

Clima de cambios

NUEVOS DESAFÍOS DE ADAPTACIÓN EN URUGUAY

Resultado del proyecto: TCP/URU/3302 Nuevas Políticas para la Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático
Elaborado por: Instituto de Estudios de Sostenibilidad y Resiliencia de América del Sur



Volumen I

Variabilidad climática de importancia
para el sector productivo



Clima de cambios

NUEVOS DESAFÍOS DE ADAPTACIÓN EN URUGUAY

Volumen I

Variabilidad climática de importancia
para el sector productivo

Resultado del proyecto: TCP/URU/3302 Nuevas Políticas
para la Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático

Elaborado por el Instituto de Estudios de Sostenibilidad
y Resiliencia de América del Sur

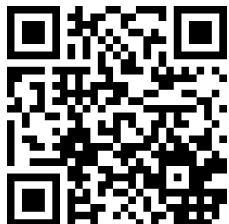


RECONOCIMIENTOS:

Se agradecen especialmente los aportes de Roberto Zoppolo, Jorge Sawchik, Esteban Hoffman, Oswaldo Ernst, Graciela Quintans, Marcelo Pereira, Hermes Morales, Danilo Bartaburu, Daniel de Brum, Elbio Berretta y Pablo Soca.

El documento estará disponible en:

<http://www.fao.org/climatechange/84982/es>



Este documento se debe citar como:

Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay".
FAO-MGAP. TCP URU/3302.

Autores: Bidegain, Mario; Crisci, Carolina; del Puerto, Laura; Inda, Hugo; Mazzeo, Néstor; Taks, Javier; y Terra, Rafael.

Corrección de estilo: Malvina Galván

Diseño: Esteban Grille

Foto de tapa: Esteban Grille

Contenido

Equipo del proyecto	5
Equipo técnico del estudio	6
Abstract	7
Resumen ejecutivo	9
1.- Introducción	13
2.- Marco Teórico	15
2.1 Dinámica de sistemas complejos.....	16
2.2 ¿Por qué incorporar la perspectiva de la resiliencia en el manejo y gestión de los sistemas socioeconómicos y ecológicos?.....	17
2.3 Adaptación y transformación: atributos claves.....	18
2.4 Vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y ecológicos en el contexto de la variabilidad climática y el cambio climático.....	20
3.- Objetivos	21
4.- Metodología	23
4.1 Aproximación metodológica.....	23
4.2 Variabilidad climática y eventos extremos críticos para la producción.....	24
4.3 Análisis de la variabilidad climática pasada	26
4.4 Análisis del registro instrumental.....	29
4.5 Escenarios climáticos futuros	30
5.- Variabilidad climática y eventos extremos críticos para la producción del sector ganadero, agricultura de granos y horti-frutícola	33
5.1 Tiempo y Sociedad.....	33
5.2 Información (climática)	34
5.3 Predicción.....	35
5.4 Adaptación	36
5.5 El sistema de respuesta	37
5.6 La sequía	38
6.- Variabilidad climática histórica del Uruguay y la región durante el Holoceno y el periodo de registro instrumental	41

6.1	La variabilidad climática holocena a nivel global	42
6.2	Variabilidad climática regional.....	43
6.3	Modelo climático para el Uruguay de acuerdo a los antecedentes y evidencias paleolimnológicas recientes en sistemas lacustres	45
6.4	El periodo climático actual en concordancia con los ciclos de variabilidad holocena	48
6.5	Descripción de la variabilidad climática en el siglo XX en Uruguay y la región.....	50
6.6	Tendencias climáticas del periodo instrumental y su interpretación.....	57
7.-	Avances en la descripción del clima reciente en el Uruguay para variables climáticas de interés agronómico	61
7.1	Aproximación metodológica en detalle.....	62
7.2	Resultados del análisis de series.....	70
7.3	Principales tendencias constatadas	86
8.-	Posibles escenarios futuros, certezas e incertidumbres, fortalezas y debilidades de las capacidades instaladas en el país.....	89
8.1	Escenarios de emisiones.....	90
8.2	Escenarios Climáticos.....	91
8.3	Aumento de la resolución espacial de los escenarios climáticos (downscaling).....	98
8.4	Síntesis.....	99
9.-	Adaptación a la variabilidad y cambio climático en el Uruguay, evolución histórica, capacidad de adaptación y transformación	101
9.1	Mitigación y adaptación: actualidad y trayectoria histórica.....	102
9.2	Incremento del conocimiento de la variabilidad y funcionamiento del sistema natural.....	104
9.3	Capacidades y dificultades en la predicción de escenarios futuros de la red de instituciones para la respuesta al cambio climático.....	108
10.-	Conclusiones.....	113
11.-	Referencias Bibliográficas	115
Siglas.....		125

Equipo del proyecto

Tomás Lindemann

Oficial de Recursos Naturales, Instituciones

Vicente Plata

Representante Asistente (Programas) fao-Uruguay

Walter Oyhantçabal

Director de la Unidad Agropecuaria de
Cambio Climático, opypa-mgap

Diego Sancho

Consultor Nacional
fao Uruguay

Equipo técnico del estudio

INSTITUTO SARAS:

Componente Variabilidad Climática Actual

Mario Bidegain
Carolina Crisci
Rafael Terra

Componente Antropológico

Javier Taks

Componente Paleoclimático

Laura del Puerto
Hugo Inda

Sistemas Socio-Ecológicos

Nestor Mazzeo

Coordinación y compilación

Nestor Mazzeo
Hugo Inda

UNIDAD AGROPECUARIA DE CAMBIO CLIMÁTICO-OPYPA-MGAP:

Walter Oyhantçabal: Coordinador Nacional del
Proyecto FAO-MGAP TCP URU/3302

FAO Uruguay
Diego Sancho: Consultor Nacional

Abstract

Uruguay has experienced, through the last decade, a remarkable economic growth that can be only compared with the lapse between world wars and the one shortly after ww2. This development is mainly sustained by natural resources exploitation, particularly those linked to crops, cattle and forestry expansion and intensification.

Nevertheless, several sectors such as cattle (both meat and dairy), grain crops, horticulture and fruit plantations are suffering a considerable variability not only in production, but also in economic outcomes. In some cases and circumstances, it could be argued that market driven socio-economical dynamics is the main factor to account for this variability, but it must be noted that other cases are better explained by climatic variability impacts over productive frameworks. With respect to climatic events, droughts are considered as the main factor affecting all the above mentioned productive activities. Also, among interviewed producers and specialists, a general trend arose about a more prevalent intensity and frequency of drought events, but the available instrumental record showed no evidences to confirm from a scientific standpoint this perception so far.

On the other hand, scientific evidences allowed the identification, for Uruguay and the Rio de la Plata Basin, of important climatic oscillations for the last 10 thousand years, with alternating dry-cold and warm-humid phases. Statistical analyses performed on meteorological instrumental data sets and main climatic models both produced similar results: current conditions are exhibiting a clear trend to a warmer and wetter climate, this latter being caused by more frequent events of extreme rain. Thus, from a global perspective, it is clear that Uruguay urgently needs an adaptation of the agricultural industrial matrix (already experiencing deep shifts) to a growing climatic variability instead to rely only on expected trends based upon predicted global changes.

Climatic variability effects in a still under-diversified (in productive terms) and heavily dependent on their natural resources country as Uruguay poses a huge challenge for the near future. Such challenge must be addressed through the adaptation and transformation of socio-economic and socio-ecological systems. It must be noted, nevertheless, that until now prevalent sector specific in both productive and land planning realms were not able to anticipate water supply shortages for main economic generating

activities, thus leaving the whole system in an extreme vulnerable state in years below historical rainfall average.

Beyond highlighted difficulties and occasional conflicts among productive activities or between this sector and electrical supply (mainly based on dams for hydroelectric generation) some conspicuous changes through the last three decades must be mentioned, particularly about technical improvements in the productive matrix. Hopefully, such innovations will not only lead to increase productivity expressed in economic terms, but also to an enhanced adaptive capability to face climatic variability. On the other hand, some major challenges and barriers still to be solved and might be faced successfully if all involved actors and institutions share the same goal: to increase the adaptive and transformation capability – and thus resilience – of Social and Ecological Systems. This work is an effort in that path.

Resumen ejecutivo

El Uruguay presentó en la última década un considerable crecimiento económico, comparable al registrado en el periodo entre las dos guerras mundiales y posterior a la segunda. Este crecimiento se sustenta principalmente en la explotación de sus recursos naturales, particularmente vinculado a la expansión e intensificación de la agricultura, ganadería y forestación.

En el caso de sectores productivos como la ganadería, lechería, agricultura de cereales y horti-fruticultura, se constata una importante variabilidad en la producción y en sus rendimientos económicos, asociada en algunos casos a la dinámica del propio sistema socioeconómico y, en otros casos, a la variabilidad de las condiciones climáticas.

El principal evento climático que afecta a todas las producciones antes mencionadas es la sequía. Existe la percepción, entre los especialistas y productores consultados, que la frecuencia e intensidad de las mismas se ha incrementado en las últimas décadas, más allá de que se las asocie o no a cambios en el sistema climático global. Sin embargo, la evidencia del registro instrumental no permite confirmar estadísticamente esta percepción.

La evidencia científica sí permite aseverar que el Uruguay y la región han experimentado durante los últimos 10 000 años oscilaciones en sus características climáticas, alternando entre fases frías-secas y cálidas-húmedas. Los análisis estadísticos de la serie instrumental de datos meteorológicos y los principales modelos de cambios climáticos concuerdan, a su vez, en que la trayectoria reciente presenta condiciones crecientemente cálidas y de mayor precipitación acumulada anual, esto último debido fundamentalmente al impacto de una mayor frecuencia de eventos intensos de precipitación. De un análisis global, surge que el factor clave para el Uruguay es la adaptación de su sistema agro-industrial (a su vez en proceso de profundos cambios) a una creciente variabilidad, más que a las tendencias medias esperadas debido al cambio climático.

La variabilidad climática en un país aún poco diversificado en términos productivos y extremadamente dependiente de sus recursos naturales plantea, en el futuro inmediato, grandes desafíos de adaptación y transformación de sus sistemas socio-ecológicos (SES, por su sigla en inglés). El predominio de los análisis uni-sectoriales en el ámbito de la planificación pro-

ductiva y territorial no ha permitido anticipar las demandas reales de agua del conjunto de las principales producciones, generando una considerable vulnerabilidad en los años con precipitaciones por debajo de los promedios históricos.

Más allá de las dificultades indicadas y de los conflictos por la demanda de agua entre las diferentes producciones o entre éstas y el sector energético, se observan importantes cambios (fundamentalmente a nivel técnico de las producciones estudiadas y gubernamental) en la últimas tres décadas que han incrementado la capacidad de adaptación a la variabilidad climática. Sin embargo, persisten importantes desafíos y barreras a superar, a efectos de aumentar la capacidad adaptativa y de transformación y por lo tanto la resiliencia de los ses. En este documento se exploran algunos de los siguientes:

- Predominio histórico del enfoque de mitigación.
- Incrementar el conocimiento de la variabilidad y funcionamiento del sistema natural.
- La adaptación requiere una mayor interacción entre diversos componentes de la sociedad. Las sinergias requeridas para una buena capacidad de adaptación aparecen constreñidas por una competencia de recursos económicos limitados, así como por la ineficiencia de esquemas de intercambio de información o cooperación formalmente pautados.
- Existencia de liderazgos dispersos y de un ambiente favorable para el aprendizaje y la cooperación.
- Importantes barreras (forma de financiamiento y mecanismos de evaluación académica) en las interacciones entre el componente científico, los gestores, tomadores de decisión y políticos.

En función de estas dificultades se recomienda el análisis e implementación de las siguientes estrategias:

Profundizar el conocimiento sobre la variabilidad natural climática (actual y futura) directamente vinculada al sector agronómico. Para ello, es necesario mejorar el registro de información meteorológica en cuanto a su distribución espacial, frecuencia de muestreo, variables observadas, pasaje de información histórica en papel a formato digital, entre otros. Asimismo, es crucial crear un sistema abierto de bases de datos, implementar estrategias de mediano y largo plazo a efectos de incrementar el número de investigadores vinculados a las Ciencias de la Atmósfera y fomentar su interacción con el sector productivo. La instrumentación de estas medidas no debe estar asociada exclusivamente a apoyos económicos externos y/o a necesidades uni-sectoriales. Los gabinetes ministeriales por área y sistemas como la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (anii) deben jugar un rol activo. El éxito en este campo depende de medidas, definiciones y estrategias de mediano y largo plazo.

En estos momentos, el Uruguay avanza en la creación de organizaciones puente a efectos de superar la fragmentación y compartimentación del Estado (por ejemplo, el Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático). Es importante implementar esquemas de manejo y gestión adaptativos mediante la generación de planes de monitoreo y de análisis de la información registrada. Estos aspectos son indispensables para evaluar su performance y entender la causalidad de aquellos aspectos que no funcionan en las medidas que se adoptan.

La performance de las organizaciones puente depende del establecimiento de intercambios de información y mecanismos de cooperación formalmente pautados. Se recomienda profundizar en estos aspectos institucionales y proveerlos de los recursos económicos esenciales para su correcto funcionamiento.

La variabilidad climática actual es uno de los componentes de la vulnerabilidad del sistema productivo del Uruguay, sin embargo la planificación territorial y productiva debe abandonar los análisis uni-sectoriales y pasar al análisis multisectorial, considerando unidades territoriales como las cuencas hidrográficas o cuencas de aguas subterráneas. Este aspecto adquiere singular importancia debido a que la expansión e intensificación productiva será posible mediante la adopción de estrategias multiprediales y multisectoriales a efectos de optimizar el uso de los recursos hídricos y los costos económicos asociados. Los planes de riego a partir de agua subterránea o reservorios deben contemplar estas directrices.

El mercado y la variabilidad climática son dos factores claves en el proceso de toma de decisión de los productores. Sin embargo, la comprensión de las predicciones meteorológicas de corto, mediano y largo plazo denota dificultades, por lo que no son entendidas ni incorporadas masivamente en el ámbito productivo. Es importante comprender las causas de este patrón y definir estrategias que lo reviertan.





1

Introducción

El Uruguay ha presentado, desde el 2003, un importante crecimiento económico basado principalmente en la explotación de sus recursos naturales, una gestión ordenada desde el punto de vista macroeconómico, un amplio grado de apertura y mejora de la inserción en el comercio internacional, éstos resultados han favorecido la inclusión social y la sostenibilidad socio-económica.

La producción agrícola y ganadera es una actividad económica clave para Uruguay y es responsable de más del 70% del valor total de sus exportaciones. La agricultura es un sector potencialmente afectado por las consecuencias de la variabilidad climática actual y por el cambio climático futuro. Los principales cambios que hipotéticamente pueden suceder son: (i) un incremento en la ocurrencia de eventos climáticos extremos, (ii) el aumento de las temperaturas medias (los que pueden ser mayores en el norte del país), (iii) una significativa variación en la distribución intra-anual e inter-anual de las precipitaciones, y (iv) cambios en el régimen de heladas. Estos cambios pueden conducir al sector agrícola hacia: (i) una creciente variación en la producción de cultivos y pasturas, (ii) cambios en la distribución anual de la producción y dinámica poblacional de pasturas naturales, (iii) cambios en las dinámicas y las proporciones en las poblaciones de flora y fauna en los montes autóctonos, (iv) una creciente incidencia de pestes y plagas (debido a mayores temperaturas y humedad) en la producción animal y vegetal, (v) una mayor fluctuación del régimen de caudales y de los volúmenes de agua represada afectando la disponibilidad del recurso para el consumo animal y riego, (vi) mayores riesgos de erosión de suelos y de contaminación de aguas, y (vii) mayor riesgo de incendios forestales.

En 2010 el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (mgap) definió la adaptación del sector agropecuario al cambio climático como una de las prioridades estratégicas de esta administración y dispuso que se conferiría a este tema un enfoque trasversal, tanto al interior del mgap como hacia la institucionalidad agropecuaria ampliada. En ese contexto, se redefinieron las prioridades y los roles de la anterior Unidad de Proyectos Agropecuarios de Cambio Climático, constituyéndose la Unidad de Cambio Climático del mgap, coordinado desde la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (opypa).

Para el mgap es necesario desarrollar y adoptar herramientas de adaptación (manejo de suelos y aguas, manejo animal y de cultivos, gestión de riesgos financieros, entre otros). Esto supone una elaboración que genere, como prerrequisito, un conocimiento adecuado de la vulnerabilidad de los distintos agro-ecosistemas, dado que las medidas de respuesta deben diseñarse a la medida de cada sistema y condiciones de sitio.

En este contexto, el presente informe se enmarca en el proyecto *Nuevas Políticas para la adaptación de la agricultura al Cambio Climático* (tcp/uru/3302) financiado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (fao, por su sigla en inglés). El mismo pretende caracterizar la vulnerabilidad de los ecosistemas uruguayos a los efectos de la variabilidad climática actual y futura y generar un conjunto articulado de medidas de respuesta para preservar el desarrollo potencial del país. Este informe es el primer resultado del mencionado proyecto y abarca: la descripción del clima actual del Uruguay, el análisis de los cambios climáticos durante el Holoceno y de las posibles trayectorias futuras en función del estudio conjunto de la evolución pasada, del registro instrumental de información meteorológica y experimentos numéricos de modelos de cambio climático. Finalmente, se exploran los principales aspectos que limitan la predicción de escenarios climáticos futuros y los factores claves que condicionan la capacidad de adaptación del Uruguay.



2

Marco teórico

El desarrollo social está sustentado en redes de interacciones socioeconómicas, de adquisición, transformación, distribución, disposición y reciclado de materias y otros bienes y servicios proporcionados por los ecosistemas. Éstos, a su vez, son el resultado de una compleja red de interacciones dentro de múltiples componentes que conforman los ecosistemas. Los sistemas naturales y socioeconómicos están inextricablemente imbricados, no obstante, han sido analizados independientemente por las ciencias naturales y sociales durante gran parte de la historia de la humanidad. La inconsistencia de esta dicotomía epistemológica está siendo superada mediante el análisis de sistemas complejos generados de la interacción de múltiples sistemas o subsistemas. En este contexto, el análisis de las principales características estructurales y de funcionamiento de los sistemas socio-ecológicos—también denominados Sistemas Naturales y Humanos Acoplados (chans, por su sigla en inglés)—representa una ventana de oportunidad para superar la incapacidad actual de resolver diferentes problemáticas a escala local y global. En otras palabras, el análisis interdisciplinario de estos sistemas complejos es indispensable para identificar estrategias de manejo socio-ambientales exitosas e incrementar la capacidad de compresión y adaptación de los sistemas humanos y naturales acoplados.

Los ses se destacan por la complejidad de su organización y funcionamiento, presentando interacciones en distintas escalas espaciales y temporales. Su comprensión requiere nuevos abordajes que permitan generar conocimientos científicos esenciales para el desarrollo de políticas efectivas de sustentabilidad socioeconómica y ecosistémica. Distintos marcos teóricos han abordado diferentes componentes de los ses o chans. Los economistas han avanzado en la comprensión de las dinámicas de flujo y acumulación de capitales, los

sociólogos en la estructura de las interacciones humanas y su relación con el ambiente político-económico y geográfico en que están insertas, los físicos y matemáticos han logrado notables avances en la naturaleza de los sistemas complejos, y los biólogos en lo relativo al funcionamiento y a los servicios que brindan de los ecosistemas. No obstante, el intento de una necesaria síntesis entre estos marcos teóricos —desarrollados en paralelo pero sin comunicación entre los componentes— es muy reciente, no lográndose aún la profundidad requerida para aportar soluciones tangibles a muchas de las problemáticas inminentes. El desarrollo de iniciativas que involucren un amplio espectro académico, con distintas áreas bien representadas y en constante retro-alimentación, es una fase crítica.

En la segunda mitad del siglo XX han ocurrido cambios más rápidos que en ningún otro momento de la historia humana (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Las sociedades humanas dependen de los servicios que los ecosistemas les brindan para la producción de alimento, bienes y el mantenimiento de condiciones sanitarias. Las estrategias actuales de utilización de ecosistemas comprometen su sustentabilidad a mediano y largo plazo. Asociar este patrón exclusivamente a la falta de interés de los gobiernos e industrias constituye una simplificación exagerada, ya que las alternativas de desarrollo socioeconómico suelen no existir o no estar disponibles cuando son requeridas.

2.1 DINÁMICA DE SISTEMAS COMPLEJOS

Los sistemas complejos involucran un elevado número de elementos, interactuando de forma no lineal, con el potencial de acumular cambios en el tiempo y eventualmente producir transiciones abruptas hacia nuevos estados generalmente no deseados. La comprensión de estos fenómenos determina la posibilidad de manejar ecosistemas y la viabilidad de las sociedades que en éstos se desarrollan.

La concepción de sistemas complejos subraya la importancia de las aproximaciones sistémicas e integradas del manejo de los SES. Una característica de los sistemas complejos es que están definidos más por las interacciones entre las partes que por las partes en sí mismas. Las interacciones entre los componentes del sistema generan propiedades que no pueden predecirse a partir de las partes individuales, fenómeno conocido como emergencia (Holland 1999, Manson 2001). En este sentido, dadas las fuertes interacciones existentes entre los humanos y los ecosistemas, existe un consenso (de aceptación creciente) que los ecosistemas son mejor entendidos y manejados como sistemas socio-ecológicos acoplados (Berkes y Folke 1998, Millenium Ecosystem Assessment 2005, Liu et al. 2007, Norberg y Cumming 2008). Esto significa que el manejo de los SES se nutre de aproximaciones sistémicas que contemplan las dimensiones sociales, ecológicas y económicas de una forma integrada.

La historia del análisis y comprensión de problemas ambientales recientes demuestra un importante desfasaje entre el momento en que comienzan a ocurrir, el tiempo en que se comprende el fenómeno y el periodo en que se desarrollan estrategias de adaptación y transformación. Carpenter et al. (2009) demuestran esta secuencia con tres claros ejemplos. La disminución del ozono estratosférico comenzó en el Polo Sur durante la década de 1970, sin embargo, permaneció sin detectarse por años debido a que los programas que analizaban los datos satelitales fueron instruidos para rechazar medidas que se apartaban de lo esperado. La anomalía fue verificada a partir del re-análisis de los datos satelitales mediante observaciones de la radiación ultravioleta incidental en la superficie terrestre.

De forma similar, la pesquería del Cod en Newfoundland fue finalmente cerrada en 1992 a pesar de los esfuerzos de pescadores y científicos por impedir el colapso. El público y los tomadores de decisión no percibieron el cuadro completo de la situación por varios motivos: incentivos a los pescadores por indicar menos capturas que las reales, prácticas institucionales que filtraban selectivamente parte de la evidencia, entre otros mecanismos. Incluso procesos abiertos y transparentes, como el del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (ipcc, por su sigla en inglés), experimentan dificultades en presentar el rango completo de las posibles trayectorias climáticas, debido a que no se dispone de modelos para todos los mecanismos implicados (Oppenheimer et al. 2007).

De acuerdo a Carpenter et al. (2009) existen dos filtros muy importantes que limitan la capacidad de percibir la complejidad de los fenómenos asociados a los ses:

- Primero, la tendencia de los científicos y tomadores de decisión a focalizarse en aquellos aspectos cuantificables, a pesar del conocimiento sobre la relevancia de otros aspectos no cuantificables.
- Segundo, existe una tendencia a creer en los modelos dominantes a pesar de que éstos sean incompletos, este filtro es aún más fuerte si las señales de otros modelos considerados alternativos (no necesariamente menos válidos) son inconsistentes con el modelo dominante.

Además, las principales características de los sistemas complejos generan limitaciones en la habilidad para comprender, predecir y controlar los ses (Pilkey y Pilkey-Jarvis 2007, Roe y Baker 2007). La decisión respecto a trayectorias deseables, a evitar umbrales críticos e incorporar la incertidumbre y el riesgo en la toma de decisión, no puede implementarse exclusivamente a partir de un análisis de expertos, pues requiere la consulta y diálogo con los usuarios más relevantes, haciéndolos partícipes en el diseño de las políticas y procesos de toma de decisión (Cortner y Moote 1999, Bocking 2004, Millennium Ecosystem Assessment 2005).

2.2 ¿POR QUÉ INCORPORAR LA PERSPECTIVA DE LA RESILIENCIA EN EL MANEJO Y GESTIÓN DE LOS SES?

El término resiliencia fue originalmente introducido por Holling (1973) como un concepto para comprender la capacidad de un ecosistema con atractores alternativos de persistir dentro de un estado cuando es sometido a perturbaciones, definición adoptada posteriormente por Holling (1996), Gunderson (2000), Folke (2006) y Scheffer (2009). En otras palabras, la resiliencia de un sistema describe su tendencia a retornar a un estado particular frente a disturbios, manteniéndose en un rango acotado de estructura y funcionamiento. Este rango puede referir a variables sociales (educación, desarrollo) económicas (flujo de capitales, ingresos per cápita) o ambientales (biodiversidad, producción de alimentos).

Considerar la resiliencia de los sistemas complejos puede entenderse como una aproximación para organizar y manejar los ses mediante el énfasis en la capacidad de renovación, reorganización y desarrollo, en donde los disturbios (por ejemplo eventos climáticos extremos) son parte de la dinámica del sistema y representan oportunidades para

el cambio o la innovación (Gunderson y Holling 2002, Walker et al. 2004, Folke 2006, Walker y Salt 2006).

