Se considera el trabajo realizado como una validación del mencionado método, por la circunstancia de que los escenarios creados del clima del pasado y de la cubierta viva de la Tierra, se han verificado con más de 400 trabajos, en su mayoría realizados localmente en el mismo Subcontinente.

El calificativo de preliminar corresponde, según los mismos autores, a que una información paleográfica, paleoclimática y paleogeofísica mayor que la utilizada en Rusia, podría conducir a tener que rectificar las conclusiones a que se arribaron en el trabajo.

### **1. Bases del Modelo Analógico**

La base principal del Modelo Analógico ruso ha sido reconstruir las condiciones de temperatura de épocas pasadas, en las cuales la atmósfera

contuvo CO<sub>2</sub>, en una proporción análoga a la que podría contener en el futuro.

De este modo, consideraron que durante el intervalo del Optimo del Plioceno (4,3-3,3 millones de años A.P.) en la atmósfera se estabilizó un contenido de 680-700 ppmv. de CO<sub>2</sub>, lo cual correspondería como análogo de la concentración de gases de CO<sub>2</sub> equivalente, que se espera para el año 2050. La composición de la atmósfera del Interglacial del Pleistoceno, en el período Cuaternario (125.000 A.P.), se conoce por los estudios efectuados sobre monolitos de hielo obtenidos de los glaciares de Vostok (Antártida) y de Groenlandia. El contenido de CO<sub>2</sub>, que fue de 290-300 ppmv., se consideró análogo de la concentración de CO<sub>2</sub> equivalente, que la atmósfera tendrá en el año 2025. Del mismo modo, en el Optimo del Holoceno ( 6-5 mil años A.P.), se registró un incremento de CO<sub>2</sub> atmosférico que alcanzó valores de 260-290 ppmv., que se ha tomado como análogo para los impactos que pueden ocurrir alrededor del año 2000.

La predicción de la precipitación fue un problema más complejo que la predicción de la temperatura. En este caso los análogos más próximos se obtuvieron de datos dendrocronológicos disponibles en el Subcontinente (2000 a 1500 años A.P.) y de observaciones de oxígeno isotópico en monolitos de glaciares; de datos climáticos estratigráficos, geomorfológicos y de suelos (20000 años A.P.); y de datos paleobotánicos y paleoclimáticos (4. 3-3.3 millones de años A.P.).

## **2. Conclusiones Adoptadas**

En la obra de referencia, 5 mapas muestran la distribución actual de los biomas naturales (Hueck y Siebert, 1981), las zonas climáticas actuales (Alisov y Poltarau, 1962), la variación

climática de la última década (1981-1990), comparada con la serie de valores climáticos 1951-1975 (temperatura estival: XII - I - II; temperatura invernal: VI -VII - VIII y precipitación anual).

Los biomas y los climas del pasado se muestran en 12 mapas: los biomas durante el último Período Glacial (18000 años A.P.); los biomas durante el Optimo del Holoceno y el Ultimo Interglacial; desviación de la temperatura de Enero - Febrero en el Optimo del Holoceno, con respecto a la Epoca Preindustrial (6-5 mil años A.P.); desviaciones de la temperatura de Julio-Agosto, del Ultimo del Holoceno (5-6 mil años A.P.), con la misma referencia; desviación de la precipitación total anual del Optimo del Holoceno (6-5 mil años A.P.), con la misma referencia; desviación de la temperatura de Enero-Febrero, con la misma referencia; desviación de la temperatura de Julio-Agosto durante el Ultimo Interglacial (125 mil años A.P.), con la misma referencia; desviación de la precipitación total anual durante el Ultimo Interglacial (125 mil años A.P.), con la misma referencia; los biomas durante el Optimo del Plioceno (4.3-3.3 millones de años A.P.); desviaciones de la temperatura de Enero-Febrero durante el Optimo del Plioceno (4.3-3.3 millones de años A.P.), con la misma referencia; desviaciones de la temperatura de Julio-Agosto durante el Optimo del Plioceno (4.3-3.3 millones de años A.P.), con la misma referencia; desviación de la precipitación total anual durante el Optimo del Plioceno (4.3-3.3 millones de años A.P.), con la misma referencia.