Según O’Brien et al. (2009) la aproximación denominada *resilience thinking* (pensamiento resiliente) establece tres principios fundamentales:

- Los problemas ambientales no pueden ser analizados o comprendidos aislados de su contexto social.
- La incertidumbre y la sorpresa son atributos propios de los sistemas complejos y se debe aprender a vivir con ellos.
- El cambio es inherentemente complejo, por lo tanto, problemas como el cambio climático no pueden abordarse en un único nivel.

La adaptación no es susceptible de ser escogida o rechazada, lo que se debe responder es cuándo, qué, cómo y de qué magnitud serán los cambios futuros (Adger et al. 2007). Los escenarios y proyecciones de los cambios climáticos futuros pueden ser utilizados como una guía para la adaptación, pero siempre existirán incertidumbres y sorpresas, especialmente porque el clima no es el único factor que determina los cambios de los ses. Los cambios económicos, políticos, sociales y culturales también presentan incertidumbres y respuestas adaptativas complejas. La adaptación y la transformación requieren del manejo de información nueva o cambiante (incremento del nivel del mar o predicciones climáticas) y de múltiples tipos de conocimiento e incertidumbre.

Más allá de los aspectos teóricos, esta aproximación ha desarrollado estrategias concretas y exitosas en relación al incremento de la resiliencia de los ses. Las estrategias más exitosas en este campo incluyen: (i) aprender a vivir con el cambio y la incertidumbre, (ii) incrementar la diversidad de todos los componentes del ses (objetivos económicos y recursos naturales empleados, entre otros), (iii) combinar diferentes tipos de conocimiento y aprendizaje, (iv) crear oportunidades de auto-organización y vínculos entre diferentes niveles como por ejemplo entre el ámbito nacional y el departamental (Folke et al. 2003, 2005).

Todos los niveles, incluidos los locales y los regionales, deben estar involucrados en la búsqueda de soluciones a los problemas globales (Cash et al. 2006). Un ejemplo concreto de este aspecto es la gobernanza multinivel donde los miembros de las instituciones tienen interacciones horizontales con sus pares, y verticales con las diferentes jerarquías de la organización (Young et al. 2008). La interconexión en los sistemas sociales tiene que ser efectiva en todos los niveles y son igualmente importantes los vínculos horizontales como los verticales. Estos vínculos proveen el flujo de información y conocimiento, lo que incrementa la capacidad de aprendizaje y facilita los procesos participativos en la toma de decisiones que son más democráticas.

2.3 ADAPTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN: ATRIBUTOS CLAVES

¿Cómo coexisten la transformación y la persistencia en los sistemas? Esta es una pregunta clave, a la vez que uno de los aspectos centrales de la resiliencia (Holling 1973, Folke 2006). De acuerdo a Westley et al. (2006) y Carpenter y Brock (2008), la resiliencia no se vincula al equilibrio entre la transformación y la persistencia, por el contrario, procura comprender

cómo la transformación y la persistencia trabajan en conjunto, permitiendo a los sistemas asimilar disturbios, innovar y cambiar, manteniendo características claves de su estructura y procesos.

Las trampas de rigidez (*rigidity traps*) ocurren en los sistemas sociales-ecológicos cuando las instituciones permanecen altamente conectadas, con interacciones que refuerzan su status y poder y al mismo tiempo son inflexibles (Gunderson y Holling 2002). El siguiente ejemplo del campo de la ecología (Carpenter y Brock 2008) permite comprender dicha afirmación: en los bosques de especies longevas, los nutrientes pueden quedar capturados mayoritariamente en la biomasa viva de pocas especies tolerantes a la sombra y que son capaces de reproducirse bajo el denso dosel. Estos bosques no cambian por procesos endógenos, pero son muy vulnerables a disturbios externos como tormentas extremas o fuegos.

En este sentido, el manejo de los recursos naturales organizado en pocos objetivos económicos (o destinos de producción) incrementa los efectos de la variación de la dinámica natural de los recursos, problemática clave para el sector industrial que depende de estos recursos. Cuando el manejo reduce la diversidad y el poder y los beneficios económicos son mutuamente dependientes, se generan las condiciones ideales para el establecimiento de una trampa de rigidez (Gunderson y Holling 2002). Allison y Hobbs (2004) analizan detalladamente un ejemplo de este tipo en la parte occidental de Australia, donde la agricultura se caracterizó por una escasa capacidad de cambio, ausencia de conectividad y considerable resiliencia.

Las trampas denominadas de pobreza (*poverty traps*) son situaciones completamente diferentes, ya que la conectividad entre las partes y la resiliencia son muy bajas, por lo tanto, las posibilidades de cambio son muy reducidas (Gunderson y Holling 2002, Allison y Hobbs 2004). Los recursos y las posibilidades concretas existen en este tipo de trampas, pero no existe la capacidad de destinar o concentrar capacidades en una idea u objetivo común que promueva el cambio en el sistema (Westley et al. 2006). Nuevamente, un ejemplo en el campo de la ecología puede ilustrar este tipo de trampa: las sequías persistentes debido a las interacciones entre la vegetación y la atmósfera en las tierras áridas (Narisma et al. 2007) permiten comprender más fácilmente estos casos. Si los parches de vegetación permanecen espaciados y distantes, el albedo se incrementa, enfriando la superficie del suelo, disminuyendo el gradiente térmico vertical, las corrientes convectivas y, por ende, el clima local es aún más cálido y seco. En este contexto, sequías locales pueden persistir en largas escalas de tiempo, a pesar de ello, la diversidad de especies (recursos) puede ser alta. La sequía no puede ser superada por procesos endógenos exclusivamente, sino que requiere un cambio importante en escalas espaciales amplias.

La adaptabilidad y capacidad de adaptación de un sistema indican en definitiva la capacidad de aprendizaje de los sistemas. Capacidad de combinar experiencia y conocimiento ajustando las respuestas a los cambios externos o a procesos internos del sistema, manteniendo los aspectos esenciales de su estructura y función (Berkes et al. 2003, Carpenter y Brock 2008). La adaptabilidad también ha sido definida como la capacidad de los actores de un sistema de determinar resiliencia (Walker et al. 2004). Por el contrario, la transformabilidad ha sido definida como la capacidad de crear un nuevo sistema cuando las estructuras ecológicas, económicas y sociales existentes de un sistema son insostenibles o inviables (Walker et al. 2004) para mantener objetivos, bienes o servicios considerados clave.

Innovación y transformación involucran nuevos conceptos, estrategias, iniciativas, productos, procesos u organizaciones en busca de satisfacer necesidades sociales, cambios profundos en rutinas o procedimientos básicos, o modificar el flujo de recursos o el transcurso de toma de decisión, entre otros (Westley et al. 2006, Young Foundation 2006). La innovación social puede ser promovida por un amplio rango de actores, incluyendo ong, grupos de comunidades, gobiernos, académicos, filántropos o combinaciones de los mismos. La innovación difiere de la invención ya que no incluye exclusivamente la creación de nuevas ideas o productos, en muchos casos involucra procesos de difusión de conocimiento o tecnologías disponibles en otros campos del conocimiento o sociedades, o una nueva combinación de estos saberes.

¿Qué estrategias en concreto pueden incrementar la capacidad de innovación en el manejo de los SES sometidos a fuerzas externas como el cambio o la variabilidad climática? Biggs et al. (2010) sugieren una serie de mecanismos clave:

- Incrementar el conocimiento del funcionamiento de los sistemas naturales y los vínculos socioeconómicos con los ecosistemas locales de los cuales dependen.
- Construir capacidad de emprendimiento social.
- Promover el diálogo entre los usuarios claves.
- Proveer soporte institucional.

2.4 VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS SES EN EL CONTEXTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

En el área de los estudios climáticos existe una diversidad de definiciones conceptuales de vulnerabilidad, prevaleciendo una clara tendencia a adoptar la definición incluida en el ipcc (2007): la vulnerabilidad es un atributo que indica si un sistema social es susceptible o incapaz de enfrentar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos. Vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud y tasa de cambio climático a la cual el sistema está expuesto, su sensitividad y su capacidad adaptativa.

La variabilidad climática no es la que condiciona la vulnerabilidad de los sistemas socio-ecológicos, sino la interacción entre los diferentes subsistemas de los ses. En términos más precisos, los impactos del clima sobre la sociedad se definen no solo a partir de las dimensiones biofísicas del fenómeno climático (intensidad y frecuencias de sequías, precipitaciones, inundaciones, etc.) sino también por condiciones socioeconómicas (grado de exposición de ciertos tipos de productores a los fenómenos referidos) (ipcc 2007). La vulnerabilidad debe ser entendida como una propiedad emergente de la interacción entre los agro-ecosistemas y los sistemas socioeconómicos acoplados (Díaz y Santibañez, 2012).

3

Objetivo



El presente informe analiza los siguientes aspectos centrales:

- A.- Variabilidad climática y eventos extremos críticos para la producción del sector ganadero, agrícola y frutícola en diferentes regiones del Uruguay.
- B.- Variabilidad climática histórica del Uruguay y la región durante el Holoceno y en el periodo de registro instrumental, con especial énfasis en aquellos aspectos identificados en el punto A.
- C.- Posibles escenarios futuros, certezas e incertidumbres, fortalezas y debilidades de las capacidades instaladas en el país.
- D.- Adaptación a la variabilidad y cambio climático en el Uruguay, evolución histórica, capacidad de adaptación y transformación.



4

Metodología

4.1 APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

Díaz y Santibañez (2012) explican claramente los diferentes enfoques metodológicos sobre el análisis de vulnerabilidad en el proyecto (actualmente en ejecución) denominado *Coming down the mountain: understanding the vulnerability of Andean communities to hydroclimatologic variability and global environmental change* (sgp-hd004) financiado por el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (iai, por sus siglas en inglés)¹. Una aproximación considera la vulnerabilidad como una situación que emerge a partir de los impactos esperados del cambio climático y de la capacidad humana de reducir esos impactos. En este caso, la vulnerabilidad puede ser expresada en una ecuación simple: impactos - capacidad adaptativa = vulnerabilidad. La vulnerabilidad se ubica al final de un proceso analítico que comienza con una definición de escenarios de cambio climático, continúa con los impactos asociados a cada uno de estos escenarios y finaliza con el establecimiento de medidas y estrategias de adaptación. La vulnerabilidad es el resultado de modelos que, aunque presentan un alto de grado de incertidumbre, intentan predecir las condiciones futuras del clima y las capacidades adaptativas de la sociedad.

Una segunda perspectiva enfatiza el análisis de la vulnerabilidad como un punto de partida: definiéndola como una característica a partir de una combinación actual de procesos naturales y socioeconómicos que genera una situación de incertidumbre y riesgos para

1- Díaz y Santibañez (2012), *Coming down the mountain: understanding the vulnerability of Andean communities to hydroclimatologic variability and global environmental change* (SGP-HD004). Sitio web: IAI. Disponible en: <http://wwwsp.iai.int/index.php?option=com_content&view=article&id=99&Itemid=70%20> 24/09/2012

los ecosistemas, los servicios que éstos sostienen y el bienestar humano asociado. En este contexto, el cambio climático es un factor adicional a la vulnerabilidad actual, un factor que aumenta (o disminuye) la situación de riesgo.

El presente trabajo se enmarca dentro de la segunda estrategia, para ello, se analiza qué eventos climáticos son los más importantes o relevantes en la matriz socioeconómica de Uruguay; se determinan las principales características de variabilidad climática, tanto para el país como para la región, durante el Holoceno y el periodo actual; se examinan las principales predicciones de mediano plazo del cambio climático para la región y su congruencia con las trayectorias observadas en el registro instrumental; finalmente, se profundiza sobre la capacidad de adaptación del país.

4.2 VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y EVENTOS EXTREMOS CRÍTICOS PARA LA PRODUCCIÓN

Se realizó un sondeo mediante entrevistas semi-estructuradas, entre once expertos en temas agropecuarios acerca de su percepción y análisis de la variabilidad climática y el cambio climático con incidencia productiva.

Los expertos fueron seleccionados de acuerdo a sus antecedentes y conocimiento como asesores o extensionistas para sistemas productivos agropecuarios: ganadería extensiva, lechería, horti-fruticultura y agricultura de granos (Tabla 4.1). La Unidad Agropecuaria de Cambio Climático del mgap, en consulta con el equipo de trabajo, definió a qué técnicos entrevistar. Previo a la entrevista, se les envió una pauta con cuatro preguntas (ver anexo) la cual sirvió como disparador de la interacción, así como para una posterior sistematización de la información recogida.

Tabla 4.1. Lista de entrevistados

Entrevistado	Rubro	Organización/Institución	Tipo de entrevista
Hermes Morales	GANADERO	Plan Agropecuario	Teleconferencia
Daniel de Brum	GANADERO	Productor independiente	Teleconferencia
Graciela Quintans	GANADERO	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)	Videoconferencia
Marcelo Pereira	GANADERO	Plan Agropecuario	Teleconferencia
Jorge Sawchik	AGRICULTURA	INIA	Teleconferencia
Elbio Berretta	GANADERO	INIA	Teleconferencia
Roberto Zopolo	FRUTICULTURA	INIA	Teleconferencia
Oswaldo Ernst	AGRICULTURA	Facultad de Agronomía (FAGRO) Udelar	Videoconferencia
Pablo Soca	GANADERO	FAGRO	Videoconferencia
Esteban Hoffman	AGRICULTURA	FAGRO	Videoconferencia
Danilo Bartaburu	GANADERO	Plan Agropecuario	email

Las entrevistas fueron no presenciales, utilizándose tres formas de intercambio: llamadas telefónicas amplificadas o teleconferencias, videoconferencias y respuestas vía e-mail. Con excepción de una respuesta vía electrónica, el resto de las entrevistas se llevó a cabo en la sala de teleconferencias en la sede de la fao Uruguay, durante una jornada del mes de agosto del 2011. El grupo de entrevistadores estuvo integrado por técnicos consultores de la Universidad de la República (udelar), funcionarios de mgap y fao.

Los temas que se abordaron, a partir de la pauta de entrevista, fueron:

- a) **Identificación de eventos climáticos más significativos.** Se les consultó a los expertos respecto a cuáles eran los dos eventos que más incidían en los rendimientos y el desarrollo de la producción del rubro de su especialidad (aunque no exclusivamente de ésta). Se les pidió también que los jerarquizaran, de mayor a menor, según su incidencia.
- b) **Descripción de las variables implicadas y de los indicadores asociados a dichos eventos.** Para que los entrevistados mejoraran la caracterización de los eventos identificados, se les solicitó que describieran cómo se manifestaban, cuándo, qué indicador de intensidad o extensión podían señalar o si existía una "historia vivida" sobre la evolución de los acontecimientos, entre otros factores. La idea era no solo mejorar la comprensión sobre el evento descripto, sino además, en términos comparativos, saber si los distintos entrevistados se estaban refiriendo más o menos a los mismos fenómenos climáticos cuando compartían el uso del término significante (por ejemplo: turbonada o exceso hídrico).
- c) **Expresión de la acción prevista para la respuesta a los eventos climáticos** (según escenarios climáticos e instrumentos económico-financieros). Fue de interés del equipo consultor conocer cuáles han sido las medidas tomadas para la resolución de problemas asociados a los eventos o su previsión futura, tanto a nivel predial como a nivel nacional. En la pauta de entrevista se presentó un ejercicio de imaginación sobre las sugerencias de los expertos a los productores en distintos escenarios financieros (existencia de préstamos y seguros) y climáticos (pronósticos de mediano plazo).
- d) **Registro de temas emergentes.** Dado que los entrevistados no respondieron directamente al ejercicio de imaginación, se preguntó sobre el sistema oficial de respuesta a los eventos climáticos, donde se articulan las escalas predial y nacional mediadas por las regiones biofísicas (ejemplo: basalto). Se pidió entonces una evaluación primaria de lo que se denominó "sistema de respuesta" (liderado por el propio Estado) en relación a los eventos climáticos identificados como significativos.
- e) **Otro conjunto de interrogantes** que surgió durante las entrevistas giró en torno a las fuentes y el manejo de información climática por parte de los entrevistados y los productores con los cuales se relacionan. ¿Qué tipos de fuentes se consultan y cómo circula la información por canales formales e informales?

La metodología de análisis de la información recabada constó de las siguientes etapas y herramientas:

- a) **Identificación de variables percibidas de la variabilidad climática y contrastación con mediciones históricas.** Las expresiones sobre eventos climáticos significativos se convirtieron en unidades de análisis y luego se clasificaron por evento identificado. A partir de esta clasificación, se tomó el más relevante para analizar con las series estadísticas climáticas disponibles y su evolución objetiva más allá de la percepción individual o grupal.

b) En una segunda etapa se realizó un análisis más profundo, explorando las enunciaciones para **identificar “núcleos temáticos”** orientados por las preguntas, pero también “fugas” discursivas - propias de entrevistas no estructuradas - que permitan rescatar algunos eventos, variables e indicadores que no figuraban en las premisas de los entrevistados, así como relaciones entre fenómenos climáticos, económicos, sociales y culturales que permitan una mejor comprensión sobre la incrustación de las variables climáticas en la matriz social más amplia.

4.3 ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA PASADA

Estudiar el clima en tiempos pretéritos de escala milenaria implica, ante todo, la enorme restricción que supone carecer de datos instrumentales. Por lo tanto, para conocer los principales procesos, ciclos y fenómenos climáticos del pasado es necesario recurrir a indicadores indirectos de, por ejemplo, temperatura, humedad, precipitaciones.

Este tipo de investigaciones permite abordar la variabilidad climática pre-industrial, el rango de variabilidad natural del sistema climático terrestre, los mecanismos, la velocidad e intensidad de los cambios, así como causas, cronología de los mismos y las respuestas de los ecosistemas locales (Oldfield y Alverson 2003, Zolitschka y Enters 2009).

Es precisamente este último aspecto, la respuesta local a fenómenos globales, el que torna imprescindible abordar la variabilidad climática pretérita a partir de ecosistemas locales. Por otra parte, también se debe tener en cuenta el tipo de indicador escogido, ya que el mismo podría ser determinante en el tipo de respuesta o reacción inferida.

Cuando las investigaciones se apoyan en diferentes líneas de evidencias (geomorfológicas, sedimentarias, fitolíticas, diatomológicas, polínicas, faunísticas, arqueológicas) los resultados no siempre pueden ser comparables y/u homologables, debido a los distintos tiempos e intensidad de respuesta de los sistemas generadores de los indicadores mencionados frente a una determinada variación climática. Por otra parte, también debe tenerse en cuenta que las diferencias en la información inferida a partir de diversos indicadores, puede responder a la complejidad intrínseca de los sistemas y procesos naturales, así como a la variabilidad temporal y espacial del clima en la escala local (Ravindranath y Sathaye 2002, Burkett et al. 2005). Por lo expuesto, es aconsejable que aún en la escala local, se intente conjugar siempre la información aportada por varios indicadores.

Las investigaciones que sustentan el presente trabajo se realizaron desde diferentes disciplinas: Geomorfología (Panario y Piñeiro 1997, Bracco y Ures 1998, Bracco et al. 2000), Geología (Montaña y Bossi 1995), Paleolimnología (García Rodríguez 2002, García Rodríguez et al. 2001, 2002, 2004a, 2004b, 2004c, Bracco et al. 2005b, Del Puerto, 2011, Del Puerto et al 2011 a y b, Inda, 2011, Inda et al. 2006), Paleontología (Sprechmann 1978, Martínez 1989, Martínez y Rojas 2006), Arqueología (Bracco et al. 2000, 2005a, 2008) y Paleobotánica (Campos et al. 2001, Del Puerto y Inda 2005, Iriarte 2006, Inda y Del Puerto 2007).

El presente informe incorpora, además de los antecedentes señalados, información de investigaciones recientes a partir de la evidencia de registros indirectos (*proxies*) contenidos en 13 testigos sedimentarios procedentes de siete lagunas costeras del sudeste del Uruguay (Figura 4.1, Tabla 4.2).

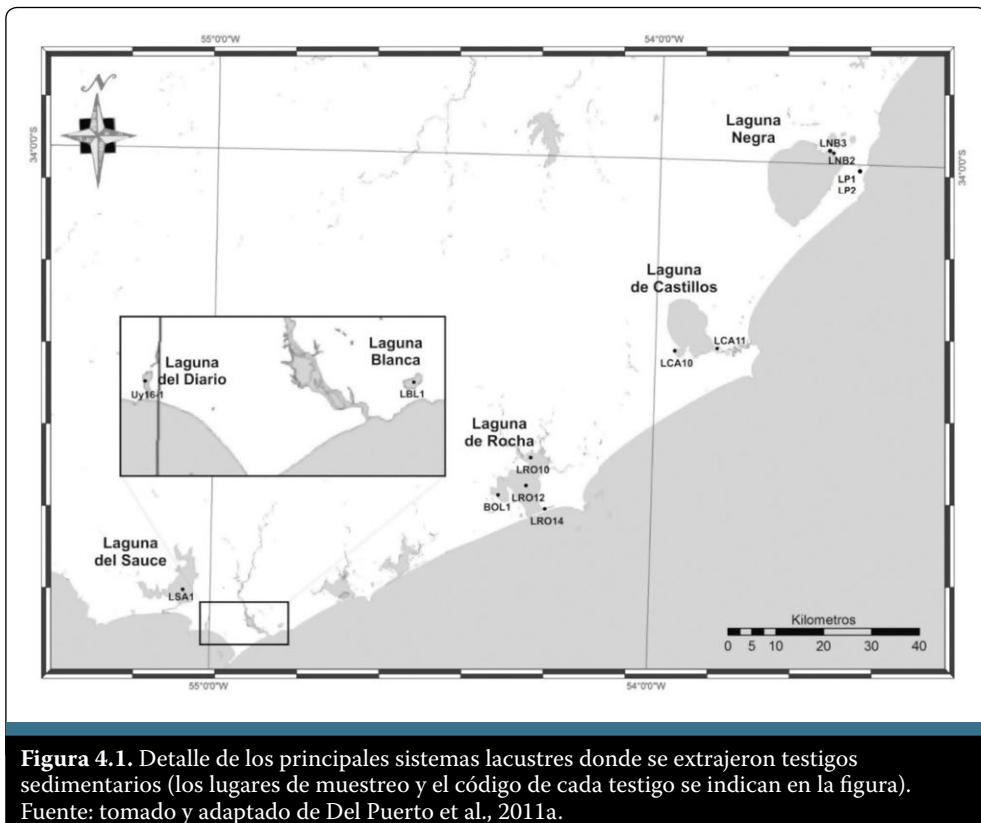


Figura 4.1. Detalle de los principales sistemas lacustres donde se extrajeron testigos sedimentarios (los lugares de muestreo y el código de cada testigo se indican en la figura).
 Fuente: tomado y adaptado de Del Puerto et al., 2011a.

En cada testigo sedimentario extraído se analizaron conjuntamente varios indicadores biológicos, geoquímicos y sedimentológicos para obtener información respecto a la variabilidad climática y ambiental holocena. Los resultados obtenidos constituyen la base para la elaboración de un modelo general regional de evolución paleo-climática y paleo-ambiental para el Holoceno del sudeste del Uruguay.

En la Tabla 4.3 se presentan los principales indicadores sedimentológicos y geoquímicos analizados para cada testigo sedimentario, mientras que los análisis fitolíticos y diatomológicos se realizaron en la totalidad de los testigos.

Tabla 4.2. Potencia y dataciones radiométricas de los testigos analizados. Fuente: tomado y modificado de Del Puerto *et al.*, 2011a y actualizado en base a Del Puerto et al 2011b.

Laguna	Testigo	Potencia (cm)	Dataciones		
			Intervalo (cm)	Cronología	Técnica
Negra	LNB2	180	42-58	1720±50 a.AP*	¹⁴ C
			58-68	1810±80 a.AP	
			93-108	3820±70 a.AP	
			135-140	3820±180 a.AP	
	LNB3	315	75-78	930 ± 45 a.AP	
			118-131	1600 ± 50 a.AP	
			161-178	1980 ± 40 a.AP	
			242-245	4560 ± 70 a.AP	
			263-270	5220 ± 90 a.AP	
			250-266	13475 ± 720 a.AP	
de Castillos	LCA10	352	322-330	27160 ± 1370 a.AP	
			45-49	3263 ± 284 a.AP	
	LCA11	545	535-545	7430 ± 170 a.AP	
			235-250	8860 ± 310 a.AP	
	BOL1	48	25-28	2250 ± 80 a.AP	
			135-145	4606 ± 177 a.AP	
			235-250	8860 ± 310 a.AP	
			66-81	4066 ± 126 a.AP	
			215-222	4410 ± 169 a.AP	
			430-438	5269 ± 233 a.AP	
de Rocha	LRO12	680	579-587	6209 ± 170 a.AP	¹⁴ C
			639-647	7207 ± 620 a.AP	
			116-126	15187 ± 376 a.AP	
			273-280	19030 ± 770 a.AP	
			60	1890 AD	
			140-145	1020 ± 60 a.AP	
Blanca	LBII	545	250-255	2200 ± 60 a.AP	
			350-355	3710 ± 75 a.AP	
			536-545	7310 ± 230 a.AP	
			20-31	2710 ± 50 a.AP	
			130-137	4380 ± 80 a.AP	
Sauce	LSA1	137	38	1905 AD	¹³⁷ Cs
			38	1899 AD	
			49-62	4000 ± 70 a.AP	
			99,5-110	5300 ± 80 a.AP	
			LPI 0-7	1962±2 AD	
Diario	Uy 16-1	110	LPI 70-77	322 ± 45 a.AP	²¹⁰ Pb
			LPI 93-100	568 ± 45 a.AP	
			LP2 120-127	775 ± 45 a.AP	
			LP2 140-147	1515 ± 70 a.AP	
			LP2 150-157	2400 ± 55 a.AP	
de Peña	LPI-LP2	157			¹⁴ C

* a.AP: Años ante del presente

Tabla 4.3. Principales *proxies* geoquímicos y sedimentológicos analizados en los testigos sedimentarios estudiados. Fuente: tomado y reformado de Del Puerto *et al.*, 2011b en base a información de Del Puerto *et al* 2011b.

Laguna	Testigo	Indicadores sedimentológicos	Indicadores Geoquímicos
Negra	LNB2	Textura	MO Total
		Composición mineralógica de arenas y arcillas (DRX)	CO ₃ Total
	LNB3	Textura	MO Total
		Composición mineralógica de arenas y arcillas (DRX)	CO ₃ Total
de Castillos	LCA10	Textura y composición mineralógica de arenas	MO y CO ₃ Totales
	LCA11	Textura y composición mineralógica de arenas	MO y CO ₃ Totales
de Rocha	BOL1	Textura	MO, N y P Totales
	LRO10	Textura y composición mineralógica de arenas	MO, CO ₃ , C, N y P Totales
	LRO12	Textura y composición mineralógica de arenas	MO y CO ₃ Totales
	LRO14	Textura y composición mineralógica de arenas	MO y CO ₃ Totales
Blanca	LBII	Textura y composición mineralógica de arenas	MO, CO ₃ , C, N y P Totales
Sauce	LSA1	Textura y composición mineralógica de arenas	MO, CO ₃ , N y P Totales
Diario	Uy 16-1	Textura y composición mineralógica de arenas	MO y CO ₃ Totales
de Peña	LPI-LP2	Textura y composición mineralógica de arenas	MO y CO ₃ Totales, Isótopos de C y N en MO

4.4 ANÁLISIS DEL REGISTRO INSTRUMENTAL

El registro instrumental de estaciones meteorológicas disponibles en el país comprende a once estaciones de la red de la Dirección Nacional de Meteorología (dnm) y cinco estaciones de la red del inia. La serie más antigua comienza en 1915 (La Estanzuela, inia) y las demás entre 1931 y 1986.

Se presenta inicialmente una descripción de la variabilidad interanual, decadal y tendencias observadas sobre la región, para variables climáticas con alto impacto en las actividades agronómicas (precipitación, temperatura y heladas) en el periodo instrumental más reciente.

En segundo lugar, se analizan e interpretan las series climáticas de algunas variables de interés, en particular: precipitación acumulada anual y frecuencia de precipitaciones intensas para dos de las estaciones meteorológicas disponibles. Simultáneamente, se estudia también la evolución de la temperatura media anual de todo el país a partir de estudios pre-existentes al momento de la elaboración de este informe.

Por último, en una tercera etapa de análisis, realizados específicamente a los fines de este informe, se considera un total de ocho indicadores o variables climáticas derivadas (calculadas a partir de las variables meteorológicas disponibles) que representan los siguientes eventos climáticos destacados por los expertos consultados: sequía, déficit y exceso hídri-

co, heladas, inducción de frío y olas de calor. Las variables climáticas derivadas se calcularon para todas las estaciones meteorológicas disponibles.

Las series de tiempo de dichas variables fueron analizadas con el fin de obtener la siguiente información:

- varianza explicada por las variables proyectadas sobre el calentamiento medio del globo,
- tendencias de las series climáticas (test de Kendall-Mann),
- tasa de cambio anual según la tendencia lineal (coeficiente de ajuste lineal),
- variabilidad interanual (desviación estándar móvil de la variabilidad interanual teniendo en cuenta períodos de siete años).

Para una descripción más detallada de las series de datos climáticos disponibles, las variables climáticas derivadas y los análisis realizados en la tercera etapa, ver la sección Avances en la descripción del clima reciente en el Uruguay para variables climáticas de interés agronómico (Capítulo 7).

4.5 ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Las únicas herramientas disponibles para estimar los escenarios climáticos futuros, con objetividad y con coherencia física en sus resultados, son las salidas de los Modelos Climáticos Globales (gcm, por su sigla en inglés).

Un modelo climático global es una representación matemática (un sistema de ecuaciones) de las leyes que se entiende gobiernan los principales procesos biofísico-químicos que ocurren dentro de los componentes del sistema climático y las interacciones entre ellos. Los principales componentes del sistema climático son: la atmósfera, hidrosfera, criósfera, litosfera y biosfera.

Las interacciones entre los componentes se manifiestan como intercambios o flujos de energía y materia a través de las superficies que limitan los componentes. El conocimiento de la solución del sistema de ecuaciones del modelo permitiría una descripción detallada del estado del sistema en el espacio y el tiempo. Pero, en la práctica, solo pueden obtenerse soluciones aproximadas, utilizando métodos de cálculo numérico que requieren el uso de computadoras de gran capacidad de procesamiento.

Una solución particular de estas ecuaciones, para determinados valores de los parámetros climáticos (por ejemplo: composición de los gases y partículas que forman la atmósfera, cantidad de energía proveniente del sol, entre otros) y determinadas condiciones de inicio, configura una simulación climática. De este modo, pueden obtenerse simulaciones del clima actual (experimentos de control o escenarios de base) las que, comparadas con los datos de mediciones, permiten valorar la habilidad o capacidad predictiva del modelo. La comparación de estadísticas basadas en estas simulaciones permite obtener estimaciones de los cambios climáticos proyectados por los modelos.

Varios grupos de científicos en diferentes países realizan investigaciones climáticas con modelos climáticos globales de características similares. Cada uno de ellos actualiza los

métodos de modelado de los procesos físicos y de resolución numérica de las ecuaciones, a medida que avanza el conocimiento científico y se incrementa la capacidad computacional. Esto origina diferencias entre los resultados de distintos modelos, que reflejan el grado actual de incertidumbre en el modelado climático.

En el presente trabajo se consideraron los siguientes tipos: el modelo climático global del Centro Hadley en su versión 3 (hadcm3), desarrollado por dicha institución del Reino Unido, y el modelo global acoplado del Instituto Max Planck de Meteorología (echam5/mpi-om) elaborado en Hamburgo, Alemania. El hadcm3 es un modelo acoplado Atmósfera-Océano de Circulación General (aogcm, por su sigla en inglés) y su componente atmosférico tiene 19 niveles con una resolución horizontal de 2.5° de latitud por 3.75° de longitud. El modelo global acoplado echam5, con una componente atmosférica de 31 niveles, tiene una resolución horizontal de 1.8° de latitud por 1.8° de longitud, es decir, aproximadamente 200 km entre puntos de grilla; en tanto, el modelo oceánico (mpi-om) tiene 31 niveles en la vertical y una resolución horizontal de 1.5° latitud por 1.5° de longitud (Roeckner et. al., 2003). Finalmente, el procedimiento de *downscaling* utilizado se describe detalladamente en el Capítulo 8.



5

Variabilidad climática y eventos extremos críticos para la producción del sector ganadero, agricultura de granos y horti-frutícola

Los núcleos temáticos que emergieron del análisis de la información provista por los expertos agropecuarios entrevistados son los siguientes: tiempo y sociedad, información (climática), predicción, adaptación, el sistema de respuesta y la sequía.

5.1 TIEMPO Y SOCIEDAD

Los entrevistados perciben y expresan sus preocupaciones respecto al “clima” denominándolo, tanto por su escala temporal como espacial, como “tiempo”. Además, la actitud y percepción de esa dimensión de la realidad a la que le llaman “tiempo”, nunca está desprendida de las concepciones sobre los ciclos de vida individuales y colectivos. Más aún, la memoria del tiempo es también un *racconto* y una evaluación de las transformaciones económicas y sociales, en este caso del medio rural y agropecuario.

Algunas de las expresiones recabadas más importantes fueron:

“Ahora le achacamos todo al cambio climático.”

El cambio climático “es un tema muy complejo y no sabemos cómo enfrentarlo, es suficientemente importante para enfrentarlo [y así] reducir los daños ecológicos, económicos y sociales. Hay gente que se ha suicidado por este tema.”

“La crisis forrajera no hace distinción de tamaño” de producción.

"El mercado afecta a la caja directamente" mientras que "el clima se percibe cuando ya está" afectando la producción y "es menos claro en sus consecuencias". "Hay muchas más mediaciones". El evento climático "es claro y sencillo pero no tan impactante como el valor económico" lo que constituye "uno de los factores por los que demora en crecer la conciencia."

"Solo por el clima no veo más cambio en la vegetación. El arado y el glifosato son mucho más claros."

"El evento [climático] y su conciencia dura ocho días. Luego la supervivencia manda."

Las expresiones muestran una importante reflexión sobre las dos variables que inciden fuertemente en la toma de decisiones de los productores agropecuarios: las condiciones meteorológicas y el mercado. Ambas son fuentes de incertidumbre en la dinámica contemporánea de corto y mediano plazo; no obstante, se presenta jerárquicamente más importante la variable económica en la conciencia, por su efecto directo en la calidad de vida y en las posibilidades de reproducción de la unidad productiva (también unidad de consumo cuando se habla de pequeños y medianos productores). Reconociendo la importancia de la variable climática, es considerada sin embargo en un segundo plano, frente a las urgencias de la generación de valor económico. Quizá sería caer en el sentido común decir que toda acción de prevención o mitigación de los efectos del clima en la producción deberá contemplar la economía como vector principal de interpretación de la realidad o, en palabras de un entrevistado: "no me hablen del clima si no me explican cómo incidirá en los ingresos monetarios y la acumulación de capital".

5.2 INFORMACIÓN (CLIMÁTICA)

Es claro que los productores, así como los expertos agropecuarios, recolectan información de todo tipo en su entorno, ya sea directa o indirectamente, es decir: a través de agentes sociales o de los medios de comunicación, en formato discursivo o pre-conceptual. No siempre es fácil discriminar la información como perteneciente al ámbito "climático", aunque paulatinamente –a partir de la acción de los medios de comunicación, de los procesos de extensión rural y de la educación formal y no formal– "lo ambiental" y, dentro de éste "lo climático", configuran un idioma que se generaliza a nivel de la conciencia colectiva y permite expresar fenómenos, relaciones y situaciones que en el ámbito científico-técnico se asocian en la actualidad con el campo de la variabilidad y el cambio climático.

Algunas de las expresiones más importantes en este núcleo temático fueron:

Como medio de comunicación: "la radio no está siendo explotada lo suficiente."

"La información que llega es un porcentaje, es lo máximo que se puede con el grado de incertezza. Pero los productores quieren blanco o negro."

"Hay un sector creciente que toma decisiones en base a información climática. Pero hay otros que no, para nada."

"Alguien en el ascensor le dice y entonces toma recaudos."

"Falta un aterrizaje agronómico de lo que dice el pronóstico."

“Los agricultores entienden bien: los grandes, los medianos y los chicos. Hoy día hay asesoramiento técnico directo o indirecto. Los ingenieros agrónomos son los que llevan la información.”

Sabiendo que no se agota el núcleo temático solo en esto, cabe hacer mención sobre las expresiones enfatizadas, las cuales presentan una clara propuesta respecto a la necesidad de que la información climática (científica) entendida como pronóstico, precisa ser “traducida” de alguna forma, para que los productores la puedan utilizar en sus decisiones prácticas (en distintas escalas de tiempo). No es que los productores no puedan comprender la información, pero en la complejidad de lo que significa reproducir una práctica agropecuaria, se estaría reclamando una “versión-receta” de la información climática. Existiría en la sociedad un grupo de personas que podrían, o deberían, encargarse de realizar esa traducción: los ingenieros agrónomos. No están claras las razones de dicha elección, así como tampoco las consecuencias de esto en materia de responsabilidad intersubjetiva. En otras realidades socioculturales, los mediadores o traductores de la información climática son líderes comunitarios, que además de este rol cumplen otras funciones para la cohesión social, lo cual hace que un error en la traducción no signifique una pérdida de confianza en la fuente informativa.

A partir del análisis de los testimonios surgen otros aspectos relevantes a considerar: ¿Qué podría suceder si se desarrolla una ultra-especialización en caso de no verificarse en la realidad los pronósticos (siempre probabilísticos) y sus efectos? ¿Qué nuevas relaciones de poder-saber impone la circulación de la información climática?

5.3 PREDICCIÓN

Hacer una predicción es intentar saber que pasará en el futuro. Un ejercicio de imaginación, generalmente basado en la fe (atemporal) o en el análisis de las tendencias conocidas del pasado-presente. Los modelos climáticos se han ido sofisticando mediante nuevas teorías y posibilidades que la informática provee para sistematizar información a mayor velocidad. Pero obviamente no son ni serán exactos y su carácter general no los hace necesariamente adecuados para todas y cada una de las actividades humanas en donde la variable climática tenga importancia en su devenir. La evaluación que hacen las personas sobre la eficacia de las predicciones climáticas dependerá de su experiencia con los modelos climáticos, su comprensión de las limitaciones y potenciales de la ciencia, así como la competencia que estas predicciones científicas tengan con otro tipo de predicciones futurísticas, sin obviar un tema fundamental como la propia concepción que tengan los entrevistados del tiempo futuro y cómo se determina su existencia.

Algunas de las expresiones más importantes en este núcleo temático fueron:

“Soy escéptico sobre el sistema de predicción; hay temas inmanejables con el *downscaling*; cuando se trata de predicciones micro es bien complicado.”

“Está incorporado en nuestro ‘mapa mental’: el Niño y la Niña, con bastante confianza. Niña va a llover menos y con Niño estamos tranquilos.”

“Desde el campo protestamos que son insuficientes los pronósticos. Se puede acertar que es Niña o Niño, pero no se nota, no tiene significancia en la toma de decisiones.”

"Con la idea de la instalación de la Niña ya hay una psicosis."

"Los pronósticos de más largo plazo no han entrado. No sé si es un problema de los modelos. Los años de Niña/Niño, la gente les presta mucha atención."

"Seguro cada cinco años vamos a tener un evento climático extremo."

"Mi abuelo tomaba las decisiones por la luna de setiembre. Hoy no miran más la luna."

"Hace diez años esto era un caos: 'que viene la sequía de nuevo'. La gente ya sabe que se pasa por la etapa de 'caos', es decir contradicciones, y luego se asienta."

"No hay pronósticos más allá de los seis meses para que el productor decida por su sistema de producción. Si tuviéramos certeza que en los próximos 20 años pasará esto, tendríamos que trabajar con otra lógica."

El fenómeno oceánico-atmosférico denominado El Niño Oscilación Sur (enos) es de los más estudiados, debido al impacto sobre las condiciones históricas del tiempo y en las economías de varios países. Más allá de si existe una correlación entre el calentamiento atípico de las aguas del Pacífico Sur (Niño) o el enfriamiento atípico (Niña) y la predicción de más o menos precipitaciones, lo que se puede decir sobre la expresión resaltada en la lista de las respuestas de los expertos es: por un lado, la íntima relación reconocida entre precipitaciones y la producción agropecuaria nacional; y por otro, la emergencia del tópico de "confianza" cuando hay una relación de causalidad comprobada y legitimada por la ciencia y sus voceros. Si bien todos los entrevistados entienden la existencia de dificultades para que los modelos meteorológicos y climáticos sean totalmente certeros, las acciones y decisiones se basan en un número reducido de variables que brindan las mayores certezas, en una especie de reduccionismo tranquilizador y pragmático.

También llaman la atención no solo las ideas sobre la predicción de los fenómenos climáticos, sino también de los fenómenos sociales asociados. Cuando se describen etapas de caos-orden-chaos, se está planteando una hipótesis de cómo circula la información y cómo la gente se adapta no solo al tiempo y al clima, sino al aprendizaje colectivo, a los distintos actores que producen ideas y promueven prácticas y con los cuales también hay que saber lidiar. Esto permite pasar a un nuevo núcleo temático: la adaptación.

5.4 ADAPTACIÓN

La adaptación significa, en términos sociales, tomar como un hecho dado una fuerza externa a la sociedad y actuar conscientemente con miras a mantener las formas de vida conocidas o transformarlas lo menos posible, es decir, una adaptación activa. El problema surge cuando esa fuerza externa no es bien conocida o se comporta según dinámicas no lineales dejando abiertos muchos derroteros. Entonces: ¿a qué adaptarse activamente? Por otro lado, a través de la historia, las sociedades no solo se han adaptado, sino que han intentado cambiar la fuerza externa, de alguna manera incorporándola a las relaciones sociales, internalizándola con la intención de controlarla. En el tema del cambio climático, en el país, se ha pasado de la "mitigación" (internalización) a la "adaptación" como respuesta dominante, frente al reconocimiento de las responsabilidades históricas diferenciales entre países con distinto nivel de desarrollo y las dificultades de alcanzar consensos políticos sobre cómo disminuir el riesgo al cambio climático peligroso.

Algunas de las expresiones más importantes en este núcleo temático fueron:

“La adaptación es que la gente se imagine lo que puede pasar. En noviembre de 1989, en el norte por Salto, no se imaginaba lo que podía pasar. Cuando se dieron cuenta, el ganado ya no caminaba más. Además no había pastoreo en todo el país. Ya nos estamos olvidando.”

“Hay que desarrollar una mentalidad de convivencia con el enemigo. No se puede combatir la sequía, sería como combatir la nieve en Canadá.”

“El campo natural es el único recurso forrajero que puede adaptarse al cambio climático y a la variabilidad climática. Por eso la gente en el Norte es reacia a las mejoras y pasturas.”

“Un lechero tiene tantos problemas de gestión como para todavía sumar la gestión del riesgo.”

“Si tenés agua para riego, las secas largas las podés enfrentar. No así con una ola muy cálida e intensa. No estamos preparados para este caso.”

En la gran mayoría de las entrevistas, la adaptación fue central y la mitigación marginal, lo cual no significa ser pasivos, pero sí reconocer las limitaciones de la acción humana consciente para el control de fenómenos físicos “externos”. La visión enfatizada es clara al respecto y promueve una naturalización de la acción social, en el sentido de no reproducir la contradicción sociedad – naturaleza como antagónica, donde la dominación o el control prometeico sea la mejor respuesta, sino desarrollar una relación de mutua constitución entre producción y clima. En otras palabras, desarrollar mejores sistemas productivos sintonizados con las nuevas variables climáticas, donde obviamente lo conocido no podrá reproducirse tal cual. Tanto la adaptación como esta potencial “sintonización” o acoplamiento se dan preferentemente en el orden de la técnica y la tecnología.

5.5 EL SISTEMA DE RESPUESTA

La adaptación o respuesta a diversos eventos climáticos no es individual sino que las corporaciones, el Estado y las agrupaciones gremiales, van aprendiendo y elaborando mecanismos, protocolos, y políticas de prevención, mitigación y respuesta. En el caso de Uruguay, es el mgap quien aparece como el responsable de liderar esas políticas en el ámbito de la producción agropecuaria. Conocer una evaluación primaria y relativamente superficial sobre cómo ha ido dándose la implementación de un sistema de respuesta, es también consultar sobre el papel del Estado entre los técnicos e, indirectamente, los productores.

Algunas de las expresiones más importantes en este núcleo temático fueron:

“Ahora hay más rapidez en buscar soluciones, por ejemplo forrajes de Paraguay o de eeuu. (...) Hay familiarización con las prácticas de alimentación fuera del predio.”

“En la última sequía me sorprendió qué tarde llegó la ración a los productores, si bien ya se conocía de la anterior. A nivel de campo se veía que no había llegado a tiempo.”

“Hay resignación de que las soluciones tecnológicas no aparezcan. Por eso es que aumentó mucho el uso de alimentos fuera del predio.”

“A los pequeños productores la tecnología les llega menos. Si no les llega con planificación, es probable que a la técnica no se le pueda sacar jugo.”

“Es muy dolorosa la experiencia como para no prestar atención a alguna esperanza de solución.”

“En 1988-89 el país y los técnicos no estábamos preparados para asesorar a los productores. Diez años más tarde, en 1999-2000 ya hubo investigaciones y pudimos dar indicaciones muy efectivas.”

“Acá en Paysandú hay un protocolo de inundación para las zonas inundables. Sin embargo, no hay protocolo de reacción frente a la sequía.”

“El sector empresarial actúa a una velocidad mucho más rápida que a nivel oficial.”“Algunos incorporan riego pero para su predio.”

El primero de los enunciados enfatizado denota cierta ambigüedad en relación a las posibilidades tecnológicas de la adaptación o de dar respuesta a la variabilidad climática. La tecnología apropiada a nivel predial, al menos para los sistemas ganaderos, no se reconoce como suficiente para mantener los sistemas productivos más o menos inalterados; pero sí la respuesta tecnológica a una escala supra-predial, que implica no una relación productor-tierra sino una relación productor-productor con la mediación mercantil (por ejemplo, compra de forraje). Esta situación, en definitiva, pone sobre la mesa una escala que no puede ser individual hacia una adaptación o nueva sintonización entre producción y clima. Por otro lado, la mención a la “resignación” de hallar respuestas técnico-tecnológicas podría estar evidenciando una visión crítica sobre los límites de la ciencia “todopoderosa” aplicada, o una conciencia sobre los límites en la influencia sobre las políticas de investigación e innovación.

La segunda frase remarcada vuelve sobre los procesos de aprendizaje. El sistema de respuesta no tiene fin, sino que cada experiencia podrá (o no) acumular conocimiento y memoria colectiva. Más arriba, sin embargo, alguno de los entrevistados en torno a la “adaptación” decía que estaban olvidados los eventos sucedidos hace 20 años, lo cual genera preguntas: ¿dónde se registra y se acumula información? y ¿cómo se sacan conclusiones para la prevención y la respuesta?

5.6 LA SEQUÍA

Este núcleo temático se deriva directamente de las respuestas dadas por los entrevistados a la consulta de cuál es el evento climático más significativo. Por lejos la respuesta mayoritaria apuntó a la “sequía” y el déficit hídrico, independientemente de la producción considerada.

“La sequía es el tema que preocupa y pega. Ese es el gran tema, sin ninguna duda.”

“Por lo que yo creo, en el Este no tienen idea de lo que es una sequía.”

“Cuando el evento extremo sequía sucede en invierno no es tan grave, porque el sistema ya está preparado.”

“Por la memoria te diría que antes, hace 20 años, había menos estrés hídrico.”

“Si no pasa nada raro, vamos a otra seca.”

“En horticultura quizá el exceso de agua es más grave porque no es manejable.”

La interpretación de estas ideas-fuerza de los técnicos será profundizada en el apartado titulado la “paradoja” entre percepción y datos históricos (ver análisis de las series instrumentales históricas). Aquí, solo vale la pena señalar el problema de la escala temporal de la memoria individual. La memoria del tiempo y los eventos meteorológicos, a nivel individual, está asociada a otros procesos: ciclos de vida, actuación profesional, edad del sujeto, otros eventos que ayudan a retener información climática, etc. Por ello, se reconoce en la literatura académica que el conocimiento práctico, local, no necesariamente convergerá con el resultado de un análisis de series de datos sistemáticamente recogidos sobre variables climáticas. No obstante, sí puede abrir interrogantes, las que siempre constituyen un incentivo para la forma científica de aproximación a la realidad. La sequía o, mejor dicho, la percepción de la sequía, es uno de esos catalizadores en la reflexión sobre la variabilidad y cambio climático en los sistemas agro-pastoriles.



6

Variabilidad climática histórica del Uruguay y la región durante el Holoceno y el periodo de registro instrumental

El cambio y/o la variabilidad climática actual y futura encuentran un lugar preponderante en la agenda de gobiernos, instituciones, agencias internacionales y una pléthora de organizaciones a escala global. Esto se debe, ante todo, a que el impacto de estos nuevos escenarios sobre la matriz productiva alimentaria-económica del planeta genera incertidumbres y desafíos para asegurar el suministro de materias primas esenciales para la humanidad.

En este sentido, la capacidad de adaptación de los sistemas de producción ante estos nuevos y variables contextos es de fundamental importancia. Por ello, para comprender, entender y manejar escenarios a suceder, resulta imprescindible conocer no solo el origen de esta variabilidad, sino también sus ciclos, ritmos e intensidad en el pasado. De este modo, es posible establecer qué fenómenos y variables pueden ser atribuidos a procesos naturales y cuáles al impacto humano, así como cuál será la respuesta de los ecosistemas locales frente a fenómenos globales y, a su vez, cómo incidirían los mecanismos de adaptación de los sistemas productivos ante esta trádida de cambios globales, respuesta local e impacto humano.

Para abordar esta situación, se debe tener en cuenta que los conceptos y preceptos respecto a la variabilidad natural son relativos. En este contexto, resulta particularmente relevante recordar que:

- La historia climática del planeta consiste en una superposición de variaciones y cambios climáticos de corto, mediano y largo plazo.

- La variabilidad natural, intrínseca al sistema climático terrestre, se superpone cada vez más con aquella inducida por factores cuyo origen remite a actividades antrópicas.
- El concepto de cambio catastrófico, o catástrofe climática, remite ineludiblemente al impacto de un evento o fenómeno climático sobre una población o sistema de producción humano. No existen catástrofes naturales, sino alteraciones en las condiciones “normales”. Más aún, si se atiende a la periodicidad de estas catástrofes, a menudo resultan un componente imprescindible para el mantenimiento de determinados ecosistemas (Estévez 2005, Leroy 2006).