## **3. Comparación entre el modelo paleoanalógico ruso y el numérico GISS. (Hansen et al., 1984).**

En las Figuras N<sup>o</sup> 1, 2 y 3 se ilustran,



para su comparación, los cambios de temperatura (Julio-Enero) y de la precipitación total anual en América del Sur, según el modelo GISS, en los tres mapas superiores, y el modelo Paleoanalógico de Budyko et al. 1994, en los tres mapas inferiores. Las zonas grisadas corresponden a territorios con desviaciones negativas.

Debemos aclarar que el modelo GISS ha sido ampliamente usado en países del Hemisferio Norte y también en la Argentina. En uno de estos últimos casos (Burgos, 1991), utilizamos solamente la predicción del cambio de temperatura para crear los escenarios futuros de los mayores sistemas agrícolas y de la industria. Sin embargo, hasta la fecha el modelo GISS no ha sido validado para el país.

### **III. Validación de modelos numéricos de simulación del Cambio Antropogénico del Clima para Sudamérica.**

También ha sido una preocupación del PROINGLO-CONICET, la validación de los modelos numéricos de simulación del Cambio Antropogénico del Clima en este Subcontinente. La iniciativa se originó como consecuencia de una colaboración bilateral entre Argentina y Australia, surgida de la necesidad de enfocar el problema con un criterio hemisférico determinado por las singulares características geológicas, geográficas y geofísicas en general, compartidas por los países del Hemisferio.

El primer trabajo realizado en esta dirección ha sido una validación objetiva de cinco (5) modelos numéricos (Labraga, inédito). Estos modelos fueron el UKMOH (Británico); los SCIRO 9 y el BMRC (Australianos); el CC (Canadiense) y el GFDLH (Norteamericano).

En este trabajo se trató de evaluar en que medida cada uno de los cinco modelos simulaban características notables de la presión atmosférica a nivel del mar (P), ocho características de la temperatura del aire (T) y trece de la precipitación (L) y su régimen. Estas características se enumeran a continuación y en los cuadros correspondientes las letras S, P y N significan que: el modelo S simula adecuadamente, P simula parcialmente y N que no simula.

#### **1- Características de la presión atmosférica a nivel del mar**

P.1) Variación de la posición e intensidad del anticiclón del Océano Pacífico a lo largo del año.

P.2) Variación de la posición e intensidad del anticiclón del Océano Atlántico.

P.3) Intensidad y localización de la baja térmica continental.

P.4) Intensidad del gradiente meridional de presión en el extremo austral de América del Sur entre 45° y 50° S.

P.5) Gradiente longitudinal comprendido entre 10°N y 10°S entre los océanos Pacífico y Atlántico.

En el Cuadro N° 1 se puede apreciar el grado de exactitud de la simulación de cada modelo analizado, obtenido de las características anteriores.

**Cuadro Nº 1.** Simulación de características en gran escala del campo de la presión continental y oceánica en América del Sur.

	MODELOS				
	CSIRO 9	UKMOH	GFDLH	BMRC	CCC
Caract.					
P. 1)	S	S	P	S	S
P. 2)	S	S	P	S	P
P. 3)	S	S	S	S	S
P. 4)	S	S	S	S	S
P. 5)	S	S	S	S	S

## 2. Características de la temperatura

Las características térmicas de América del Sur que se consideraron de más importancia, para una adecuada simulación del clima actual y que pudieron ser discernibles con la resolución espacial de los modelos analizados, fueron las siguientes:

T. 1) Ubicación y variación de la intensidad del núcleo caliente continental del Chaco Paraguayo. Formación de una lengua caliente hacia el sur de este núcleo, a lo largo del eje central del continente, durante el verano.

T. 2) Gradiente térmico meridional y su variación anual al sur de 20° S y hasta el extremo austral del continente.

T. 3) Núcleo frío en el extremo sur del continente durante el invierno y

gradiente térmico meridional en las latitudes oceánicas comprendidas entre 50 y 60° S.

T. 4) Gradiente térmico meridional y su variación anual entre la planicie de Río Grande y la región noreste del Brasil.

T. 5) Influencia de la altura del terreno sobre el campo térmico en las principales cadenas montañosas y mesetas del continente. Núcleo frío permanente en el Altiplano Boliviano.