El sistema climático terrestre es extremadamente complejo, aún visto como un todo, está compuesto por una intrincada red de variables interrelacionadas que tornan difícil atribuir a una de éstas el advenimiento de un cambio o, todavía más, establecer con precisión el momento de su advenimiento. La predicción se torna todavía más compleja cuando se introduce el factor humano de cambio superpuesto a la variabilidad natural.

Por lo expuesto, es imprescindible comprender cabalmente la variación climática en períodos geológicos recientes, fuera de la escala temporal donde la intervención humana aumenta la complejidad. Es desde allí que la información pretérita de mediano y largo plazo incrementa la capacidad de modelar escenarios futuros y modificar el accionar presente para mitigar los potenciales impactos futuros (Olfeld y Alverson 2003, Zolitschka y Enters 2009).

6.1 LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA HOLOCENA A NIVEL GLOBAL

El Holoceno es el periodo geológico más reciente, cuyo inicio se retrotrae al final de la última glaciación e instalación del inter-glacial actual (Roberts 2009). Debido al desfasaje en la cronología del inicio de este evento inter-glacial a escala global, se ha fijado por convención una fecha arbitraria para su inicio: 10 000 años ^{14}C AP (isótopo Carbono 14/ antes del presente) o aproximadamente 11 450 años calibrados AP (Anderson et al. 2007, Roberts 2009).

Durante el periodo conocido como Último Máximo Glaciar (25 000-18 000 años calibrados AP) se instauró un clima extremadamente frío y seco, con temperaturas promedio de hasta 20°C por debajo de las actuales. Como consecuencia de esto, capas de hielo de hasta 4 km de espesor cubrieron el norte y centro de Europa y América del Norte, mientras que mantos de menor entidad se extendieron desde los Alpes y los Pirineos en Europa, en los Andes sudamericanos y en el este de Asia (Roberts 2009). Hace 20 000 años AP, al Sur del paralelo 38°S, los Andes patagónicos se encontraban cubiertos por una densa capa de hielo, mientras que al Norte de esa latitud, las extensiones glaciales de tipo alpino se restringieron a las cuencas altas de los valles cordilleranos. En el comienzo del Holoceno se desencadena el calentamiento climático y concomitante la deglaciación de estas regiones continentales.

Este evento climático a escala planetaria puede ser atribuido principalmente a variaciones en la radiación solar recibida por la Tierra en aquel entonces. Tales variaciones se vinculan a cambios cíclicos en los parámetros orbitales terrestres. A comienzos del Holoceno, uno de los tres ciclos de forzamiento orbital (o ciclos de Milankovitch), concretamente el de

precesión equinoccial, se encontraba en situación opuesta a su condición actual. El cambio de este parámetro orbital, que determinó que el hemisferio Norte recibiera un 8% más de radiación solar estival que en la actualidad, habría actuado como desencadenante del derretimiento de las masas de hielo continental (Roberts 2009).

Sin embargo, esta tendencia climática de largo plazo (vinculada a ciclos orbitales) fue interrumpida o atenuada varias veces a través del Holoceno, periodo caracterizado por una significativa variabilidad climática respecto a periodos precedentes. Ciclos de cambio de entre 2500 y 1500 años de recurrencia (eventos de Dansgaard-Oeschger y eventos Heinrich) se encuentran documentados a escala global (Dansgaard et al. 1984). Esta significativa variabilidad climática holocena puede explicarse como consecuencia de un equilibrio meta-estable entre los componentes del sistema climático. Dentro de estos componentes se incluyen el ciclo hidrológico, el contenido de calor de las masas oceánicas, los gases invernadero atmosférico y los hielos oceánicos. Más allá de la pléyade de componentes inter-relacionados del sistema climático terrestre, la variabilidad solar parece ser el factor preponderante que explica la variabilidad climática holocena. La variabilidad solar a escalas temporales amplias está determinada por parámetros orbitales (Anderson et al. 2007, Roberts 2009) aunque existen otras variaciones de escala temporal menor que remiten a cambios en la radiación emitida por el sol –vinculados a los ciclos de manchas solares– y al efecto de las erupciones volcánicas con grandes emisiones de polvo. Tales factores externos se encuentran sobre-impuestos a variaciones internas del sistema climático terrestre.

Las variaciones internas del sistema climático se relacionan primordialmente a cambios de gran escala y magnitud en el sub-sistema atmósfera-océano, responsables de las variaciones climáticas inter-anuales. En ciertos casos, estas oscilaciones exhiben patrones geográficos y temporales conspicuos, generando eventos y fenómenos bien conocidos y documentados como la oscilación sur de El Niño o la oscilación del Atlántico Norte (Holmgren et al. 2001, Bradley et al. 2003, Labeyrie et al. 2003).

6.2 VARIABILIDAD CLIMÁTICA REGIONAL

Los modelos paleoclimáticos desarrollados para la cuenca del Río de la Plata, señalan que durante el Último Máximo Glacial, ocurrido en torno a 25 000-18 000 años calibrados AP, se habría instaurado un clima mucho más seco y frío que el actual, el cual se extendió hasta unos milenios antes del comienzo del Holoceno. Evidencias regionales de estas condiciones han sido generadas a partir de registros polínicos en el sudeste de Brasil (Ledru 1992, Behling 1995, 1998, 2002, 2007, Behling et al. 2004), en los Andes peruanos (Villagrán 1990, Markgraf 1993), en la Pampa argentina (Prieto 1996, 2000), en el noreste de Argentina (Rizzo 1985 en Iriondo y García 1993) y en la cuenca superior del Paraná (Stevaux 1994 en Adams y Faure 1997). Los datos coinciden con lo señalado por registros paleolimnológicos (diatomeas, sedimentología, indicadores geoquímicos, etc.) en el Sudeste de Brasil (Moro et al. 2004), por depósitos de loess en la provincia de Santa Fe y el noroeste de Entre Ríos, así como por la movilización y depósito de arenas eólicas en el Chaco occidental (Iriondo y García 1993) y por registros sedimentarios, pedológicos, geomorfológicos y biológicos en la cuenca basáltica del norte de Uruguay (Castiñeira et al. 2005, Castiñeira 2008).

Si bien no existe consenso respecto a cuándo finaliza este periodo seco y frío y comienzan a instalarse las condiciones más cálidas y húmedas, que caracterizan al comienzo del Holoceno en la región, condiciones de estabilidad del paisaje, desarrollo pedogenético y un cambio hacia condiciones más húmedas son propuestas para la cuenca basáltica del norte de Uruguay por Castiñeira et al. (2005) y Castiñeira (2008). Este patrón temporal se relaciona tentativamente con las condiciones inferidas para el inicio de la depositación del Holoceno temprano en cuencas del noreste de la provincia de Buenos Aires y asignada por otros autores al Platense (Prieto et al. 2004; Blasi et al. 2008).

El Holoceno temprano registró un importante incremento en la temperatura y la humedad. No obstante, de acuerdo a diferentes registros, este mejoramiento climático habría tenido lugar con diferente cronología e intensidad a través de la región. A partir de evidencias sedimentológicas, arqueológicas y zoológicas, Iriondo y García (1993) postulan, para las provincias de Buenos Aires y Córdoba (Argentina) que recién hacia el 8000 a ^{14}C AP habría tenido lugar el comienzo efectivo del periodo húmedo conocido como *Optimum Climaticum*, caracterizado por clima húmedo subtropical-tropical, extendiéndose hasta cerca del 3500 a ^{14}C AP. En la Pampa argentina, sin embargo, evidencias polínicas indican la finalización del periodo húmedo hacia el entorno del 6000 AP, cuando comienza una fase más seca que se habría extendido hasta después del 4000 ^{14}C AP (Mancini et al. 2005, Prieto 1996). Para otras zonas (principalmente el sudeste y centro sur de Brasil) existen evidencias (polínicas, sedimentológicas, geoquímicas y diatomológicas) de un mejoramiento climático más temprano, próximo al 10 000 ^{14}C AP. Las mismas sugieren que hacia el 8000 ^{14}C AP se habría iniciado un nuevo pulso árido que se extendió hasta *circa* el 3000 ^{14}C AP (Behling 1995, 2007, Vernet et al. 1994 en Adams y Faure 1997, Melo et al. 2003, Moro et al. 2004). Iriarte (2006) señala la instalación de condiciones más cálidas y húmedas en el este de Uruguay próximo al 10 000 ^{14}C AP, extendiéndose hasta \sim 6200 a ^{14}C AP.

El Holoceno medio ha sido caracterizado como de alta variabilidad climática (Clapperton 1993) y representa la transición a las condiciones ambientales recientes. Aunque las evidencias paleoclimáticas para la Pampa son fragmentarias y con frecuencia controversiales, varios autores coinciden en que este periodo se caracterizó por un clima más seco, con cortos episodios de condiciones semiáridas o húmedas y cálidas (Prieto 1996, Tonni et al. 1999, Zárate et al. 2000, Prieto et al. 2004, Mancini et al. 2005, Quattrochio et al. 2008).

Los registros para Uruguay indican que desde *circa* (ca.) 4500 ^{14}C AP hasta ca. 2500 ^{14}C AP habría predominado un clima sub-húmedo a seco o con una marcada estacionalidad en las precipitaciones (Bracco et al. 2005 a y b, Del Puerto et al. 2006, Inda et al. 2006). Panario y Piñeiro (1997) observan, para la costa atlántica del Uruguay, evidencias de erosión que manifiestan, para ca. el 3000 ^{14}C AP, condiciones más secas y/o de fuerte estacionalidad. Bracco et al. (2000) interpretan las variaciones isotópicas de la secuencia de valvas monoespecíficas, que testifican la evolución del nivel de la Laguna de Castillos desde el 5500 hasta el 1500 ^{14}C AP, como consecuencia de un incremento del aporte de aguas continentales luego del 2000 ^{14}C AP, denotando el fin del periodo seco anterior y el arribo del clima más húmedo actual. A partir del registro combinado de polen y fitolitos, Iriarte (2006) señala este periodo de mayor aridez entre ca. 6600 AP y algún momento posterior a ca. 4000 ^{14}C AP.

A partir del 2000 ^{14}C AP diversos registros regionales indican un mejoramiento climático, con el pasaje a condiciones más cálidas y húmedas (Del Puerto et al. 2011b). Así lo evi- dencian las asociaciones faunísticas (Tonni et al. 1999) y los registros de polen de la Pampa

argentina (Quattroccio et al. 2008). Reconstrucciones cuantitativas de la precipitación basadas en secuencias polínicas, muestran valores de precipitación 100 mm superiores a los actuales entre 2000 y 500 años cal AP, sugiriendo condiciones subhúmedas-secas para el sudeste de la Pampa, mientras condiciones subhúmedas-húmedas similares a las actuales fueron inferidas para el área central (Tonello y Prieto 2009). Evidencias de un episodio cálido en testigos paleolimnológicos del sudeste del Uruguay y en asociaciones de mamíferos en el sur de la Pampa, han sido asignadas al Periodo Cálido Medieval (Tonni et al. 1999, Bracco et al. 2005b, Del Puerto et al. 2011 a y b), el mismo habría tenido lugar en torno al 1000 ^{14}C AP (Clapperton 1993, Iriondo 1999).

A partir del siglo xvi, evidencias de un deterioro climático fueron registradas en las asociaciones mamíferas de la Pampa (Tonni et al. 1999, Iriondo 1999) y en registros paleolimnológicos del sudeste de Uruguay (Bracco et al. 2005 a y b, Del Puerto et al. 2011 a y b) sugiriendo que podrían corresponder con la llamada Pequeña Edad de Hielo, con cronologías entre 800 y 200 ^{14}C AP (Iriondo 1999). Coincidientemente, los valores de precipitación estimados para el sudoeste de la Pampa disminuyeron durante los últimos 500 años, sugiriendo condiciones climáticas semiáridas (Tonello y Prieto 2009). Finalmente, crónicas históricas y evidencias geomorfológicas indican condiciones áridas en tiempos post-Hispánicos, con intervalos de incremento de precipitaciones (Politis 1984, Tonni et al. 1999, Deschamps y Tonni 2007, Rabassa 2008).

6.3 MODELO CLIMÁTICO DE ACUERDO A LOS ANTECEDENTES Y EVIDENCIAS PALEOLIMNOLÓGICAS

América del Sur, en comparación con el resto del continente, cuenta con relativamente pocas investigaciones paleoclimáticas, habiéndose centrado las mismas primordialmente en Argentina y Brasil (Behling 1998, 2007, Melo et al. 2003, Moro et al. 2004, Prieto et al. 2004, Mancini et al. 2005).

No obstante lo reducido del número de investigaciones, las mismas han sido capaces de identificar una alternancia de fases climáticas húmedas con otras secas desde el Pleistoceno tardío y a través del Holoceno, las cuales responderían a cambios tanto globales como regionales (ver en particular, Melo et al. 2003).

En el contexto nacional, numerosas investigaciones paleoambientales han permitido identificar la respuesta de los ecosistemas locales a variaciones climáticas pretéritas, particularmente basándose en evidencias de indicadores contenidos en lagunas costeras. Esto se debe a que estos cuerpos de agua constituyen rasgos de paisaje de corta vida y presentan, en costas y fondos, registros geológicos, geomorfológicos y bióticos detallados de las condiciones a las cuales estuvieron sujetas durante su evolución: nivel marino (cambios climáticos globales), salinidad (dinámica continente/océano), temperatura y pluviosidad (clima regional) (Del Puerto et al. 2011a). La información obtenida a partir de los análisis *multi-proxy* en 13 testigos, así como la secuencia cronológica de los eventos y procesos de variabilidad climática avalados por 39 dataciones radiométricas permitió generar el modelo que se presenta en la Figura 6.1.

La variabilidad climática holocena analizada en los sistemas lacustres de la zona sur y este del país comienza, en la mayoría de los casos analizados, con depósitos sedimenta-

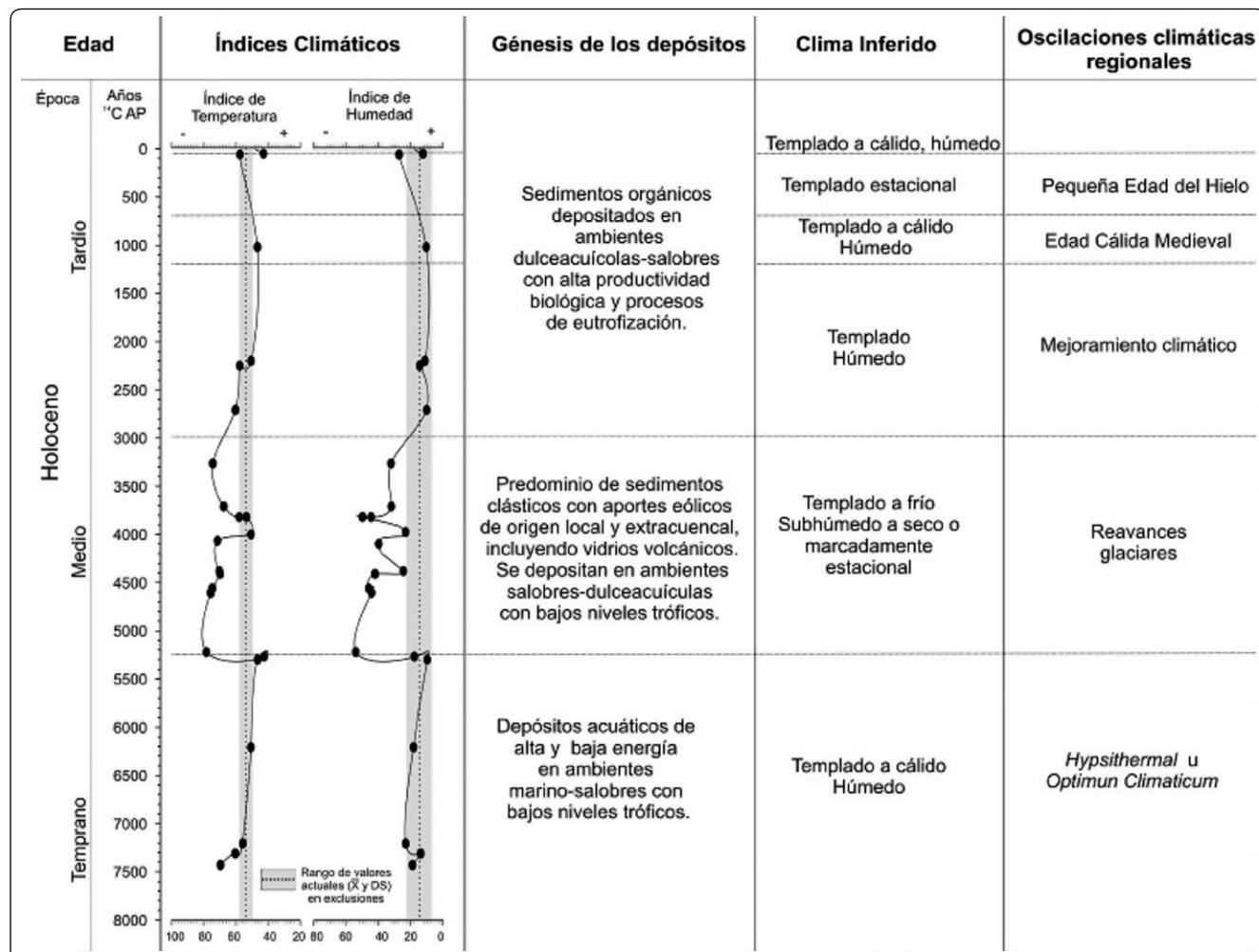


Figura 6.1. Modelo de evolución climática para el Holoceno en el sudeste del Uruguay. Se representan gráficamente las variaciones en los índices de temperatura y humedad registradas en los testigos analizados, considerando únicamente las unidades con dataciones radiométricas e incorporando el rango de valores actuales de referencia. Se esquematizan las principales características de los depósitos analizados y del clima inferido, cotejándolo con los modelos regionales de evolución climática. Fuente: tomado de Del Puerto et al., 2011a.

rios atribuibles a una gran transgresión marina (cerca de 6,5 metros por sobre el nivel del mar actual) que originó estos cuerpos de agua (Bracco et al. 2011, Inda 2011). Esta ingresión marina habría ocurrido entre el 7000 y 5000 años ^{14}C AP (Isla 1989, Martin y Suguio 1992).

Los índices climáticos obtenidos a partir de la abundancia relativa de silicofitolitos de células cortas de gramíneas, indican que durante ese lapso imperaron condiciones templadas a cálidas y húmedas (Del Puerto et al. 2011a). A pesar de estas condiciones climáticas, los depósitos de fondo se caracterizaron por texturas gruesas, predominando el aporte clástico y bioclástico producto de la influencia marina. Dependiendo de la ubicación de los sistemas lacustres en relación con el mar y de los testigos dentro del ambiente lítico, en algunos casos se registró una alternancia de depósitos gruesos y finos, de alta y baja energía, evidenciando la conjunción de aportes alóctonos y autóctonos a los sistemas. La influencia del mar también determinó estados tróficos tendientes a la oligo-mesotrofia,

denotados por bajos contenidos de materia orgánica y nutrientes. A pesar de que las condiciones climáticas fueron favorables para la productividad orgánica y la meteorización química, los nutrientes aportados fueron diluidos en la dinámica de sistemas abiertos. Para ese periodo las “jóvenes” lagunas costeras se aproximaban más a golfos o ensenadas que a lagunas propiamente dichas (Inda 2011).

A partir de 5200-5000 años ^{14}C AP, comenzó una fase regresiva abrupta (Bracco et al. 2011) acompañada de la instauración de condiciones templadas a frías y subhúmedas-secas o marcadamente estacionales. La disminución de la temperatura y humedad se halla evidenciada por los índices climáticos obtenidos a partir de silicofitolitos de gramíneas, que alcanzan sus máximos valores entre 5200 y 3000 años ^{14}C AP. Este cambio climático se encuentra también reflejado en la textura y composición mineralógica de los depósitos lacustres. En la mayoría de los testigos analizados se registra un importante incremento de la sedimentación para este periodo constituida principalmente por aportes eólicos de origen local y extra-cuencal. El clima más seco y frío contribuyó a la disminución de la cobertura vegetal, favoreciendo la erosión física, el transporte y el depósito de material clástico en los cuerpos de agua. Entre los aportes extra-cuencales, se destaca la presencia de vidrios volcánicos de origen andino (Blasi et al. 2005, Del Puerto 2011) en las fracciones de limo y arena fina. Estos vidrios, angulosos y sin mayores señales de re-transporte, se depositaron en todos los sistemas lacustres estudiados, denotando una mayor influencia de vientos de componente sur-suroeste, más fríos y secos (Del Puerto 2011). Si bien la presencia de cenizas volcánicas en la atmósfera pudo haber amplificado las condiciones climáticas imperantes, al dificultar el pasaje de la luz solar, se debe señalar que este registro de tefras volcánicas no presenta en la región sudeste la magnitud que exhibe en el litoral norte del Uruguay, donde existen bancos de cenizas volcánicas de entre 30 cm y 80 cm de espesor con cronologías muy similares (Castiñeira y Fernícola 2006). En forma consistente, los indicadores geoquímicos evidencian una escasa carga de nutrientes hacia los sistemas acuáticos, redundando en bajos niveles tróficos y baja productividad de los cuerpos de agua.

A partir del entorno de los 2500 años ^{14}C AP, la situación se revierte completamente, en los sistemas lacustres comienzan a depositarse sedimentos orgánicos, de texturas finas y ricos en nutrientes. Las evidencias geoquímicas y sedimentológicas denotan un cambio hacia condiciones climáticas más cálidas y húmedas que, junto al paulatino descenso del nivel del mar, contribuyó al aporte de nutrientes y al consecuente incremento del estado trófico de los sistemas acuáticos.

En todos los testigos los índices climáticos indican una transición hacia condiciones templadas a cálidas y húmedas, semejantes a las actuales (Del Puerto et al. 2011 a y b). No obstante, en esa transición hacia las condiciones actuales se registran dos puntos de inflexión (Figura 6.2).

El primero, en torno a 1000 años ^{14}C AP, se caracterizó por temperaturas superiores bajo condiciones igualmente húmedas y se correlaciona cronológicamente y fenomenológicamente con el Periodo Cálido Medieval a escala global (Del Puerto et al. 2011b). Posteriormente, ya en tiempos históricos, se observa un cambio hacia condiciones climáticas más frías y secas, que se habrían extendido hasta tiempos recientes (siglo xix) y cuyas características y cronología son en todo homologables al periodo conocido como Pequeña Edad de Hielo.

Este último periodo se desarrolló entre el 1500 y el 1900 AD (loc. lat. *Anno Domini*, en el año del Señor), con tres marcados pulsos fríos y secos acaecidos en 1300AD, 1600AD y

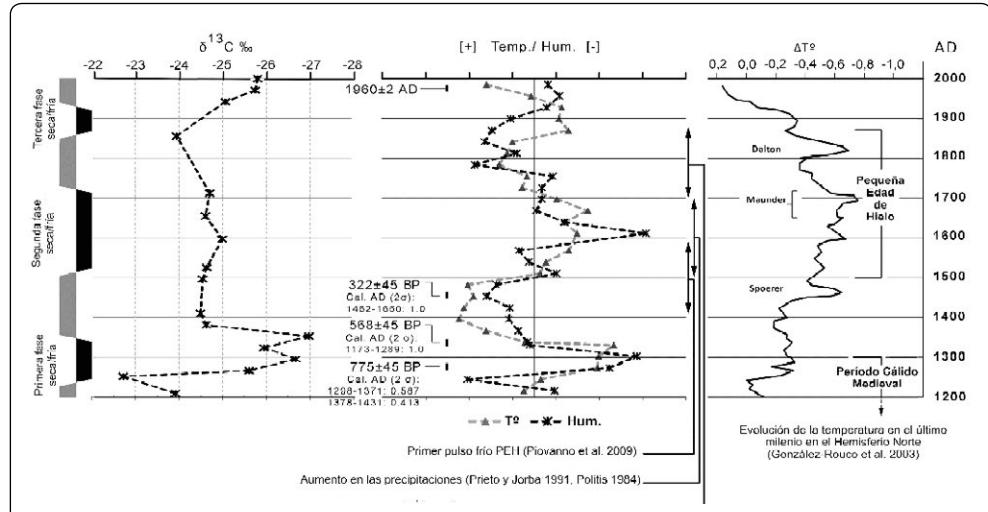


Figura 6.2. Relación entre el registro isotópico de Laguna de Peña, índices climáticos, principales eventos climáticos regionales y modelo climático global para los últimos 2000 años. Fuente: tomado y traducido de Del Puerto et al. 2011b.

1900AD, los cuales se hallan documentados a nivel local en el testigo de Laguna de Peña (Del Puerto et al. 2011b) así como a escala regional (Piovano et al., 2009, Prieto y Jorba 1991, Politis 1984) y global (González-Rouco et al., 2003).

6.4 EL PERÍODO CLIMÁTICO ACTUAL EN CONCORDANCIA CON LOS CICLOS DE VARIABILIDAD HOLOCENA

De acuerdo a lo expuesto en el apartado anterior, las oscilaciones climáticas holocenas registradas en el Uruguay presentan una alta correspondencia con lo constatado a nivel global. En particular, los períodos o fases climáticas (Figura 6.1) inferidos para la región denotan una relación significativa con los ciclos Dansgaard-Oeschger y eventos Heinrich (Bond et al., 1999).