T. 6) Ubicación e intensidad del núcleo caliente del noreste brasileño.

T. 7) Patrón térmico ecuatorial de doble máximo, en la región de la cuenca del Amazonas.

T. 8) Influencia de las corrientes oceánicas de Humboldt y Brasil, en el campo térmico de las regiones costeras aledañas.

**Cuadro N° 2.** Simulación de características en gran escala del campo de la temperatura. Siglas y símbolos ídem Cuadro N° 1.

	MODELOS				
	CSIRO 9	UKMOH	GFDLH	BMRC	CCC
Caract.					
T. 1)	S	S	S	S	S
T. 2)	P	P	P	S	S
T. 3)	S	S	S	S	S
T. 4)	S	S	S	S	S
T. 5)	S	S	S	S	S
T. 6)	N	S	N	N	N
T. 7)	P	P	P	P	N
T. 8)	S	S	S	S	S

### 3. Características de la precipitación

Las características más importantes de la precipitación en América del Sur, que se consideró conveniente simular para comparar los distintos modelos analizados, fueron las siguientes:

L. 1) Corredor de precipitaciones escasas, que cruza el continente de Noroeste a Sudeste desde la costa del Perú, sobre el océano Pacífico, hasta la costa de la Patagonia Argentina, sobre el océano Atlántico.

L. 2) Régimen de lluvias invernales sobre la costa chilena del Pacífico al sur de 31° S, con máximo entre 40 y 45° S. Este régimen se extiende a la Patagonia Argentina, con fuertes gradientes de precipitaciones sobre la pendiente oriental de los Andes y

bajos totales anuales en el interior y costa atlántica.

L. 3) Región del extremo del continente de régimen marítimo subpolar, con lluvias abundantes durante todo el año y leve predominio durante los meses de primavera (otoño) y verano. Máximo de precipitación sobre la costa del Pacífico entre 45 y 50° S.

L. 4) Región andina del sudoeste del Perú, Bolivia y noroeste argentino de régimen tropical con máximo en verano, circunscripto al período Diciembre - Marzo y mínimo bien definido en invierno.

L. 5) Región de régimen subtropical continental de lluvias de verano, con período seco no completamente carente de lluvias. Abarca el Chaco paraguayo, y zonas norte, centro y este de Cuyo en la Argentina.

L.6) Región de la costa del mar Caribe de régimen tropical marítimo seco, con un período seco principal de Diciembre a Abril.

L.7) Región de régimen tropical marítimo húmedo del Norte. Abarca la zona costera de Guyana, Surinam, Guayana Francesa, Amazonas inferior y costa atlántica desde el Norte hasta 40°S. El máximo principal ocurre en otoño (trimestre Marzo-Mayo) y el período seco en primavera.

L.8) Región de régimen tropical marítimo de la costa este. Costa este del Brasil desde 7 hasta 20° S. Máximo al final del otoño y comienzo del invierno y mínimo en primavera.

L.9) Región de régimen tropical continental de verano (Hemisferio Norte). Este de Colombia, los Llanos de Venezuela, extremo norte del interior del Brasil y sur de Guyana. Máxima precipitación en los meses de sol alto del Hemisferio Norte, con centro en Mayo-Julio. Mínima precipitación en Enero-Febrero.

L.10) Región de régimen tropical continental de verano (Hemisferio Sur). Este del Perú al sur de 10°S, norte y

este es Bolivia, cuenca amazónica del Brasil al sur de 5°, extendiéndose hacia el sudeste del Brasil hasta 20°S. Máxima precipitación en Enero-Febrero, mínima en los meses centrales.

L.11) Región de régimen tropical continental húmedo. Extremo sur de Colombia y Venezuela y una delgada banda con orientación este-oeste, ubicada entre 2° y 3° N en el río Negro y norte del Amazonas superior. Posee un doble máximo, uno principal centrado en Mayo y otro secundario entre Noviembre y Enero. Mínimos comparables en Febrero y Setiembre.

L.12) Región de régimen tropical de montaña. Zona andina de Ecuador, oeste de Colombia y noroeste de Venezuela. Máximos en Abril-Mayo y Octubre-Noviembre, mínimos en Enero-Julio.

L.13) Región de régimen tropical marítimo húmedo de la costa colombiana del Pacífico. Una de las regiones más lluviosas de Sudamérica. Máximo principal en Octubre-Noviembre y secundario en Mayo. Similar a L.11), con mínimo principal en Febrero-Marzo y secundario en Julio.