Estos ciclos de Dansgaard-Oeschger (D-O, de aquí en adelante) cuya presencia se ha registrado para al menos los últimos 80.000 años (Dansgaard et al., 1993) poseen una recurrencia del entorno de 1500 años y una duración de alrededor del 20% del lapso entre dos picos. Si bien el mecanismo que los desencadena sigue siendo objeto de debate, existe consenso en que involucra a la corriente de circulación termohalina del Atlántico Norte y se relaciona estrechamente con la cantidad de hielo continental y con los ciclos de actividad solar (Bond et al., 1999). Estos ciclos D-O son considerados inter-estadiales, es decir, los picos máximos se corresponden con condiciones climáticas más cálidas y húmedas. El pico del último evento D-O sería el responsable del período conocido como Edad Cálida Medieval, evidenciado por los registros proxy de la Laguna de Peña en Uruguay (Figura 6.2).

Los eventos Heinrich son episodios de enfriamiento global que se desarrollan en alternancia con los ciclos D-O. Existe una alta corelación entre los mínimos de actividad

solar y el desencadenamiento de estos eventos para los últimos 12.000 años (Bond et al. 2001), comprobado a partir del estudio de corers de hielo de Groenlandia y del estudio de deriva de icebergs en fondos marinos, así como por la correspondencia entre los mínimos solares Wolfe, Spörer, Maunder y Dalton con los eventos Heinrich para el Holoceno. Es precisamente el mínimo solar Dalton el que habría desencadenado el periodo conocido como Pequeña Edad del Hielo, registrado también en el testigo de Laguna de Peña (Figura 6.2).

Dado el periodo de recurrencia de los ciclos D-O y la relación de éstos y los eventos Heinrich con la actividad solar (debido a su influencia en la temperatura del agua del Atlántico Norte y en la configuración de los grandes casquetes de hielo, Figura 6.3) es posible determinar que el periodo climático actual se corresponde con un momento post evento Heinrich (última edad de hielo que finalizó en las postrimerías del siglo xix).

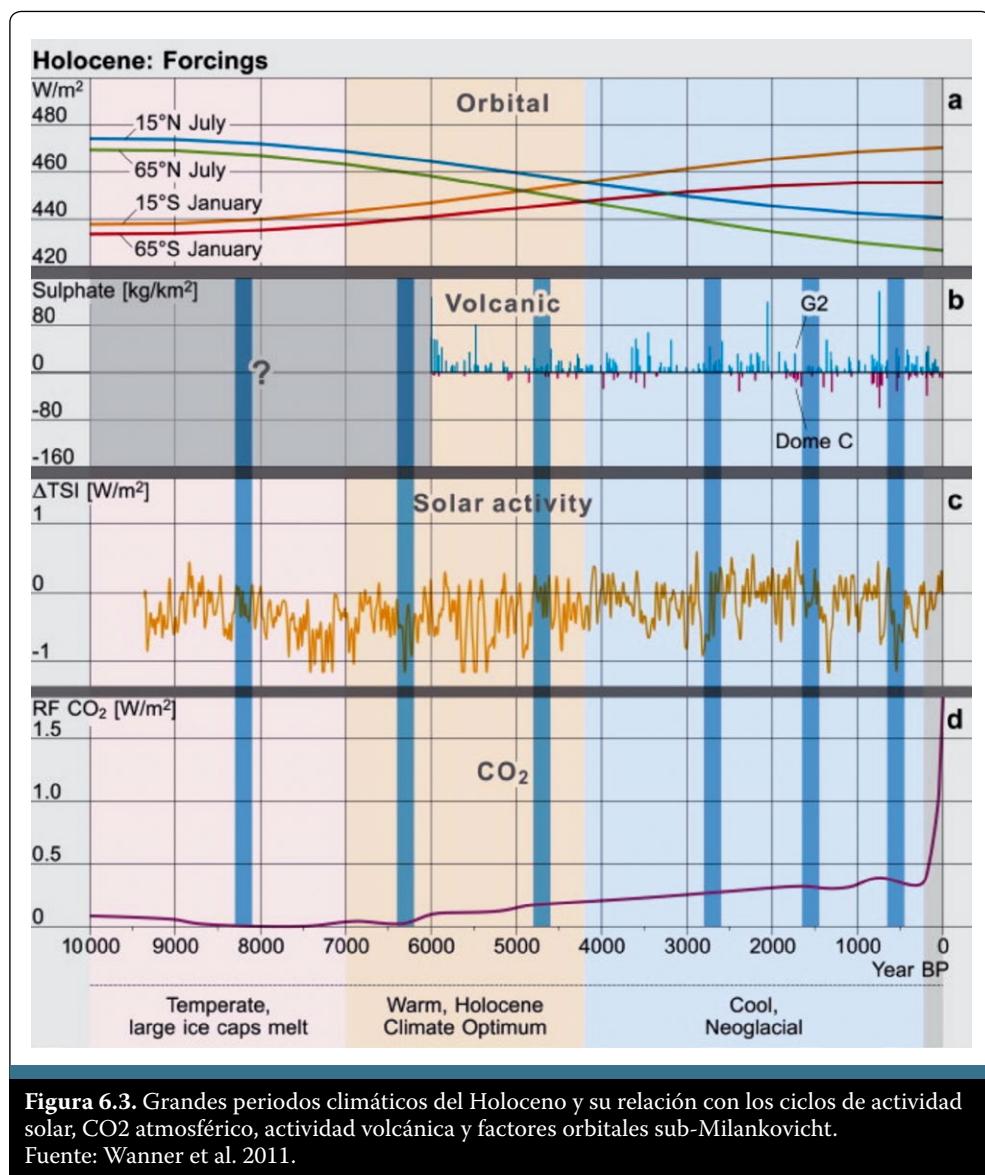


Figura 6.3. Grandes periodos climáticos del Holoceno y su relación con los ciclos de actividad solar, CO₂ atmosférico, actividad volcánica y factores orbitales sub-Milankovicht.

Fuente: Wanner et al. 2011.

En función de lo expuesto, asumiendo el periodo actual como parte de un ciclo D-O, las condiciones actuales deberían prevalecer por al menos dos siglos más. Sin embargo, existen dos factores adicionales a tener en cuenta: primero, el contenido de CO_2 atmosférico es muy superior al registrado en todo el Holoceno, por lo que no resulta claro cómo influirá esta variable en la ciclicidad identificada (una posibilidad es la prolongación del periodo inter-estadal). Segundo, la transición o alternancia entre ciclos D-O y eventos Heinrich es, en tiempos geológicos, extremadamente abrupta. Recurriendo a los hallazgos del Hemisferio Norte, el último ciclo D-O (la Edad Cálida Medieval) que permitió que pueblos nórdicos prosperaran estableciendo granjas en Groenlandia fue abruptamente (pocas décadas) interrumpido por un evento Heinrich asociado al mínimo solar Dalton, el cual “dio por tierra” con la capacidad tecnológica humana para sobrevivir en un ambiente devenido rápidamente en extremo.

Es pertinente tener en mente entonces que, si bien la ciclicidad de estos grandes períodos trasciende largamente la escala generacional humana, lo abrupto de los cambios puede plantear a futuro (en los próximos siglos) un escenario dramáticamente diferente del actual.

6.5 DESCRIPCIÓN DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL SIGLO XX EN URUGUAY Y LA REGIÓN

A partir de la década de 1970, se manifiesta un mayor interés por el estudio de la variabilidad climática debido por un lado, a las fuertes anomalías observadas en la zona del Sahel en África

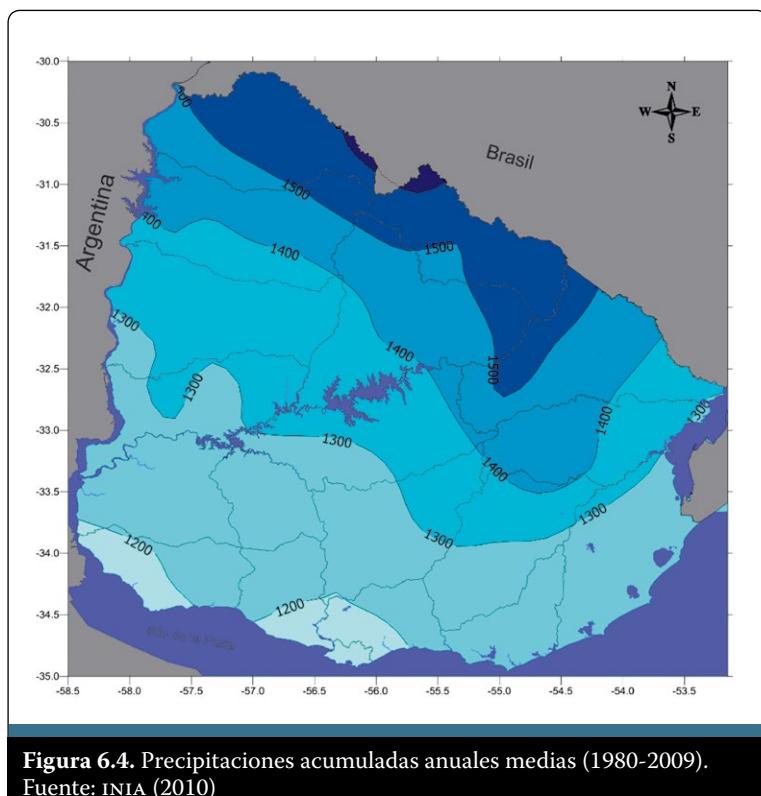
y sequías e inundaciones en diversas partes del planeta (por ejemplo sudeste de Sudamérica) y, por otro, a la mejora en los sistemas de observación, en especial la incorporación de sensores remotos.

En esta sección se analiza la variabilidad interanual, decadal y tendencias observadas sobre la región durante el periodo de registro instrumental más reciente, con especial énfasis en aquellas variables con mayor impacto en las actividades agronómicas estudiadas.

Precipitación

Los valores medios de precipitación acumulada anual sobre el país se sitúan entre 1200 y 1600 mm durante el periodo estadístico 1980-2009 (inia, 2010) con los menores valores situados al suroeste (departamento de Colonia) y los máximos al noreste (departamentos de Rivera y Artigas). El gradiente por lo tanto es de suroeste a noreste (ver Figura 6.4).

El régimen de precipitaciones sobre Uruguay tiene características marítimas en la región su-



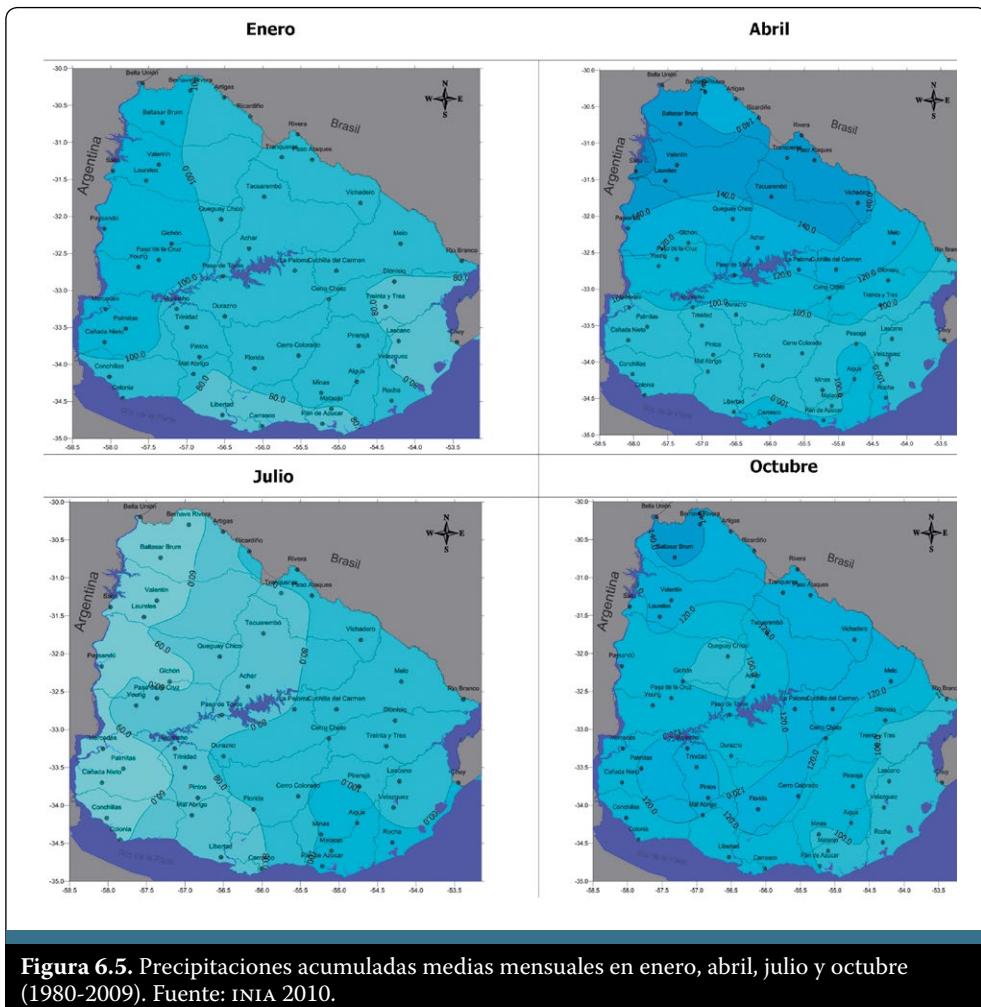


Figura 6.5. Precipitaciones acumuladas medias mensuales en enero, abril, julio y octubre (1980-2009). Fuente: INIA 2010.

deste (litoral atlántico) y este (cuenca de la Laguna Merín) con un máximo de precipitaciones en el invierno (ver julio en Figura 6.5). El resto del país es una región de transición entre las lluvias de carácter marítimo ya mencionadas y las lluvias veraniegas del interior del continente (ver enero en Figura 6.5) (Prohaska en Schwerdtfeger 1976). Ambas influencias condicionan un ciclo anual con una doble estación lluviosa, un máximo principal en otoño y un máximo secundario en primavera, un mínimo principal en invierno (excepto en el este y sureste) y un mínimo secundario a mitad del verano.

Los valores mensuales de precipitación, registrados en un año particular, se pueden apartar considerablemente de estos promedios, dada la gran variabilidad interanual, tal como se puede observar en la Figura 6.6. En la misma se presentan a modo de ejemplo los percentiles P10, P33, P66 y P90 de las precipitaciones para los meses centrales de cada estación del año. Esta variabilidad se constata en todos los meses del año aproximadamente con la misma magnitud, registrándose en los años extremos valores mínimos inferiores a 20 mm/mes (ver julio en Figura 6.5) y máximos superiores, en todos los meses, a los 250 mm/mes (ver Figura 6.5). Al analizar la serie en su conjunto en base a la distribución en terciles, se constata que en los diez años menos lluviosos (inferiores a P33) las precipitaciones men-

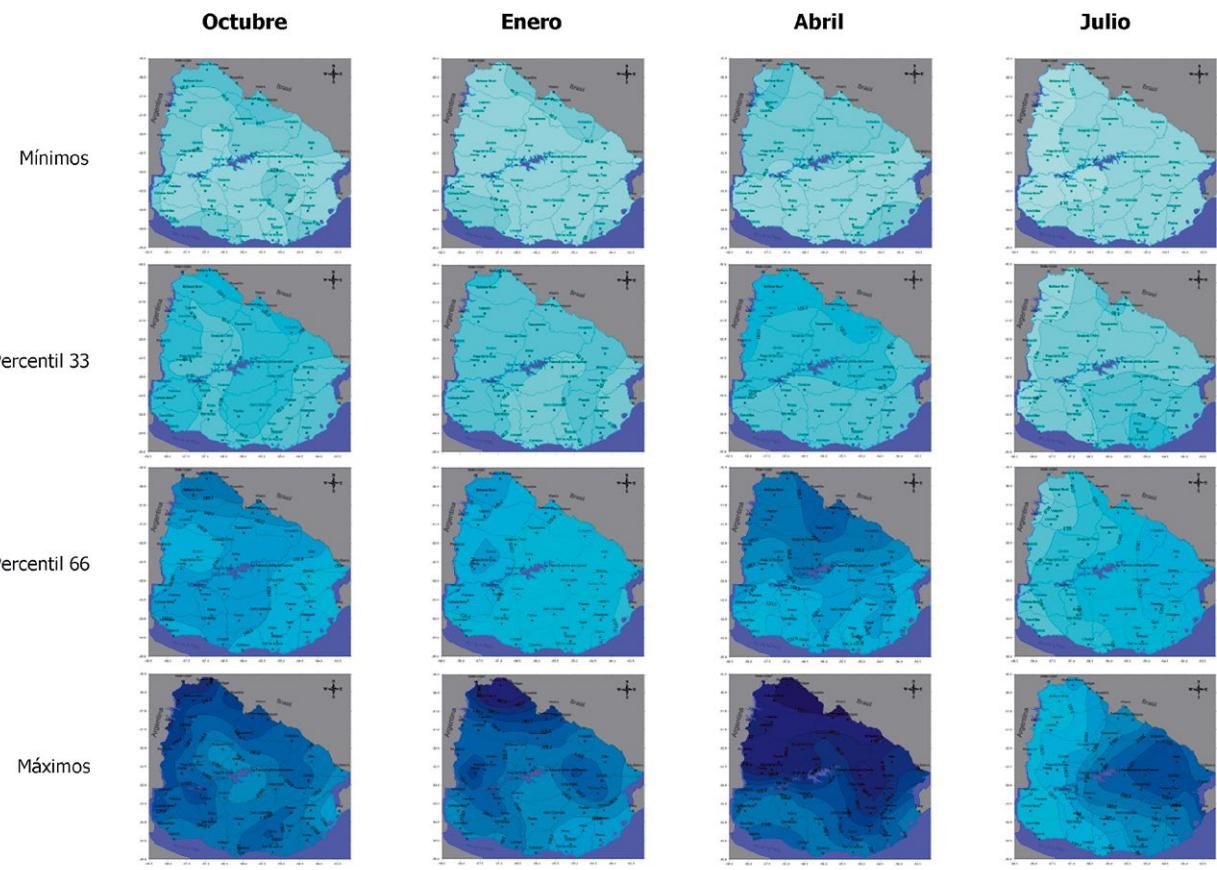


Figura 6.6. Probabilidad de las precipitaciones acumuladas mensuales. Los meses fueron seleccionados de acuerdo a períodos más críticos identificados por los especialistas. Fuente: INIA (2010)

suales fueron mayormente inferiores a 60-80 mm, mientras que los diez años más lluviosos (mayores a P66) fueron en general mayores a 120-160 mm.

Durante el siglo XX se ha observado sobre la región un cambio sustancial en las precipitaciones hacia mayores valores durante los últimos 30 años. La precipitación experimentó un ascenso durante la década de 1970, el cual se mantuvo durante las décadas de 1980 y 1990. Posteriormente, a finales de la década de 1990, a pesar de que se produce un ligero descenso, la tendencia general ha sido creciente durante el último siglo.

Las tendencias en la precipitación no se han distribuido equitativamente a lo largo del año. De acuerdo a la Figura 6.7, la mayor parte de las tendencias positivas se encuentran en verano y en otoño, mientras que las negativas —de menor magnitud, en color azul en el gráfico— suceden durante la primavera sobre Brasil y durante el invierno sobre Uruguay, sur de Brasil y Buenos Aires. Las tendencias positivas en la precipitación durante otoño afectaron la cuenca del Alto Paraná después de 1980.

De igual manera que las tendencias en la precipitación no están distribuidas uniformemente a lo largo del año, también presentan diferencias con respecto al enos. La cuenca del Río

de la Plata posee un clima templado que exhibe una fuerte señal de variabilidad inter-anual de las precipitaciones y de eventos extremos, frecuentemente asociado al fenómeno enos. El ciclo del enos es la principal fuente de la variabilidad interanual en el sur de América del Sur. Debido a que los eventos "El Niño" se han intensificado durante las últimas décadas, las tendencias de la precipitación se muestran en forma separada para años Niño, Niña y neutros (Figura 6.8). Las tendencias positivas sobre Paraguay se han originado en períodos de El Niño, mientras que las de Buenos Aires y La Pampa se deben a las tendencias en años neutros, mientras que en las provincias del Litoral (o Mesopotamia) argentino se deben a ambas fases. La tendencia positiva se observa entre 20° y 40°S al Este de la cordillera de Los Andes. La contribución de El Niño a esta tendencia se produjo en la región que va desde Paraguay, noreste de Argentina hasta Río Grande. Hacia el sur del continente, la contribución a la tendencia de El Niño es cercana a cero, mientras que los años neutros parecen ser los que aportaron la mayor parte de la tendencia positiva. Además, la tendencia de los años neutros contribuyó al máximo espacial en la zona de la triple frontera entre Paraguay, Brasil y Argentina. También se puede notar que en los períodos La Niña la tendencia es cercana a cero en todas partes. En otras palabras, las mayores contribuciones a las tendencias de precipitación se encuentran durante años Niño o neutros, pero no en años Niña.

Temperatura

La temperatura media anual sobre Uruguay es de unos 17,7°C, variando desde unos 19,8 °C en la zona noroeste (Bella Unión) hasta unos 16,6°C en la costa sur del país. Las isoterma tienen una orientación general del sur al noreste (ver Figura 6.9).

Las temperaturas medias más altas se presentan en los meses de enero y febrero y las más bajas en junio y julio, de acuerdo a la región. Los promedios nacionales de las temperaturas extremas anuales del aire se caracterizan por una temperatura máxima media de 22,6°C y una mínima media de 12,9°C (Figura 6.10).

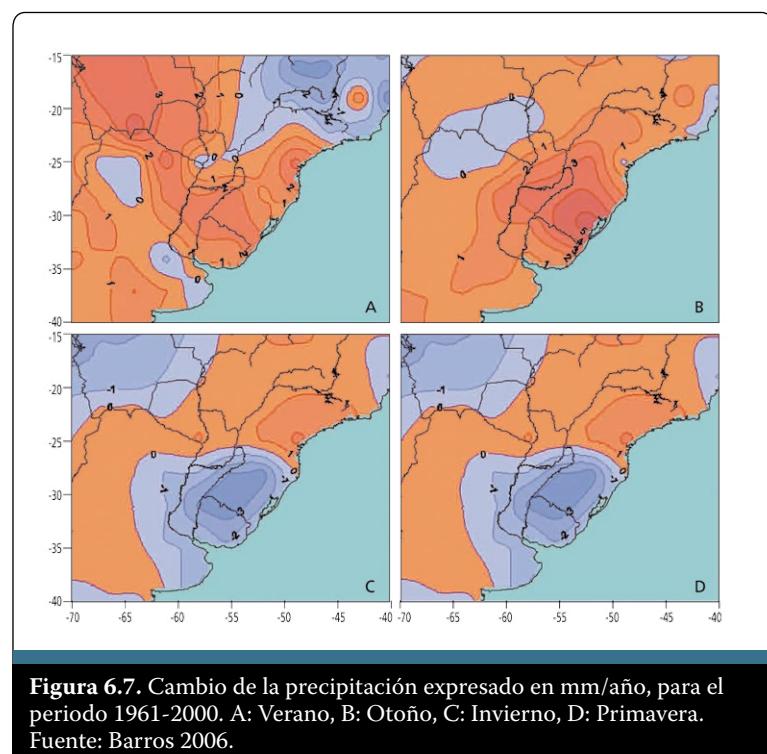


Figura 6.7. Cambio de la precipitación expresado en mm/año, para el periodo 1961-2000. A: Verano, B: Otoño, C: Invierno, D: Primavera. Fuente: Barros 2006.

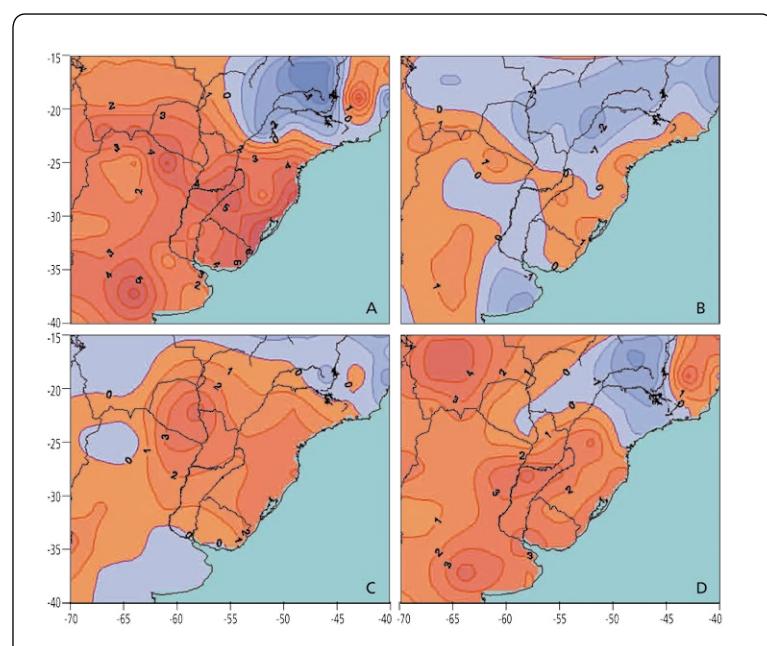


Figura 6.8. Tendencias en la precipitación para 1961-2000 en mm/año: a) precipitación anual, b) contribución de La Niña , c) contribución de El Niño y d) contribución en años neutros. Fuente: Barros 2006.