Recientemente ha aparecido el trabajo de Wetton et al. (2006), en el que un grupo de investigadores analizan la validez de una serie de modelos de circulación general de la atmósfera para el Hemisferio Sur. En esta obra, en el capítulo correspondiente a América del Sur, el Lic. Juan C. Labraga agrega el análisis numérico de la validez de los cinco modelos evaluados en forma descripta en el trabajo mencionado anteriormente (Labraga, inédito). Este análisis numérico se hizo comparando hasta el equilibrio los valores de salida de los modelos, con un aumento de la concentración en la atmósfera de  $2xCO_2$  y los que corresponden a la realidad, según la serie de observaciones instrumentales disponibles hasta el presente.

Los parámetros estadísticos obtenidos de esta comparación fueron el coeficiente de correlación y el error medio estándar, que se incluyen en el Cuadro N° 4. Estos parámetros muestran, en general, un nivel comparable y aceptable al simular los campos de la presión media al nivel del mar y de la

temperatura. Sin embargo, algunas características relevantes del clima no simulan en forma adecuada, como son: la variación estacional de los gradientes meridionales de presión en el extremo sur del continente y el gradiente de temperatura de superficie, podrían atribuirse a que en los modelos la topografía superficial tiene una resolución relativamente baja como ocurre con el BMRC; CCC y CSIRO 9.

Con respecto a los resultados de la precipitación, los modelos tienen una performance menos satisfactoria y algo heterogénea. El CSIRO 9 y el UKMOH, muestran una mejor respuesta que los otros, como indican los parámetros estadísticos, pues tienen un error mínimo y la máxima correlación, cuando los valores de salida del modelo se compara con los valores observados. No obstante, los resultados muestran que los valores simulados por los modelos corridos hasta el equilibrio de presión y temperatura para  $1x CO_2$  y  $2x CO_2$ , produce indicadores de tendencia del clima futuro más auténticos, que los correspondientes a la precipitación.

**Cuadro N° 3.** Simulación de características en gran escala del campo de la precipitación. Siglas y símbolos ídem cuadro anteriores.

Caract.	MODELOS				
	CSIRO 9	UKMOH	GFDLH	BMRC	CCC
L. 1)	S	N	N	N	S
L. 2)	S	S	S	S	S
L. 3)	S	N	N	N	N
L. 4)	S	N	N	N	N
L. 5)	S	N	N	N	N
L. 6)	S	S	S	S	S
L. 7)	S	S	S	S	N
L. 8)	S	S	N	S	S
L. 9)	N	N	S	S	N
L. 10)	S	S	S	N	N
L. 11)	S	S	N	N	N
L. 12)	P	S	S	P	P
L. 13)	P	P	S	P	P

**4. Resultados obtenidos con modelos numéricos.**

Sintetizando estas comparaciones se puede deducir que los modelos analizados unos con mayor eficiencia que otros, muestran el orden siguiente

en su validación: 1. CSIRO 9; 2. UKMOH; 3. BMRC; 4. GFDLH; 5. CCC. Actualmente se ha realizando una validación numérica para referir con más exactitud este orden.

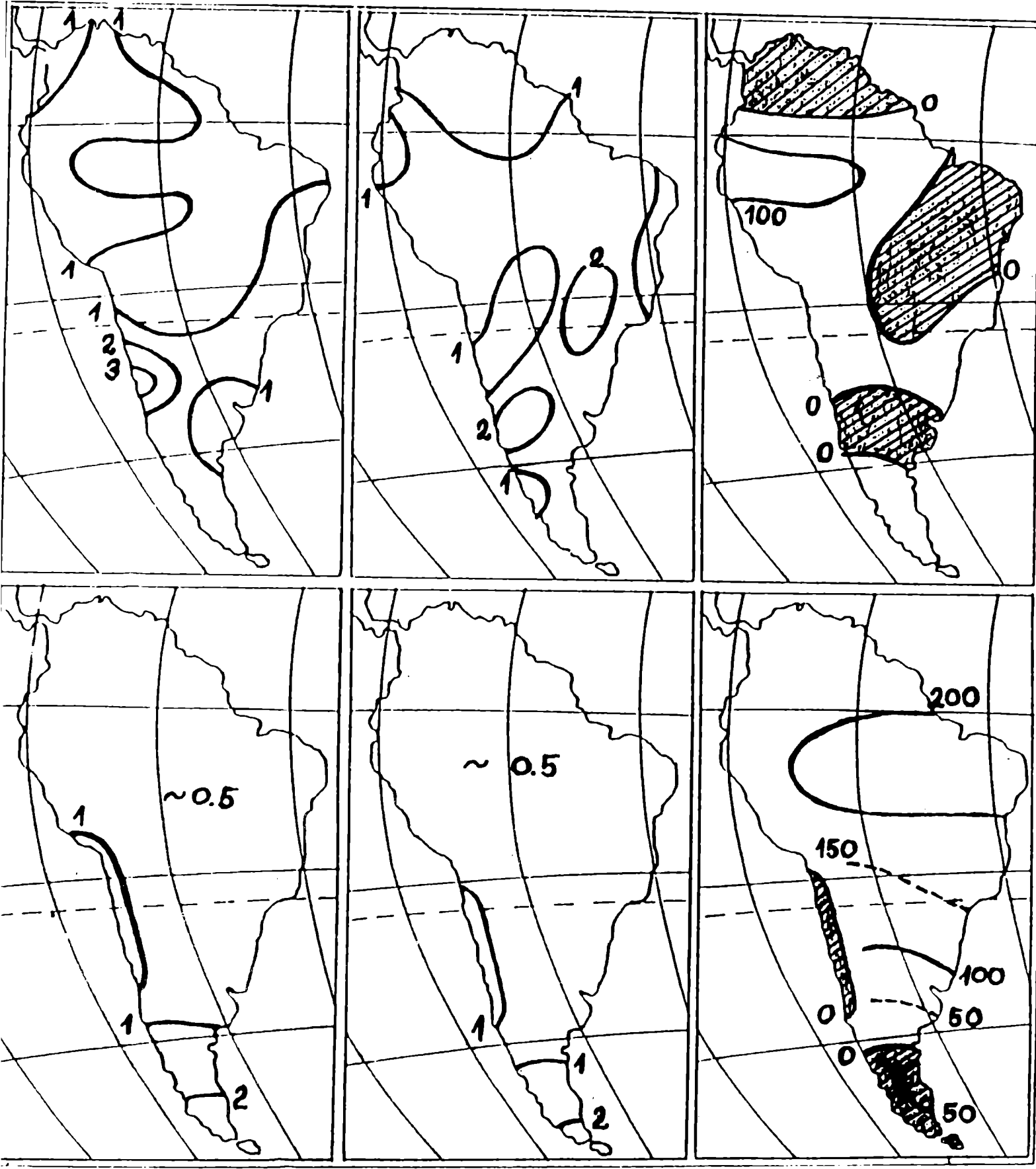
## IV BIBLIOGRAFIA

- ALISOV, B.P. y B.V. POLTARAUS, 1962. Climatology. Mgu, Moscú, 226 pp. (en ruso).
- BUDYKO, M.I., 1980. The Earth's Climate: Past and Future. Gidrometeoizdat, Leningrado, 351 pp. (en ruso). Traducido al inglés en 1982, Academic Press, 1982, 307 pp.
- BUDYKO, M.I. et al. y W. GATES et al., 1982. Influence increasing of CO<sub>2</sub> concentration on climate. L. Geometeoizdat, 56 p. (en ruso).
- BUDYKO, M.I., 1984. Evolution of Biosphere. Geometeoizdat, Leningrado, 487 pp. (en ruso). Traducido al inglés en 1986. D. Reidel, Dordrecht, Holanda.
- BUDYKO, M.I.; A.B. RONOY y A.L. YANSHIN, 1985. The History of the Earth's Atmosphere. Geometeoizdat, Leningrado, 209 pp. (en ruso). Traducido al inglés en 1987, Springer-Verlag.
- BUDYKO, M.I. et al. y M. MacCRACKEN et al., 1987. The Causes of the Modern Climatic Change. Meteorologiya i Gidrologiya, N° 5, p. 110-116, en ruso.
- BUDYKO, M.I.; Yu. A. IZRAEL; M. MacCRACKEN y A.D. HECHT, (Eds.), 1990 y 1991. Prospect for future Climate. A Special USA/USSR Report on Climate Change. Lewis Publishers, 270 pp. (Publicado en inglés en 1990 y en ruso en 1991).
- BUDYKO, M.I.; I.I. BORZENKOVA; G.V. MENZHULIN e I.A. SHIKLOMANOV, 1994. cambios Antropogénicos del Clima en América del Sur. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, 223 pp. Buenos Aires, Argentina.