Las temperaturas extremas medias del aire sobre el país presentan durante todo el año un gradiente creciente de sur a norte de unos 5°C para las máximas medias y de unos 4°C para las mínimas medias. Se observa como hecho característico un núcleo frío de las temperaturas mínimas medias ubicado al centro-sur del país, sobre los departamentos de Florida, Durazno y norte de Canelones, que son más importantes durante la época fría del año.

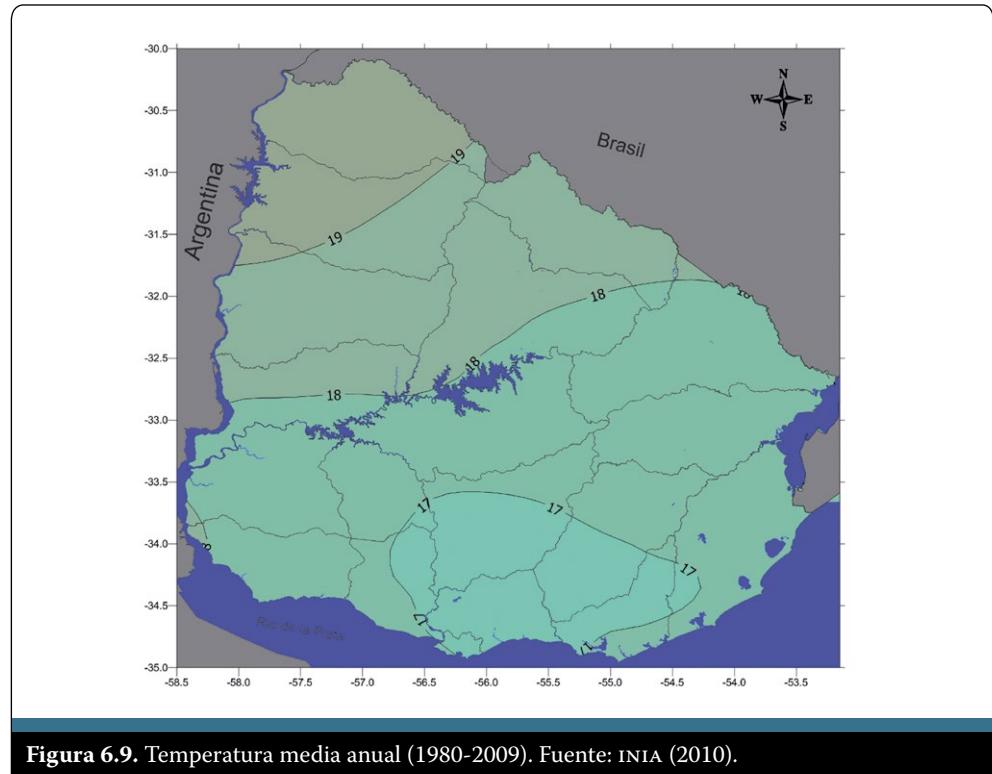


Figura 6.9. Temperatura media anual (1980-2009). Fuente: INIA (2010).

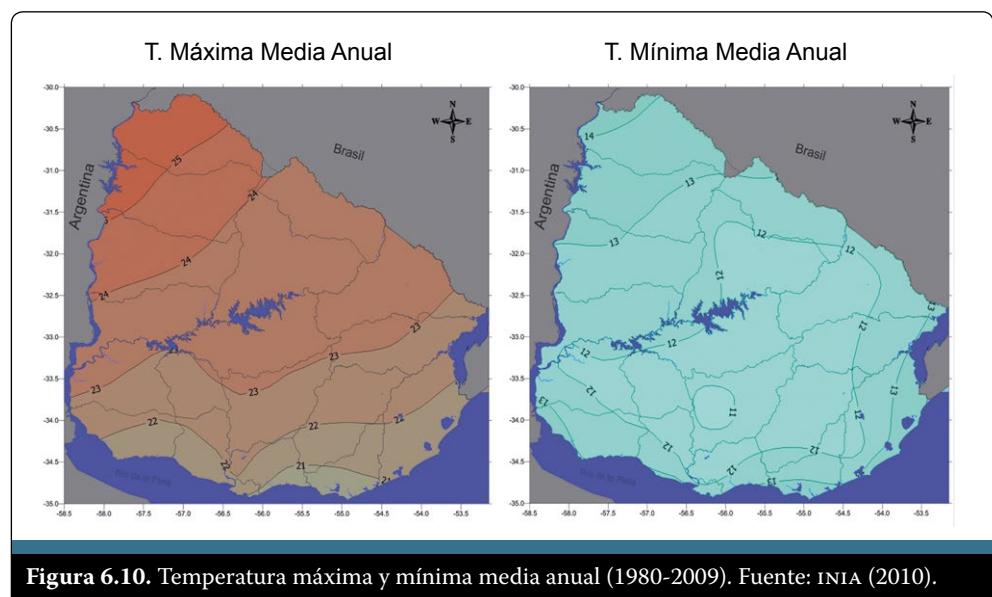


Figura 6.10. Temperatura máxima y mínima media anual (1980-2009). Fuente: INIA (2010).

El mes más cálido es enero y el más frío es julio, tal como se puede observar en la Figura 6.11. En el mes más cálido (enero) el promedio de las temperaturas registradas en el país es de 24°C para las medias, 29,6°C para las máximas y 18,5°C para las mínimas. Mientras que durante el mes más frío (julio) el promedio de las temperaturas registradas en la región se sitúa en 11,6°C para las medias, 15,8°C para las máximas y 7,3°C para las mínimas.

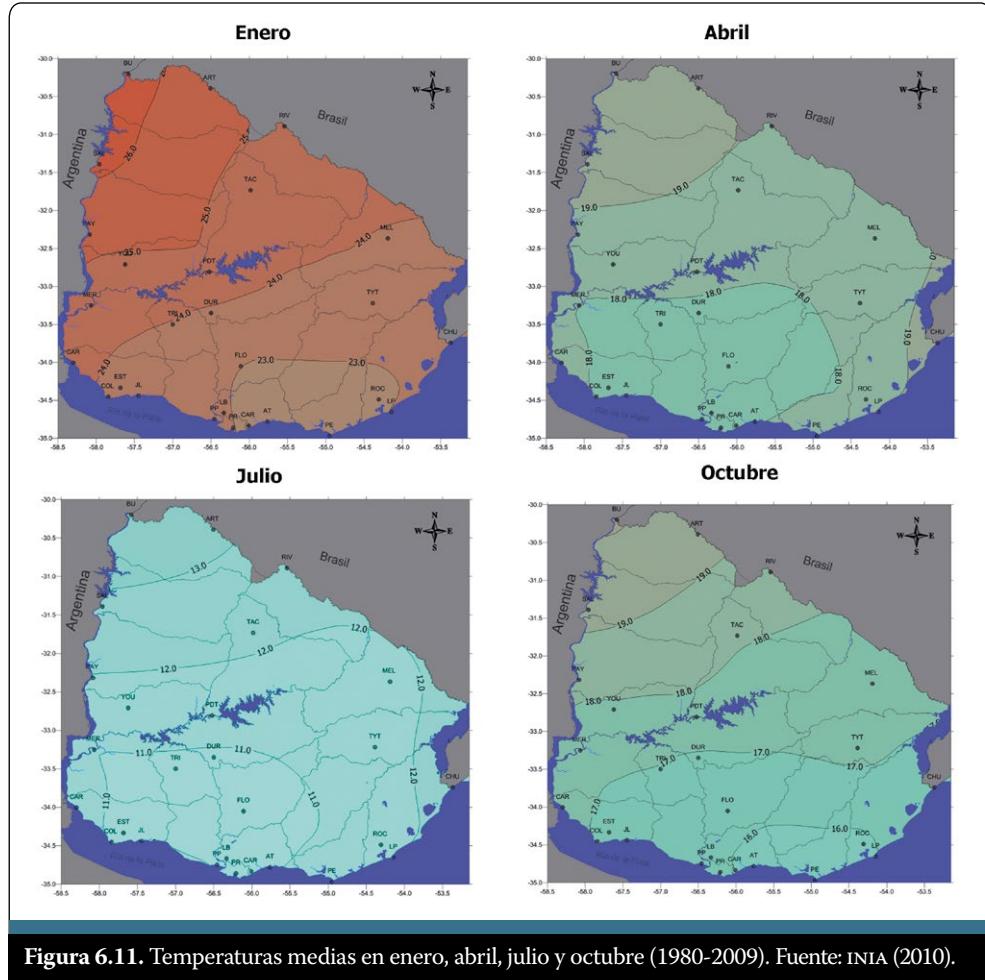


Figura 6.11. Temperaturas medias en enero, abril, julio y octubre (1980-2009). Fuente: INIA (2010).

Heladas

Se denomina helada agro-meteorológica cuando la temperatura mínima del césped es menor a cero grado. Por causa de la variación interanual de la temperatura, existe un periodo en el cual se manifiestan típicamente sobre nuestro país, normalmente entre el 1º de mayo y el 31 de octubre. A causa de que la temperatura mínima del césped es una variable de escaso registro en el país y, a su vez, con series incompletas, se realizó un ajuste para poder estimarla (ver detalle en inia 2010).

Los números del mapa de heladas agro-meteorológicas (o sobre césped) indican un núcleo frío o de máximo en centro del país y uno más cálido o mínimo hacia la franja costera, como se aprecia en la Figura 6.12.

La distribución del régimen de heladas para la totalidad del país presenta un comportamiento diferencial según el mes y la zona (Figura 6.13). Para destacar, de manera general existe una máxima cantidad de días con heladas durante el mes de julio por encima de seis días, localizándose en la zona centro-litoral, mientras que el mes de octubre presenta los menores registros por debajo de un día para casi la totalidad del país.

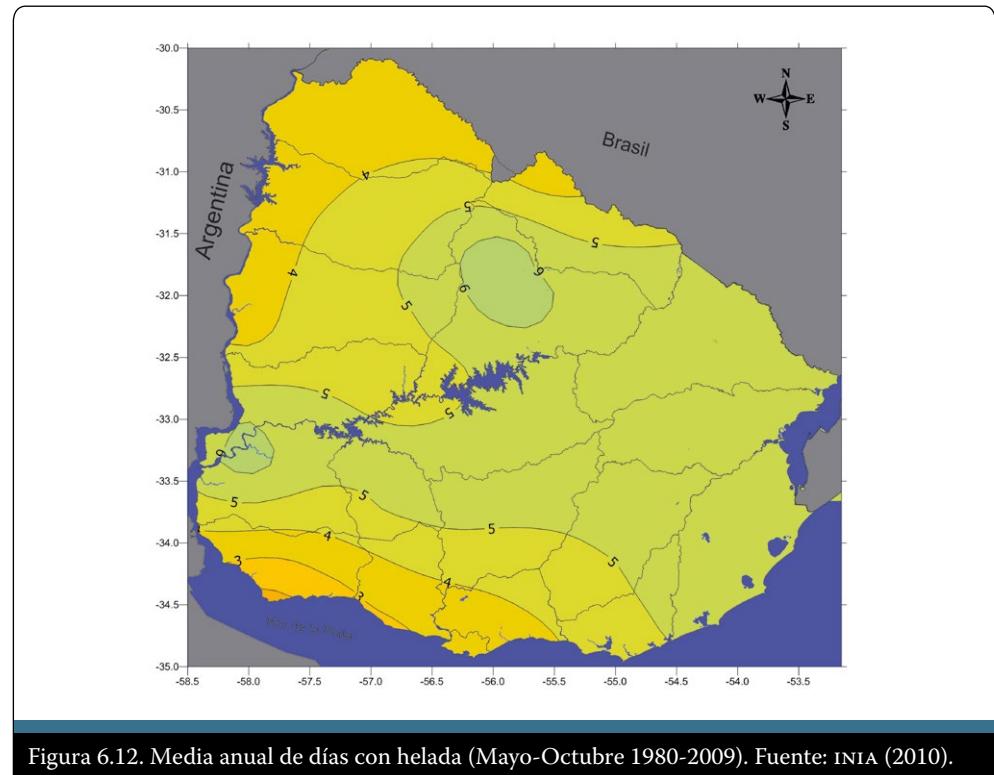


Figura 6.12. Media anual de días con helada (Mayo-Octubre 1980-2009). Fuente: INIA (2010).

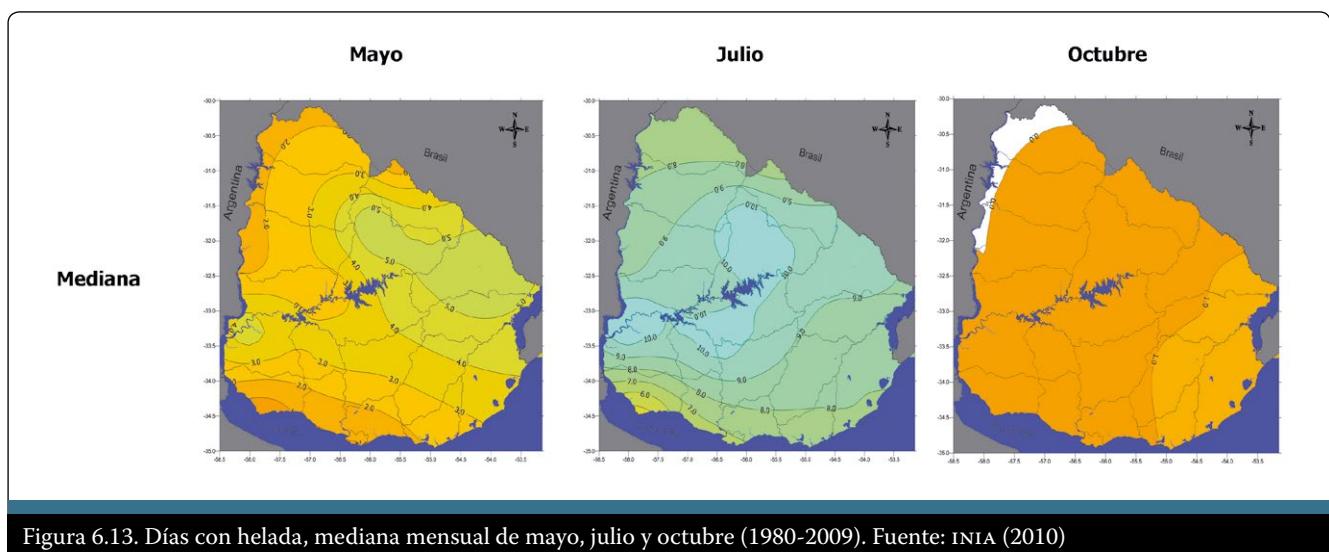


Figura 6.13. Días con helada, mediana mensual de mayo, julio y octubre (1980-2009). Fuente: INIA (2010)

6.6 TENDENCIAS CLIMÁTICAS DEL PERÍODO INSTRUMENTAL Y SU INTERPRETACIÓN

Se analizan a continuación series climáticas de precipitación acumulada y de frecuencia de lluvias intensas (número de días con lluvias acumuladas mayores a 25 mm) para las estaciones meteorológicas de Paysandú y Carrasco así como la evolución de la temperatura media anual durante el siglo XX en el Uruguay.

Un análisis detallado de las precipitaciones acumuladas en Paysandú y Carrasco, considerando una ventana temporal de 55 años confirma las tendencias mencionadas (Figuras 6.14 y 6.15).

La frecuencia de precipitaciones intensas se ha incrementado en Uruguay, al menos desde la década de 1950. Desde entonces, por ejemplo, el número de casos registrados con precipitaciones superiores a los 25 mm en 24 horas ha aumentado tanto en Paysandú como en Carrasco (ver Figuras 6.16 y 6.17) y lo mismo ha ocurrido con las precipitaciones intensas en Argentina, si se consideran umbrales de 50, 100 o 150 mm en 48 horas (Barros 2004).

La mayor frecuencia de precipitaciones intensas ha sido observada también en el sur de Brasil donde la frecuencia de fuertes lluvias se ha incrementado significativamente (Xavier et al. 1992 y 1994), especialmente en verano. Esto parece formar parte de una tendencia global vinculada al aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero. Este aumento conduciría a un calentamiento en las capas bajas de la atmósfera favoreciendo el mayor contenido de vapor de agua y a un gradiente vertical más inestable como consecuencia del enfriamiento estratosférico. Ambos cambios, más inestabilidad vertical y mayor contenido de vapor de agua, tienden a facilitar el desarrollo de los procesos que generan precipitaciones intensas.

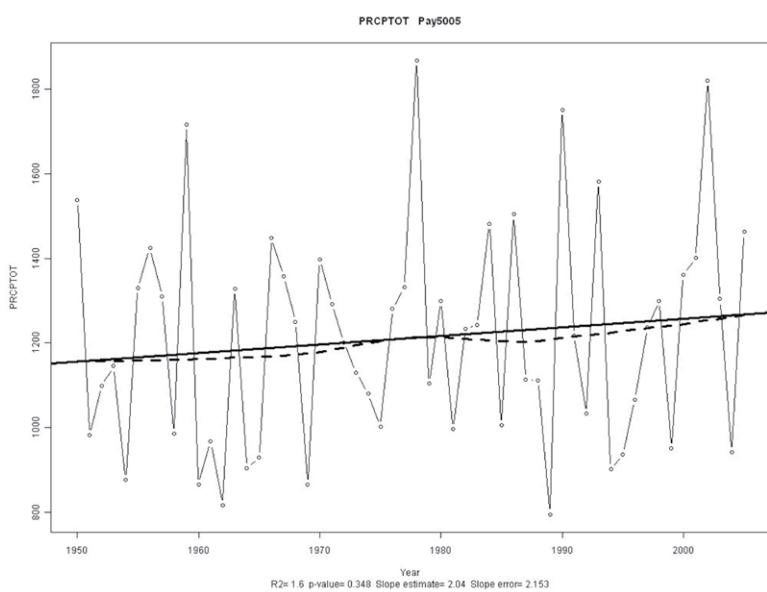


Figura 6.14. Precipitación acumulada anual (mm/año) en Paysandú (1950-2005).

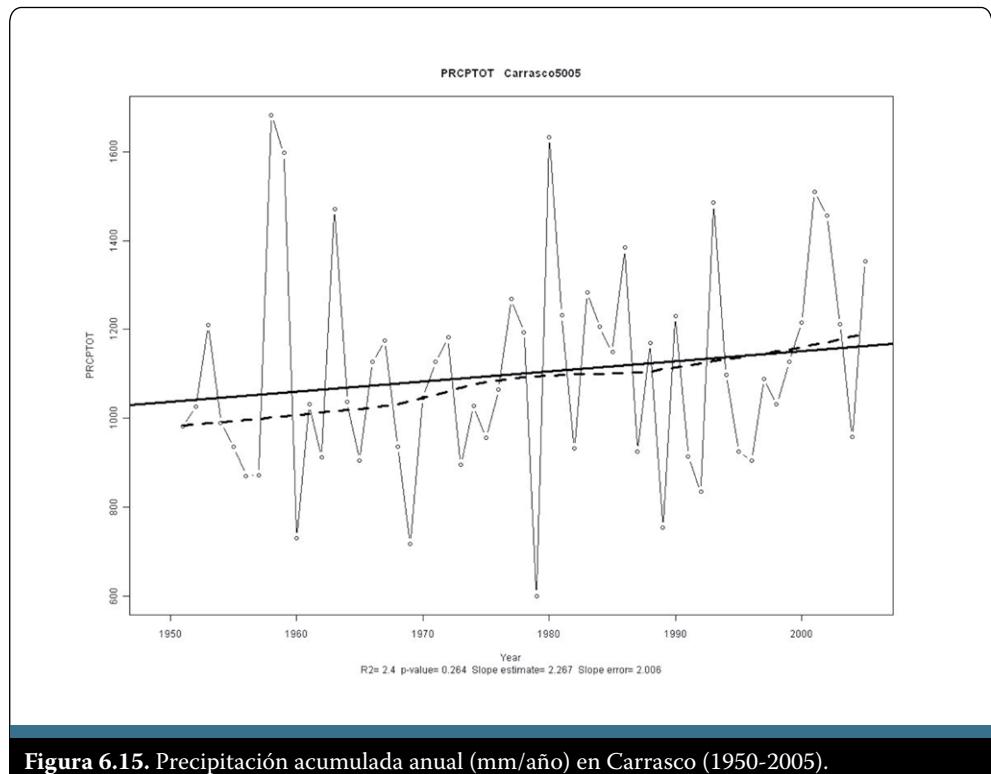


Figura 6.15. Precipitación acumulada anual (mm/año) en Carrasco (1950-2005).

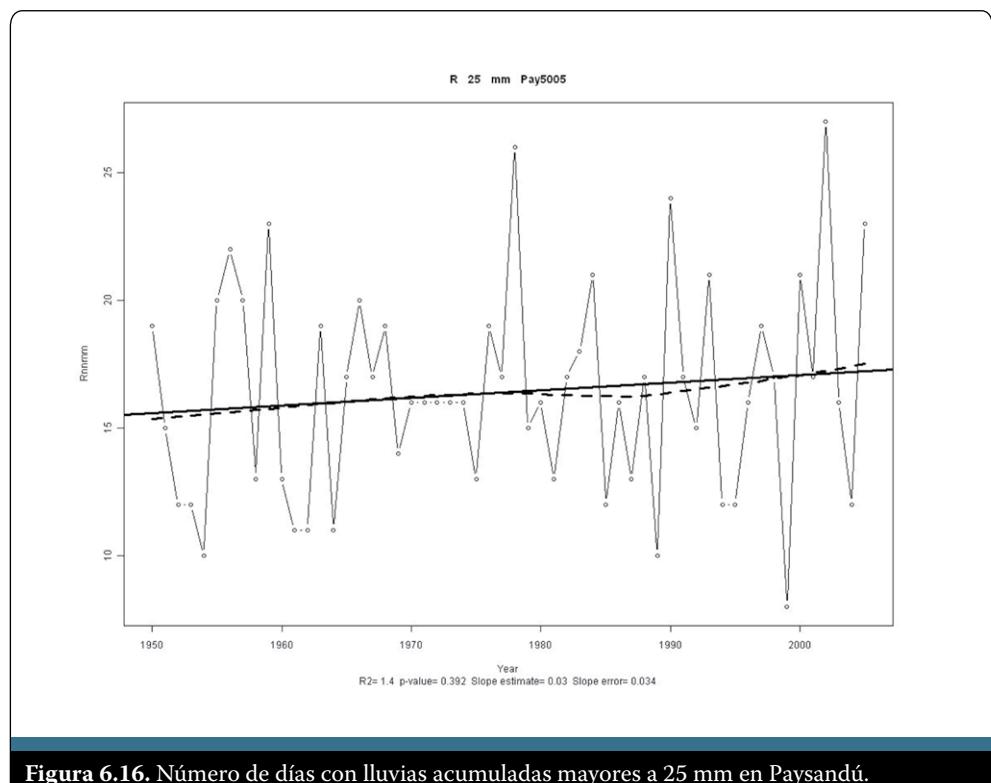


Figura 6.16. Número de días con lluvias acumuladas mayores a 25 mm en Paysandú.

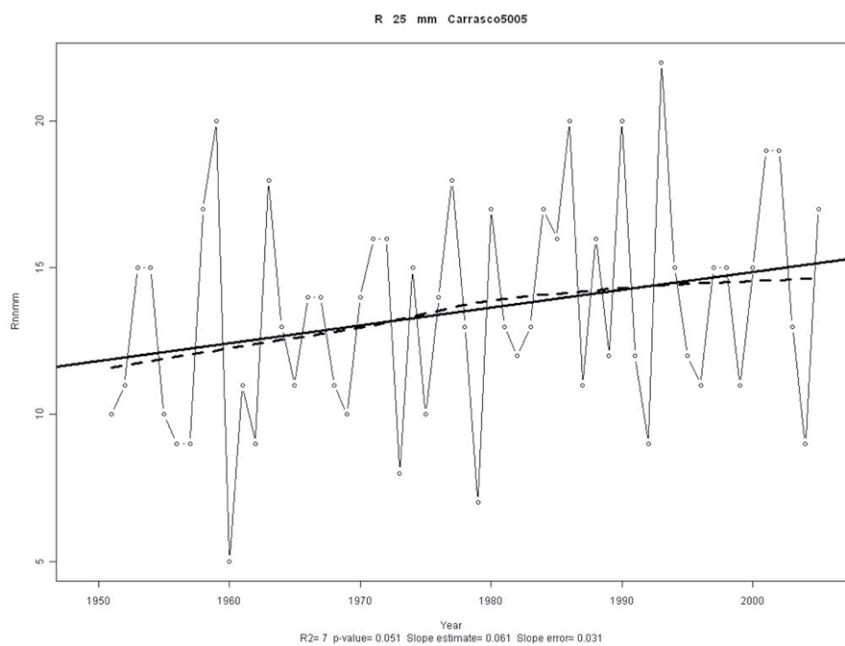


Figura 6.17. Número de días con lluvias acumuladas mayores a 25 mm en Carrasco.

La evolución de la temperatura anual en el periodo 1901 a 2000 muestra también una tendencia creciente sobre el periodo completo (ver Figura 6.18), configurando un crecimiento de las temperaturas medias anuales de aproximadamente 0.8° C durante el último siglo. Se observa que este incremento es sostenido desde finales de la década de 1970 hasta el presente, habiéndose registrado los máximos históricos durante los últimos cinco años.