- BURGOS, J.J., 1991. Escenarios del Impacto Económico-social del Cambio Global del Clima en la República Argentina. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria Tomo XLV, N° 9, 18pp. Buenos Aires, Argentina.
- BURGOS, J.J.; H. FUENZALIDA PONCE y L.B.C. MOLION, 1991. Climate Change Prediction for South América. Climate Change 18: 223-293, 1991. IGBP Southern Hemisphere Workshop, Mbabane, Swaziland, Dec. 11-16, 1988.
- GROTCH, S.L., 1988. Regional Intercomparisons of General Circulation Model Predictions and Historical Climate Data. U.S. Dept. of Energy Research TRO 41 CO<sub>2</sub>, 291 pp.
- HANSEN, J.; A. LACIS; D. RIND; G. RUSSELL; P. STONE; I. FUNG; R. RUEDY; J. LERNER, 1984. Climate Sensitivity: Analysis of Feedback Mechanisms. Geophys. Mono 29, 130-163.
- HUECK, K. y P. SEIBERT, 1981. Vegetationskarte von Südamerika. 2da. ed. G. Fischer, Stuttgart, 90 pp.
- KELLOG, W.W. y R. SCHWARTZ, 1982. Climate Change and Society. Consequences of increasing atmospheric carbon dioxide. Westview Press., Boulder, Co. 178 pp.
- LABRAGA, J.C. (inédito). The Climate Change in South America due to a doubling in the CO<sub>2</sub> concentration: intercomparison of result from five GCMs, 17 pp. Tables, Maps and Graphics.

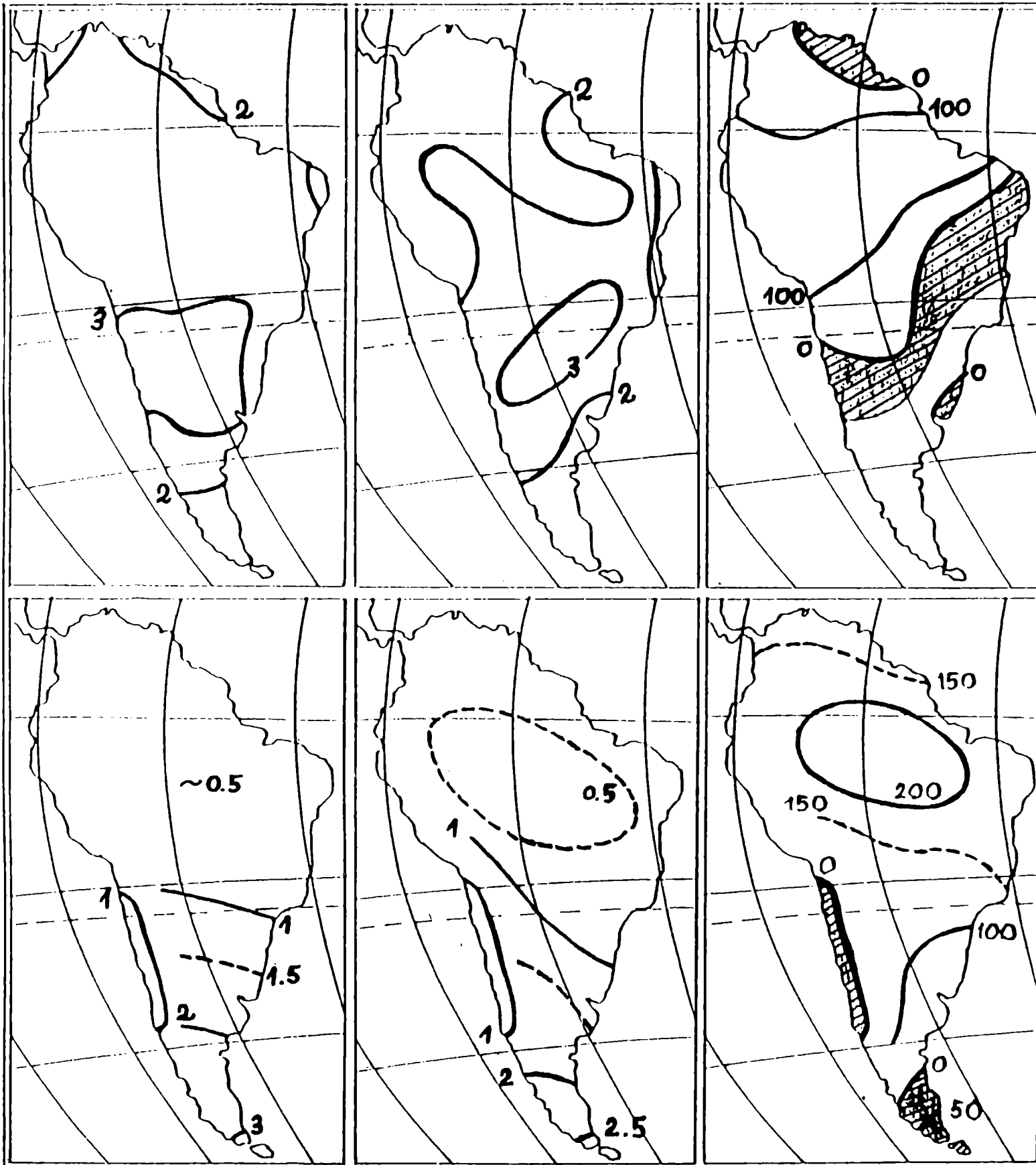
- NOBRE, C.A.; P.L.S. DIAS; M.A.R. DOS SANTOS; J. COHEN; P.J. DA ROCHA;  
R. GUEDES; R.N. FERREIRA; J.A. DOS SANTOS, 1988. Mean  
Large Scale Meteorological Aspects of ABLE-2B'.
- PITTOCK, D.B. y M.J. SALINGER, 1988. Toward regional scenarios for a CO2-  
warmed Earth. *Climate Change*, 4: 23-40.
- SCHLESINGER, M.E. y J.F.B. MITCHELL, 1987. Climate model simulations of the  
equilibrium climatic response to increased carbon dioxide. *Rev. of  
Geophysics* Vol. 47,349-371. Elsevier Science Publ. B.V. Amsterdam,  
Netherlands.
- WHETTON, P.,; A. BARRY PITTOCK; J.C. LABRAGA; A. BRETT MULLAN; A.  
JOUBERT, (inérito). *Southern Hemisphere Climate: Comparing  
Models with Reality.*, 43 pp.