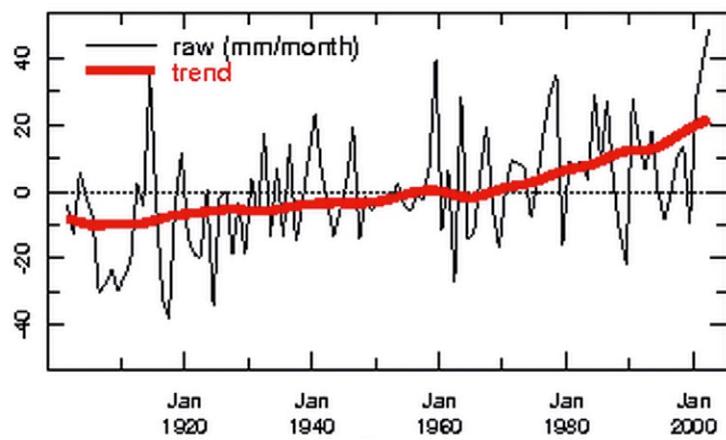


Figura 6.18. Evolución de las temperaturas anual entre 1901 y 2000 en el registro instrumental de Uruguay.



7

Avances en la descripción del clima reciente en el Uruguay para variables climáticas de interés agronómico

En este capítulo se profundiza en el análisis de aquellas variables climáticas asociadas a eventos que afectan los sistemas productivos considerados en esta evaluación. De acuerdo a los resultados del Capítulo 5, los eventos destacados por los expertos consultados fueron: sequía, déficit y exceso hídrico, heladas, inducción de frío y olas de calor. A diferencia de las tendencias generales del registro instrumental analizadas en el Capítulo 6, las cuales provienen de diversas investigaciones e informes técnicos previos, la información presentada a continuación ha sido calculada especialmente a los fines de este proyecto.

Se definieron ocho variables climáticas derivadas de las variables de base con el objetivo de profundizar en el estudio sobre variabilidad climática y de responder nuevas preguntas que surgen de los resultados de antecedentes locales o regionales. A partir de la información proporcionada por estos indicadores (variables climáticas derivadas) se pretende obtener información sobre diversos problemas asociados con el clima que repercuten en la producción ganadera, agrícola y de citrus.

La Tabla 7.1 muestra, para cada tipo de producción, el problema climático de interés y los indicadores utilizados para su estudio. Se indican también el o los períodos del año (estaciones) considerados para el cálculo de cada una de las variables derivadas. Es importante destacar que la elección de los indicadores y los períodos está fundamentada en el conocimiento de la variabilidad climática anual, los aportes de los expertos consultados y la opinión de los especialistas que participaron en el taller: *Avances en la descripción del clima en el Uruguay y su evolución esperable en el mediano y largo plazo*, que tuvo lugar en el mgap el 15 de diciembre de 2011.

Tabla 7.1. Para cada uno de los tres tipos de producción considerados se muestran el o los problemas climáticos, las variables asociadas y las estaciones del año consideradas. Las estaciones del año seleccionadas dependen fundamentalmente de los períodos de siembra y cosecha de cultivos tradicionales, así como de los ciclos de producción del campo natural y praderas artificiales.

Problema	Variable	Estación
Ganadería		
Seca	Precipitación acumulada	Octubre – Febrero, Enero – Mayo
	Evaporación Tanque A acumulada	
	Evapotranspiración Penman acumulada	
	Máximo déficit acumulado de precipitación	
Agricultura		
Seca	Ídem ganadería	
Déficit y exceso hídrico	Precipitación acumulada	Abril – Mayo, Octubre – Noviembre
Citrus		
Heladas	Días helada: Número de días con T min < 0°C	Junio – Agosto
Inducción de frío	Sumatoria de °C.días con base 7°C	
Olas de calor	Número total días con T Max.>T90	Diciembre – Febrero
	°C.días de racha máxima por encima de T90	
Déficit y exceso hídrico	Ídem agricultura	

7.1 APROXIMACIÓN METODOLÓGICA EN DETALLE

Variables analizadas

Para el cálculo de las nuevas variables se dispuso de datos de 11 estaciones meteorológicas de la red de la dnm y de cinco estaciones de la red del inia. La serie más antigua comienza en 1915 (La Estanzuela, inia) empezando las restantes series entre 1931 y 1986. La mayoría de las series se encuentra a frecuencia diaria aunque también se cuenta con series de la dnm a frecuencia mensual.

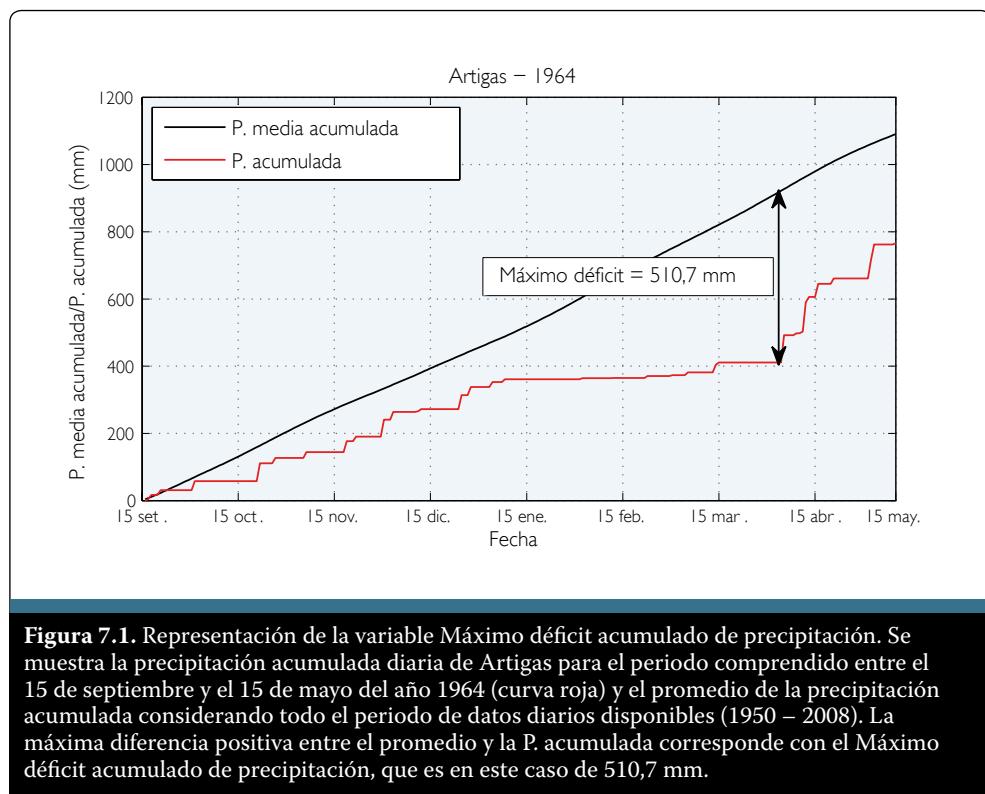
Las “variables de base” consideradas para calcular las variables de interés fueron cinco: Precipitación (diaria y mensual), Temperatura máxima (diaria), Temperatura mínima (diaria), además, en las estaciones de inia se cuenta con la Evaporación del Tanque A (diaria) y con el cálculo de la Evapotranspiración potencial según Penman-Monteith (diario). No todas las estaciones meteorológicas cuentan con todas las variables de base y dentro de cada localidad, el periodo de registro de las variables disponibles no es necesariamente el mismo.

Los nuevos indicadores se calcularon para cada año (en la estación o estaciones del año escogidas para su cálculo, ver Tabla 7.1). Para cada estación meteorológica, cada indicador y cada temporada, se obtuvo una serie de datos con un valor por año.

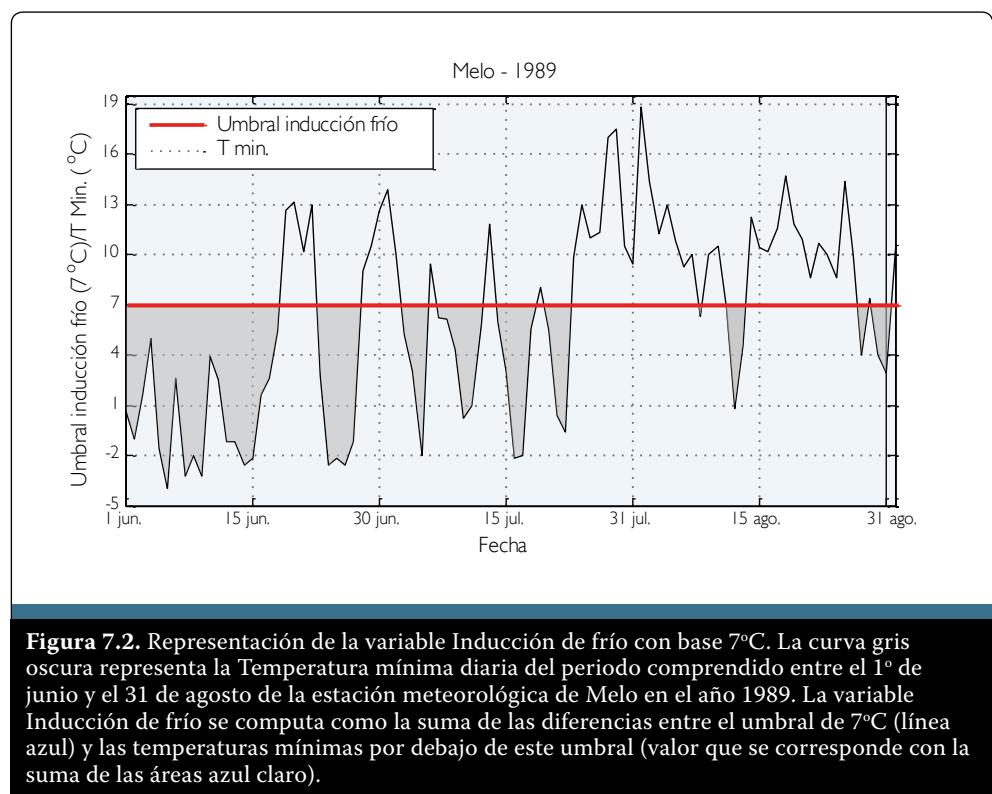
A continuación se presentan los indicadores analizados:

- **Precipitación acumulada:** es la suma de la precipitación mensual en el periodo. Se expresa en milímetros.
- **Evaporación Tanque A acumulada:** corresponde al acumulado de la evaporación diaria del Tanque A en el periodo. Se expresa en milímetros.
- **Evapotranspiración acumulada:** corresponde al acumulado de la evapotranspiración potencial Penman-Monteith diaria durante el periodo. Se expresa en milímetros.
- **Máximo déficit acumulado de precipitación:** dado un día de inicio del periodo a considerar (que se tomó el 15 de setiembre), el déficit acumulado de precipitación para un día determinado del periodo consiste en la diferencia entre el acumulado de lluvia desde el día inicial a dicho día y el acumulado climatológico (promedio de todos los años disponibles). La máxima diferencia positiva de toda la estación (que se tomó terminando el 15 de mayo) corresponderá con el máximo déficit acumulado de precipitación (ver Figura 7.1). La variable se expresa en milímetros.

Considerando la alta variabilidad de la precipitación y la limitada longitud del registro, la climatología de lluvia (de la cual se deduce la climatología acumulada) se calculó promediando no solo en todos los años sino también en un periodo de promedio de 31 días, centrado en el día en cuestión. La longitud escogida del periodo de promedio fue arbitraria pero resultó ser adecuada para suavizar la curva media de precipitación acumulada (ver Figura 7.1).



- **Días helada:** número total de días en el periodo considerado en donde la T min. es menor a 0°C. La variable se expresa en número de días.
- **Inducción de frío:** es el total de grados-día por debajo de 7°C en el periodo considerado; en otras palabras, es la suma de la diferencia de $7 - T$ min. para los días en que la diferencia es mayor que cero (ver Figura 7.2). Se mide en grados-días.
- **Número de días con T máxima por sobre T90 (NT90):** es el número de días dentro del periodo del año considerado en que la Temperatura máxima se encuentra por encima del percentil 90 datos (T90).



Se calculó el T90 para cada día del periodo, tomando en cuenta los días correlativos de todos los años con un periodo de promedio centrado de 11 días, incluyendo los cinco días anteriores y los cinco días posteriores al día en cuestión. La elección de un periodo de promedio más corto que el considerado para la precipitación se debe a la menor variabilidad de la temperatura a paso diario. De este modo se obtuvo un valor de T90 para cada día de la serie. La variable NT90 se calculó sumando, dentro de cada año, el número de días en la estación considerada que sobrepasa el valor de T90 correspondiente. Se cuantificó el número de días (ver Figura 7.3).

- **Total °C-día de racha máxima por sobre T90:** es el mayor valor de la suma de grados-día por sobre T90 de todos los periodos consecutivos con T máxima mayor a T90 (ver Figura 7.3). Se expresa como grados-días.

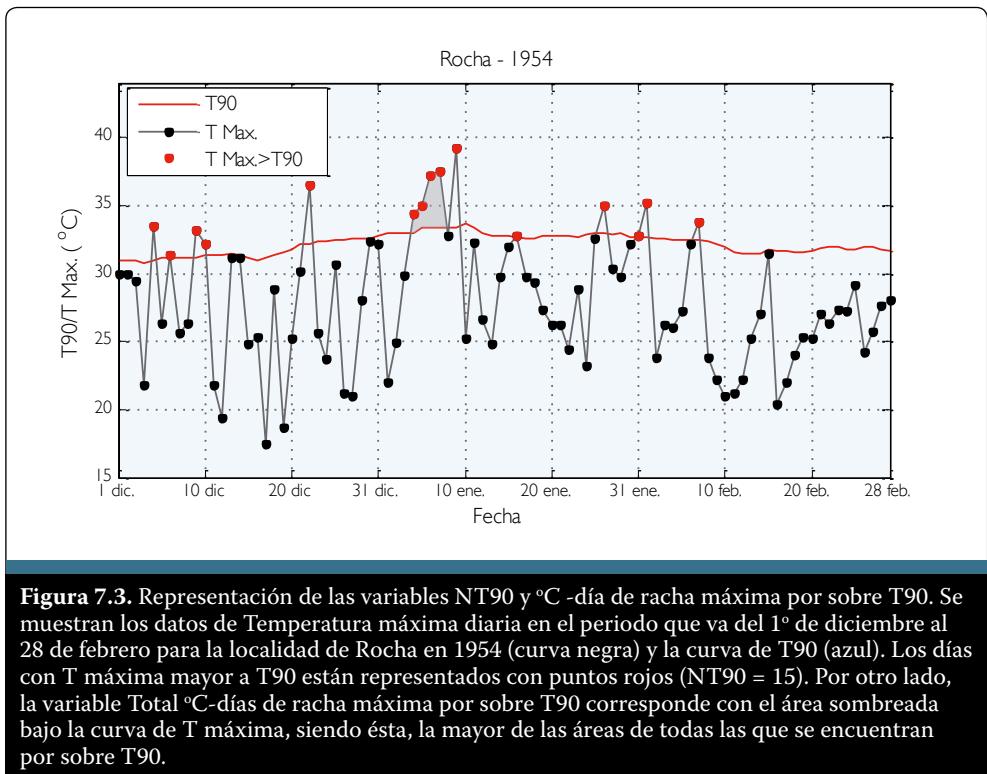


Figura 7.3. Representación de las variables NT90 y °C -día de racha máxima por sobre T90. Se muestran los datos de Temperatura máxima diaria en el periodo que va del 1º de diciembre al 28 de febrero para la localidad de Rocha en 1954 (curva negra) y la curva de T90 (azul). Los días con T máxima mayor a T90 están representados con puntos rojos (NT90 = 15). Por otro lado, la variable Total °C-días de racha máxima por sobre T90 corresponde con el área sombreada bajo la curva de T máxima, siendo ésta, la mayor de las áreas de todas las que se encuentran por sobre T90.

Disponibilidad de datos

Se detalla a continuación la disponibilidad de los datos diarios y mensuales de las variables de base. Las Tablas 7.2 y 7.3 muestran el periodo de registro de datos diarios de las variables climáticas a analizar para cada una de las estaciones meteorológicas disponibles. Se indica también el servicio que proporcionó los datos en cada caso (dnm o inia).

Tabla 7.2. Disponibilidad de datos diarios de precipitación y de temperatura máxima (Tmax) y mínima (Tmin).

Localidad	Precipitación acumulada (mm/día)		Tmax/Tmin (°C)		Origen
	Fecha inicio	Fecha fin	Fecha inicio	Fecha fin	
La Estanzuela-Colonia	1/01/1915	31/12/2011	1/01/1915	31/12/2011	INIA
Las Brujas- Canelones	1/07/1972	31/12/2011	1/07/1972	31/12/2011	INIA
Salto	1/07/1970	31/12/2011	1/07/1970	31/12/2011	INIA
Tacuarembó	1/02/1978	31/12/2011	1/10/1986	31/12/2008*	INIA
Treinta y Tres	1/08/1972	31/12/2011	1/05/1971	31/12/2011	INIA
Artigas	1/01/1950	31/12/2008	1/01/1950	31/12/2008	DNM
Melo	1/01/1950	31/12/2008	1/01/1960	31/12/2008	DNM
Mercedes	1/01/1950	31/12/2008	1/01/1950	31/12/2008	DNM
Paysandú	1/01/1950	31/12/2008	1/01/1950	31/12/2008	DNM
Rocha	1/01/1950	31/12/2008	1/01/1950	31/12/2008	DNM
Treinta y Tres	1/01/1970	31/12/2010	-	-	DNM

*Se consideraron los datos de las variables Tmax y Tmin hasta el año 2008 ya que se encontraron valores anómalos en éstas variables a partir del 2009 (ej: Tmax=320°C, Tmin=-14).

Tabla 7.3. Disponibilidad de datos diarios de Evaporación del Tanque A y de Evapotranspiración (Penman).

Localidad	Evaporación Tanque A (mm/día)		Evapotranspiración Penman (mm/día)		Origen
	Fecha inicio	Fecha fin	Fecha inicio	Fecha fin	
La Estanzuela- Colonia	1/07/1965	31/12/2011	1/07/1965	31/12/2011	INIA
Las Brujas- Canelones	1/07/1974	31/12/2011	1/07/1974	31/12/2011	INIA
Salto	1/07/1970	31/12/2011	1/07/1984	31/12/2011	INIA
Tacuarembó	1/12/1986	31/12/2011	1/12/1986	31/12/2011	INIA
Treinta y Tres	1/09/1972	31/12/2011	1/09/1972	31/12/2011	INIA

La Tabla 7.4 indica el periodo de registro de datos mensuales de precipitación proporcionados por la dnm para cada una de las estaciones meteorológicas disponibles.

Tabla 7.4. Disponibilidad de datos mensuales de Precipitación.

Localidad	Fecha inicio	Fecha fin	Origen
Artigas	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Colonia	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Melo	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Mercedes	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Paysandú	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Paso de los Toros	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Rivera	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Rocha	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Salto	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Treinta y Tres	Enero 1931	Diciembre 2010	DNM
Carrasco	Enero 1950	Diciembre 2010	DNM

Tratamiento de datos faltantes

Precipitación, Evaporación del Tanque A, Evapotranspiración de Penman, Días con helada, Inducción de frío: se exigió que el porcentaje de datos faltantes dentro de cada año no fuera mayor al 20%. Los años con más de 20% de datos faltantes se eliminaron de la serie. Los valores faltantes dentro de años con 20% o menos datos faltantes se sustituyeron con promedios históricos para la estación y el periodo, excepto para las variables Días con helada e Inducción de frío donde los valores faltantes se sustituyeron con el valor de 7°C, garantizando que el dato faltante no aporte a ninguno de los indicadores.

Máximo déficit acumulado de precipitación, Número de días con T máxima por sobre T90, Total °C-día de racha máxima por encima de T90: igual que para las demás variables, con la única diferencia de que se exige un porcentaje de datos faltantes no mayor al 10%. También se sustituyeron los valores faltantes de años con 10% o menos datos faltantes con el promedio histórico del periodo.

En las Tablas 7.5 a 7.9 se indican las series de datos disponibles de las variables derivadas descritas para las distintas estaciones meteorológicas y temporadas del año consideradas.

Tabla 7.5. Disponibilidad de datos de la variable Precipitación acumulada. Se indica separadamente la disponibilidad de datos de la variable para las estaciones del año que se encuentran al interior de un mismo año (enero-mayo, abril-mayo y octubre-noviembre) y las que comprenden dos años consecutivos (octubre-febrero).

Localidad	Periodo (Ene-May, Abr-May, Oct-Nov)	Total años	Años faltantes	Periodo (Oct-Feb)	Total años	Años faltantes	Frec. datos de origen
Artigas	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Colonia	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Melo	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Mercedes	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
P. de los Toros	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Paysandú	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Rivera	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Rocha	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Salto	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Treinta y Tres	1931-2010	80	0	1931-2009	79	0	Mensuales
Carrasco	1950-2010	61	0	1950-2009	60	0	Mensuales

Tabla 7.6. Disponibilidad de datos de la variable Evaporación del Tanque A acumulada y Evapotranspiración acumulada. Se muestran separadamente la disponibilidad de datos para las dos estaciones del año consideradas.

Localidad	Periodo (Ene-Mayo)	Total años*	Años faltantes	Periodo (Oct-Feb)	Total años*	Años faltantes	Frec. datos de origen
Evaporación del Tanque A							
La Estanzuela- Colonia	1966-2011	46	1	1965-2010	46	1	Diarios
Las Brujas- Canelones	1975-2011	37	0	1974-2010	37	0	Diarios
Salto	1971-2011	41	0	1970-2010	41	0	Diarios
Tacuarembó	1987-2011	25	0	1987-2010	24	0	Diarios
Treinta y Tres	1973-2011	39	1	1972-2010	39	1	Diarios
Evapotranspiración Penman							
La Estanzuela- Colonia	1966-2011	46	0	1965-2010	46	0	Diarios
Las Brujas- Canelones	1975-2011	37	0	1974-2010	37	0	Diarios
Salto	1985-2011	27	0	1984-2010	27	0	Diarios
Tacuarembó	1987-2011	25	0	1987-2010	24	0	Diarios
Treinta y Tres	1973-2011	39	1	1972-2010	39	1	Diarios

*Incluye faltantes

Tabla 7.7. Disponibilidad de datos de la variable Máximo déficit acumulado de precipitación (15 setiembre- 15 mayo).

Localidad	Periodo	Total años	Años faltantes*	Frec. datos de origen
La Estanzuela- Colonia	1915-2010	96	0	Precip. diaria
Las Brujas- Canelones	1972-2010	39	0	Precip. Diaria
Salto	1970-2010	41	0	Precip. Diaria
Tacuarembó	1978-2010	33	0	Precip. Diaria
Treinta y Tres	1970-2009	40	0	Precip. diaria DNM*
Artigas	1950-2007	58	0	Precip. Diaria
Melo	1950-2007	58	0	Precip. Diaria
Mercedes	1950-2007	58	0	Precip. Diaria
Paysandú	1950-2007	58	0	Precip. Diaria
Rocha	1950-2007	58	0	Precip. Diaria

*Se aclara la procedencia de estos datos (DNM) ya que para Treinta y Tres se cuenta con datos de precipitación diarios de la DNM y del INIA.

Tabla 7.8. Disponibilidad de datos de las variables Días con helada e Inducción de frío para la estación junio-agosto.

Localidad	Periodo	Total años	Años faltantes*	Frec. datos de origen
La Estanzuela- Colonia	1915-2011	97	0	T min. Diaria
Las Brujas- Canelones	1973-2011	39	0	T min. Diaria
Salto	1971-2011	41	0	T min. Diaria
Tacuarembó	1987-2008	22	0	T min. Diaria
Treinta y Tres	1971-2011	41	0	T min. Diaria
Artigas	1950-2008	59	14	T min. Diaria
Melo	1960-2008	49	7	T min. Diaria
Mercedes	1950-2008	59	0	T min. Diaria
Paysandú	1950-2008	59	0	T min. Diaria
Rocha	1950-2008	59	0	T min. Diaria

*Incluye faltantes

Tabla 7.9. Disponibilidad de datos de las variables Número de días con T máxima por sobre T90 y Total °C-día de racha máxima por encima de T90 para la estación diciembre-febrero.

Localidad	Periodo	Total años*	Años faltantes	Frec. datos de origen
La Estanzuela- Colonia	1915-2010	96	0	T max. Diaria
Las Brujas- Canelones	1972-2010	39	0	T max. Diaria
Salto	1970-2010	41	0	T max. Diaria
Tacuarembó	1986-2007	22	0	T max. Diaria
Treinta y Tres	1971-2010	40	0	T max. Diaria
Artigas	1950-2007	58	14	T max. Diaria
Melo	1960-2007	48	13	T max. Diaria
Mercedes	1950-2007	58	0	T max. Diaria
Paysandú	1950-2007	58	0	T max. Diaria
Rocha	1952-2007	56	3	T max. Diaria

*Incluye faltantes

Análisis considerados para el estudio de las series climáticas

Con el fin de separar y cuantificar el componente asociado al calentamiento global de las series climáticas, se calculó el porcentaje de varianza explicada por las variables proyectadas sobre el calentamiento medio del globo. Se tomó como serie de calentamiento medio del globo al promedio suavizado de temperatura media del mar de un conjunto de simulaciones con numerosos modelos climáticos forzados con forzantes observados durante el pasado, fundamentalmente Gases de Efecto Invernadero (gei) (Fig. 7.4).