ISSN 0327-8093

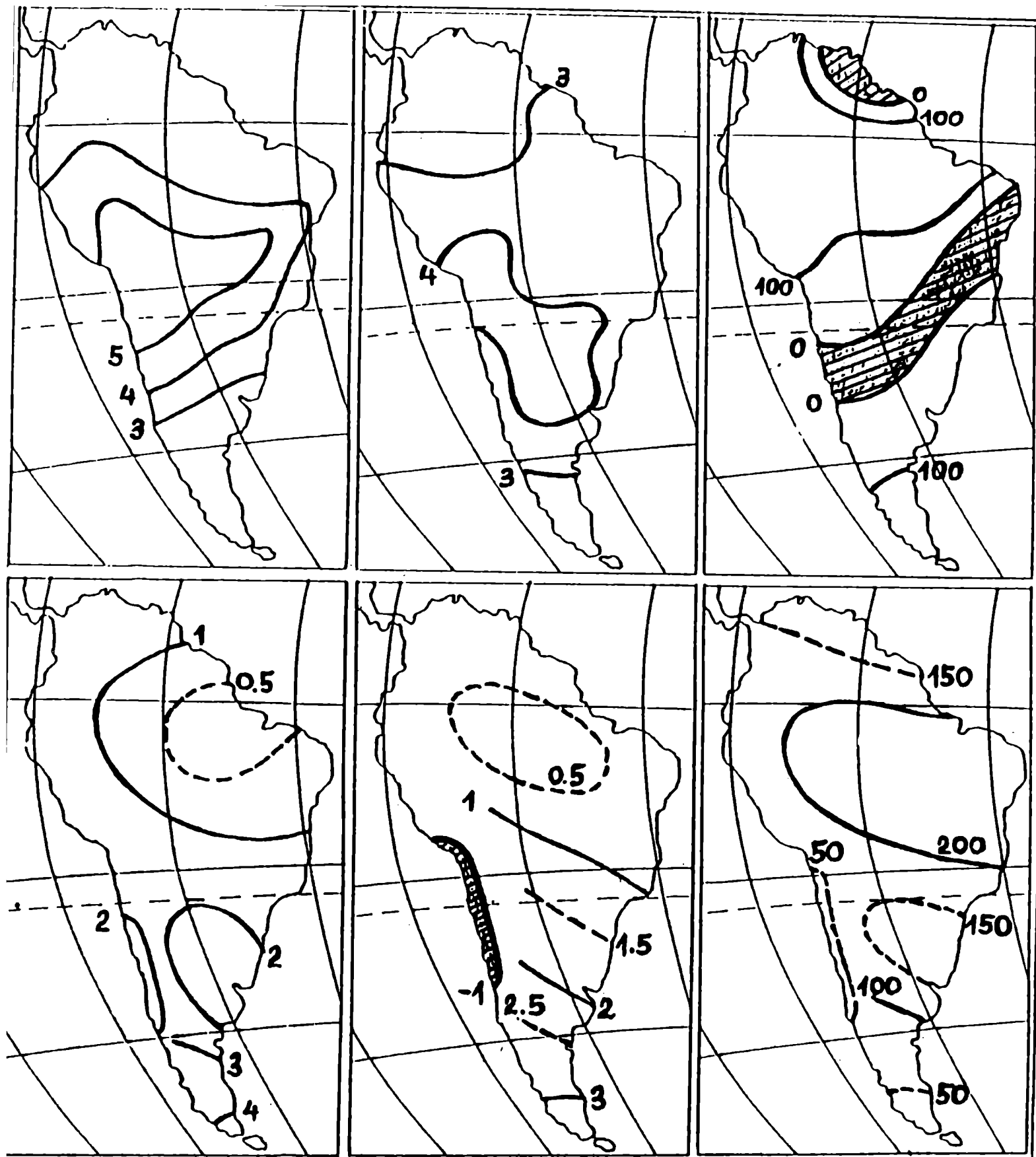




**Fig. Nº 1.** Cambios de la temperatura del aire del mes de Julio (primera columna); de Enero (segunda columna); y de la precipitación anual (tercera columna), en América del Sur, para el año 2010, según el escenario del modelo de transición GISS (Hansen et al., 1984) en la hilera superior y el escenario del modelo paleoanalógico en la hilera inferior. Grisado, áreas con valores negativos.



**Fig. Nº2.** Cambios de la temperatura del aire en superficie del mes de Julio (primera columna); de Enero (segunda columna); y de la precipitación anual (tercera columna), en América del Sur, para el año 2030, según el escenario del modelo de transición GISS (Hansen et al., 1984), en la hilera superior y el escenario del modelo paleoanalógico en la hilera inferior. Grisado, áreas con valores negativos.



**Fig. Nº 3.** Cambio de la temperatura del aire superficial del mes de Julio (primera columna); de Enero (segunda columna) y de la precipitación (tercera columna), en América del Sur, para el año 2050, según el escenario del modelo de transición GISS (Hansen et al., 1984), en la hilera superior y el escenario del modelo paleoanalógico en la hilera inferior.

**Cuadro N° 4: Parámetros estadísticos de la corrida de control. Coeficiente de Correlación y Error Medio Estándar entre los resultados de los modelos y las observaciones reales.**

	Presión	Temperatura	Precipitación
<b>Correlación</b>			
BMRC	0,97	0,91	0,34
CCC	0,98	0,92	0,37
CSIRO 9	0,96	0,88	0,68
GFDLH	0,97	0,92	0,28
UKMOH	0,95	0,95	0,67
<b>Error Medio Estándar</b>			
	(hPa)	(°C)	(mm/día)
BMRC	3,4	2,6	2,6
CCC	2,3	2,7	2,3
CSIRO 9	2,5	2,8	1,7
GFDLH	5,3	3,4	3,7
UKMOH	3,0	2,4	2,0

(\*) Solamente puntos de la grilla continental.