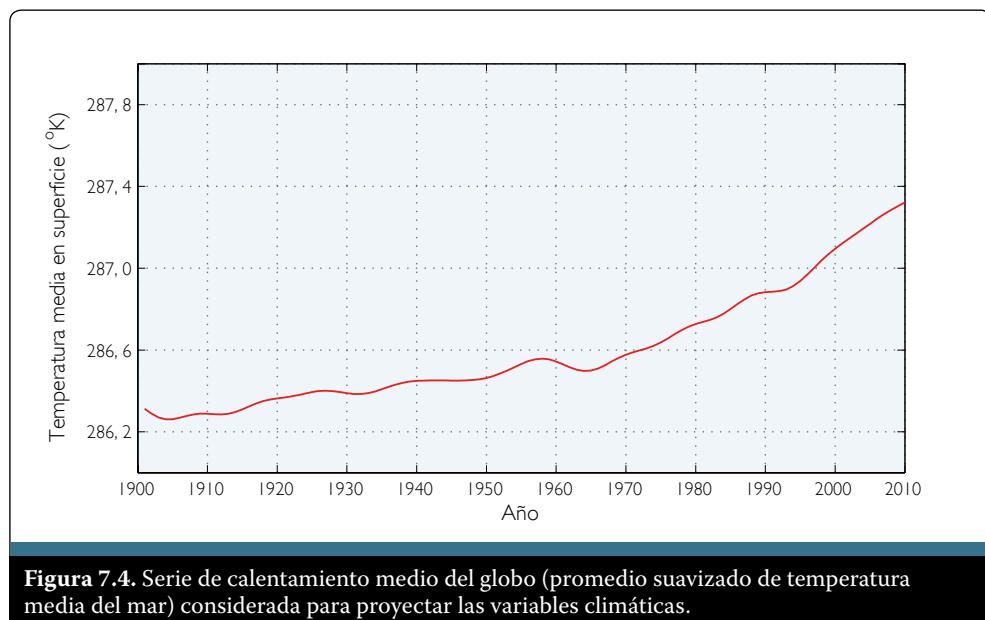


Figura 7.4. Serie de calentamiento medio del globo (promedio suavizado de temperatura media del mar) considerada para proyectar las variables climáticas.

Salidas gráficas

Se utilizó el test de Kendall-Mann para estudiar las tendencias de las series climáticas. Este es un test no paramétrico de análisis de tendencias que evalúa si una serie de datos es creciente o decreciente y qué tan significativa es la tendencia observada. La significación del test va de -100 (máxima tendencia negativa) a 100 (máxima tendencia positiva). Finalmente, para cada una de las series climáticas se realizó un ajuste lineal y se retuvo el coeficiente de ajuste (tasa de cambio según tendencia lineal).

En el caso de las estaciones meteorológicas que mostraron las tendencias de Kendall-Mann más significativas, es decir máximas positiva y negativa, se presentan las salidas gráficas de las series climáticas brutas y del componente proyectado sobre el calentamiento medio del globo. En tanto, se muestran las salidas gráficas de todas las localidades para la variable Máximo déficit acumulado de precipitación.

Se graficaron desviaciones “estándar móviles” para visualizar la tendencia de variabilidad interanual de las distintas variables climáticas representadas y estaciones meteorológicas. El periodo considerando para calcular las desviaciones fue de siete años, elección que tiene por objetivo incluir las frecuencias típicas del fenómeno de enos.

7.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SERIES

Para cada una de las variables climáticas se muestran, reunidos en una tabla, los resultados del porcentaje de varianza del componente proyectado sobre el calentamiento medio del globo (Var), el nivel de significación del test de Kendall-Mann (Sig. Kendall-Mann) y el coeficiente de ajuste lineal (Coef. L.) de todas las estaciones meteorológicas disponibles.

Con el fin de agilizar la lectura de las tablas, se indican en azul y rojo oscuro las localidades con tendencias de Kendall-Mann significativas (valores ≤ -90 o ≥ 90) y en azul y rojo claro los valores no significativos. En negrita se indican las localidades con máxima tendencia positiva (creciente) y máxima tendencia negativa (decreciente). Las tonalidades de azul refieren a tendencias hacia condiciones más húmedas y frías (ej. tendencias negativas de Déficit y de NT90, tendencias positivas de Precipitación y de Días con helada) mientras que las tonalidades de rojo refieren a tendencias hacia condiciones más secas y cálidas (ej. tendencias positivas de Déficit y de NT90, tendencias negativas de Precipitación y de Días con helada). A continuación de cada tabla, se presentan para las localidades con máxima tendencia positiva y máxima tendencia negativa según el test de Kendall-Mann, las figuras descritas como *salidas gráficas*.

Precipitación acumulada

Octubre - febrero

Se observan tendencias positivas de Precipitación acumulada para el periodo de primavera-verano en todas las estaciones meteorológicas, siendo la mayoría de las tendencias significativas según el test de Kendall-Mann (Tabla 7.10).

Tabla 7.10. Resultados para la variable Precipitación acumulada (periodo octubre – febrero).

	Art.	Salto	Rivera	Pays.	Melo	P.de T.	Merc	TyT	Col.	Roc.	Car.
VAR (%)	4,40	8,00	1,50	5,60	14,60	7,60	17,80	10,60	12,50	19,40	4,50
SIG. KENDALL	74,17	94,80	68,80	92,11	100,00	99,35	100,00	99,99	99,91	100,00	91,95
COEF L. (mm/año)	2,32	2,98	1,89	2,16	3,62	2,77	4,24	3,70	2,80	2,99	1,84

Las mayores tendencias positivas se observaron en Melo, Mercedes y Rocha, mientras que la menor tendencia positiva (ausencia de tendencias negativas) se documentó en Rivera (Tabla 7.10, Figura 7.5). Las localidades con máximas tendencias crecientes presentaron porcentajes relativamente altos de varianza explicados por el componente proyectado sobre el calentamiento medio del globo (entre ≈ 15 y 20%) y altos coeficientes de ajuste lineal (entre ≈ 3 y 4 mm/año), aunque esto también se cumple para otras localidades (Tabla 7.10). Para el caso de Mercedes (localidad con el coeficiente más alto) el ajuste lineal habla de un aumento promedio de precipitación acumulada de 4,24 mm por año, al considerar el periodo octubre–febrero (Tabla 7.10). Tanto en Mercedes como en Rivera parece observarse una tendencia de aumento de la variabilidad (desviación estándar) interanual (Figura 7.5).

Enero – mayo

Al igual para el periodo de primavera–verano, en el periodo de verano–otoño se observan tendencias positivas en todas las estaciones meteorológicas aunque hay menos localidades con tendencias significativas (Tabla 7.11).

Tabla 7.11. Resultados para la variable Precipitación acumulada (periodo enero – mayo).

	Art.	Salto	Rivera	Pays.	Melo	P. de T.	Merc	TyT	Col.	Roc.	Car.
VAR (%)	0,80	1,90	1,60	3,60	12,00	3,30	9,20	9,70	6,30	19,00	5,40
SIG. KENDALL	53,54	69,72	97,65	81,10	99,67	87,17	99,92	98,90	97,96	99,98	86,45
COEF. L. (mm/año)	1,30	1,27	1,91	1,33	2,50	1,80	2,98	2,67	1,76	2,73	2,03

La máxima tendencia positiva se registró en Rocha, localidad que contó con un alto porcentaje de varianza explicada por el componente proyectado sobre el calentamiento medio del globo ($\approx 20\%$) y uno de los más altos coeficientes de tendencia lineal ($\approx 3 \text{ mm/año}$). La menor tendencia positiva se documentó en Artigas, lugar en el que se observó además, una tendencia de aumento de la variabilidad interanual (Tabla 7.11, Figura 7.6).

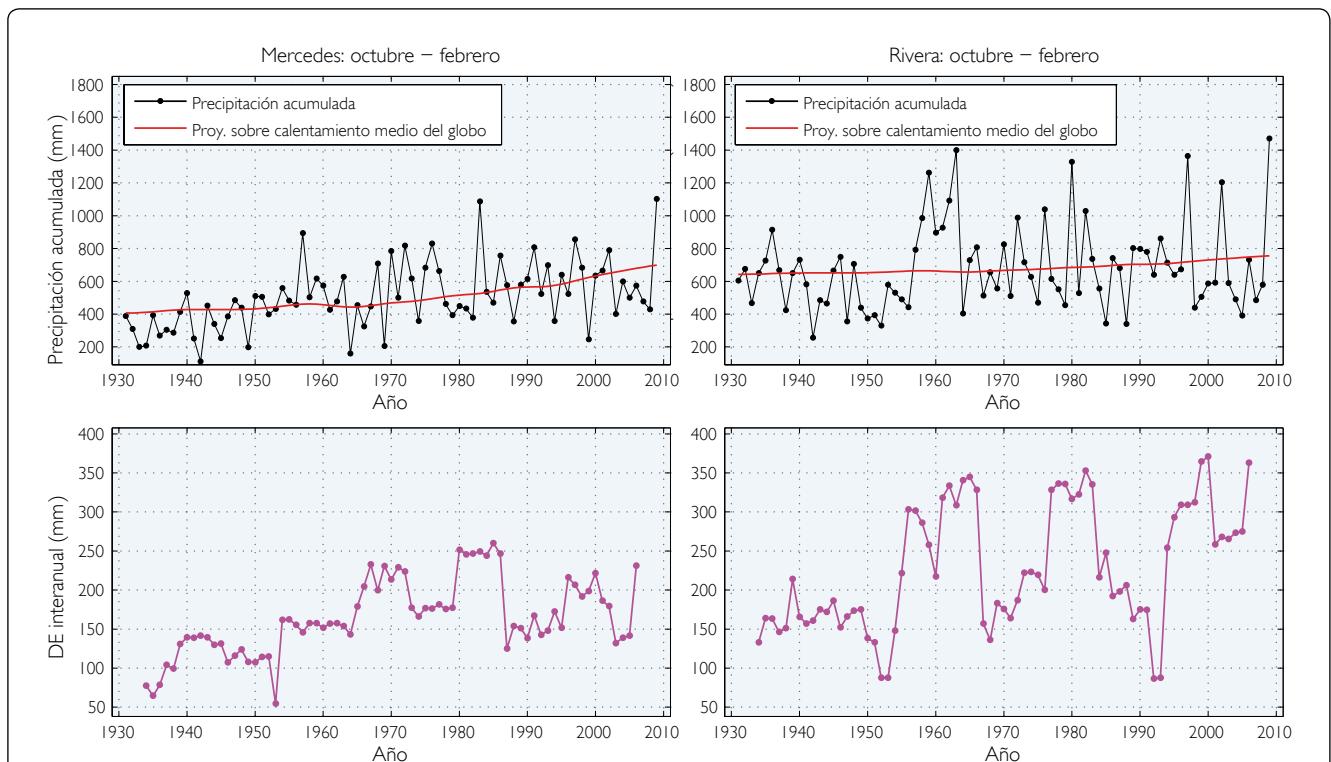


Figura 7.5. Series de Precipitación acumulada, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual (variabilidad interanual) para el periodo de octubre -febrero en las localidades de Mercedes y Rivera.

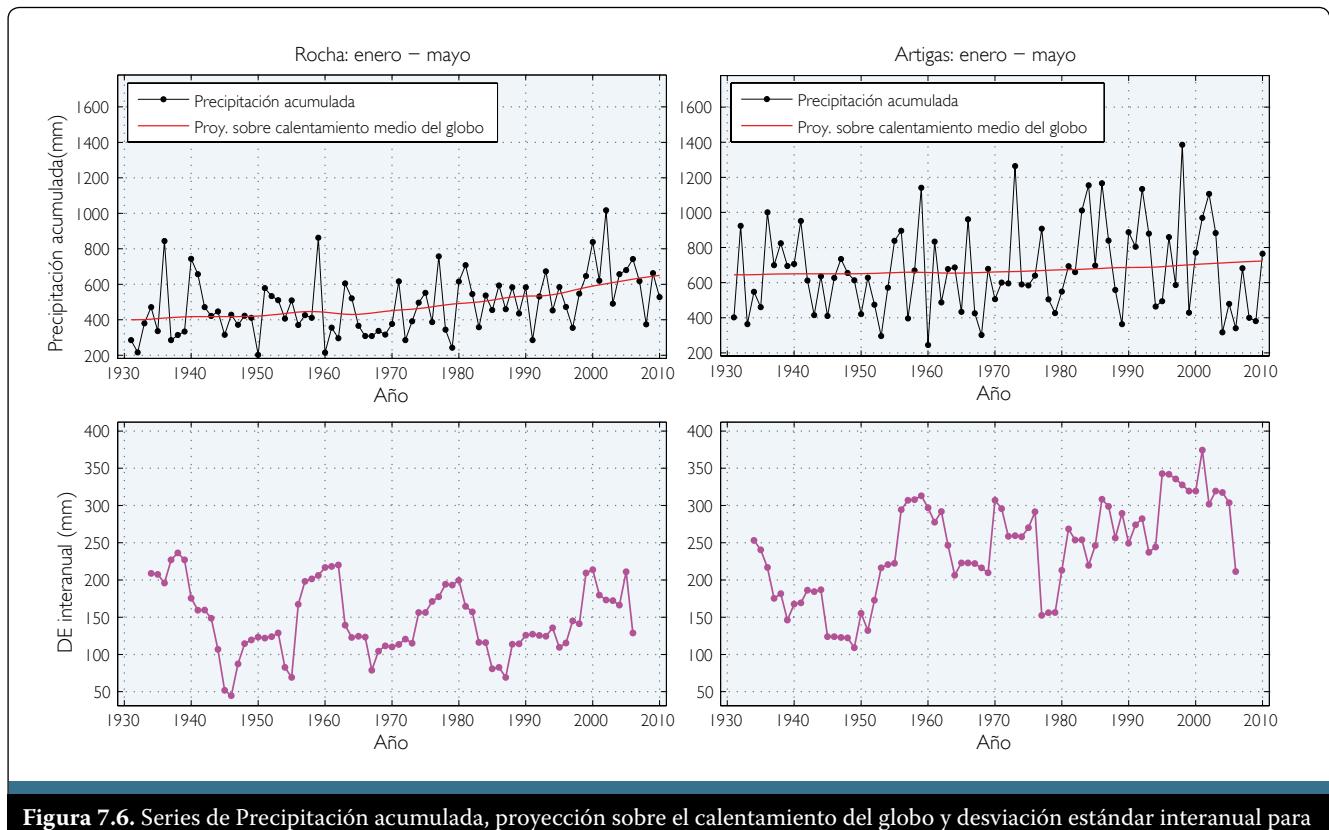


Figura 7.6. Series de Precipitación acumulada, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo enero-mayo en las localidades de Rocha y Artigas.

Abril – mayo

En el periodo abril–mayo se mantiene el patrón de tendencias positivas de Precipitación acumulada en todas las localidades, pero al igual que para enero–mayo, con menor número de tendencias significativas si se compara con el periodo octubre–febrero. (Tabla 7.12).

La máxima tendencia positiva se registró en Melo mientras que la menor tendencia se observó en Colonia. En Melo además se observa una tendencia creciente en la variabilidad interanual a partir de la década de 1960 (Figura 7.7). A diferencia de los periodos de primavera-verano y verano-otoño, se registran asociadas a las localidades con mayores tendencias significativas, valores relativamente bajos de porcentaje de varianza explicada y del coeficiente de ajuste lineal (Tabla 7.12).

Tabla 7.12. Resultados para la variable Precipitación acumulada (periodo abril – mayo).

	Art.	Salto	Rivera	Pays.	Melo	P. de T.	Merc	TyT	Col.	Roc.	Car.
VAR (%)	0,40	0,90	0,90	3,30	7,40	2,20	2,30	5,20	0,10	3,90	1,70
SIG. KENDALL	60,30	86,40	97,90	85,30	98,50	88,80	94,20	94,10	15,80	98,49	90,80
COEF. L. (mm/año)	0,35	0,70	0,72	0,91	1,37	0,95	0,90	1,06	0,24	0,94	1,07

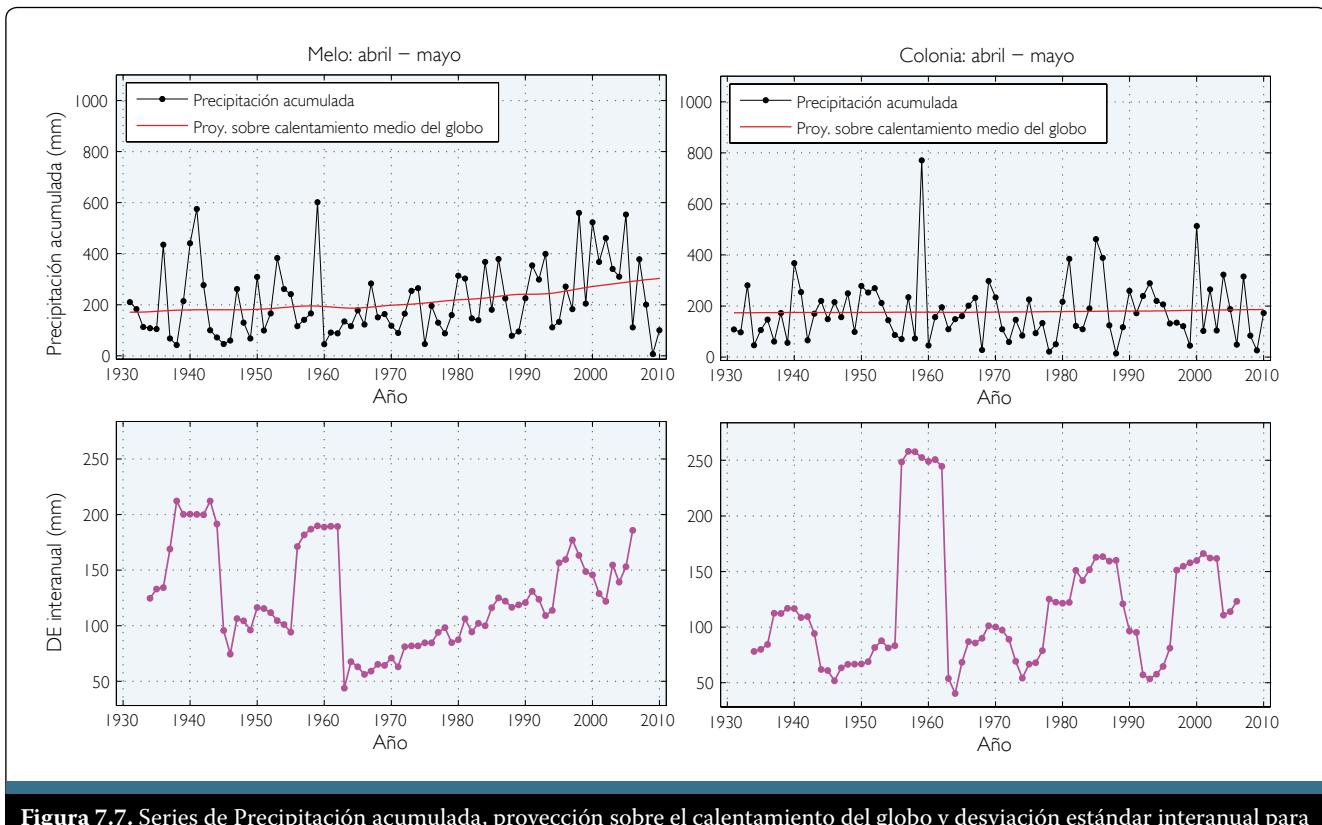


Figura 7.7. Series de Precipitación acumulada, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo abril-mayo en las localidades de Melo y Colonia.

Octubre – noviembre

De manera similar que para el periodo de octubre-febrero, se observan tendencias positivas significativas para la mayoría de las localidades. Sin embargo, en comparación al periodo de primavera-verano, se registran, asociadas a las localidades con mayores tendencias significativas, porcentajes relativamente bajos de varianza explicada y menores coeficientes de ajuste lineal (Tabla 7.13).

Tabla 7.13. Resultados para la variable Precipitación acumulada (periodo octubre – noviembre).

	Art.	Salto	Rivera	Pays.	Melo	P. de T.	Merc	TyT	Col.	Roc.	Car.
VAR (%)	2,80	7,20	0,40	2,70	8,20	3,30	5,90	4,00	1,40	9,60	3,00
SIG. KENDALL	66,30	97,20	40,00	92,00	96,40	94,20	99,20	98,20	89,00	99,80	94,10
COEF. L. (mm/año)	0,85	1,44	0,53	0,93	1,30	1,00	1,21	1,07	0,82	1,21	1,39

La tendencia creciente más importante se registró en Rocha mientras que la menor tendencia creciente se observó en Rivera (Figura 7.8).

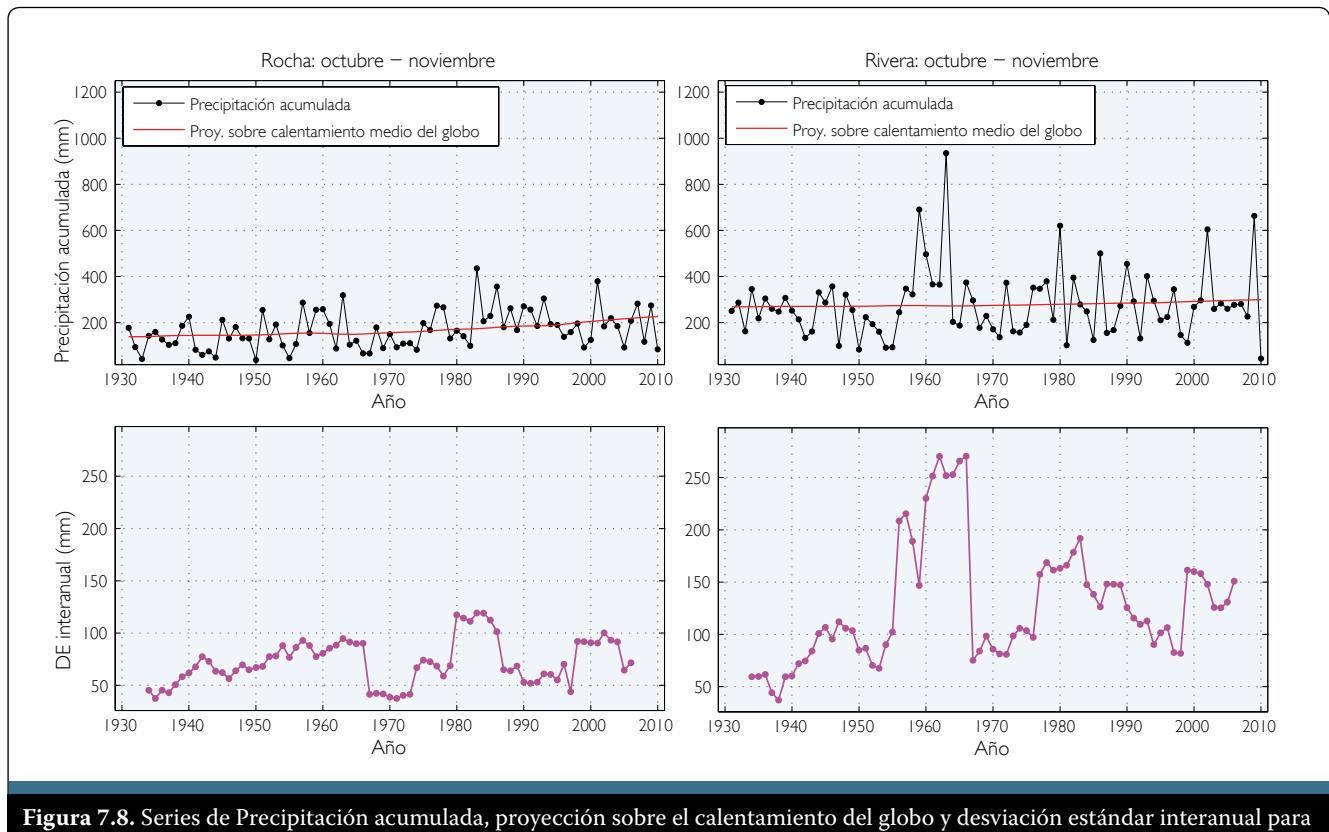


Figura 7.8. Series de Precipitación acumulada, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo octubre-noviembre en las localidades de Rocha y Rivera.

Evaporación Tanque A acumulada

Octubre – febrero

A diferencia de lo que ocurre con la variable Precipitación acumulada, las series de Evaporación del Tanque A muestran una importante heterogeneidad espacial si se considera el periodo de primavera-verano, observándose tendencias positivas en localidades del norte y este y negativas en localidades del sur y oeste del país (Tabla 7.14). Se registraron tendencias positivas de evaporación para las localidades de Salto, Tacuarembó y Treinta y Tres, siendo esta última significativa. La localidad de Las Brujas, ubicada en Canelones, presentó una tendencia negativa significativa asociada a valores elevados de varianza explicada ($\approx 20\%$) y de tasa de cambio según la tendencia lineal ($\approx 5 \text{ mm/año}$) (Tabla 7.14 y Figura 7.9).

Tabla 7.14. Resultados para la variable Evaporación Tanque A acumulada (periodo octubre – febrero).

	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	0,40	19,80	0,40	1,90	11,50
SIG. KENDALL	-18,56	-99,86	60,67	57,27	99,68
COEF. L. mm/año)	0,40	-4,76	0,82	1,24	3,95

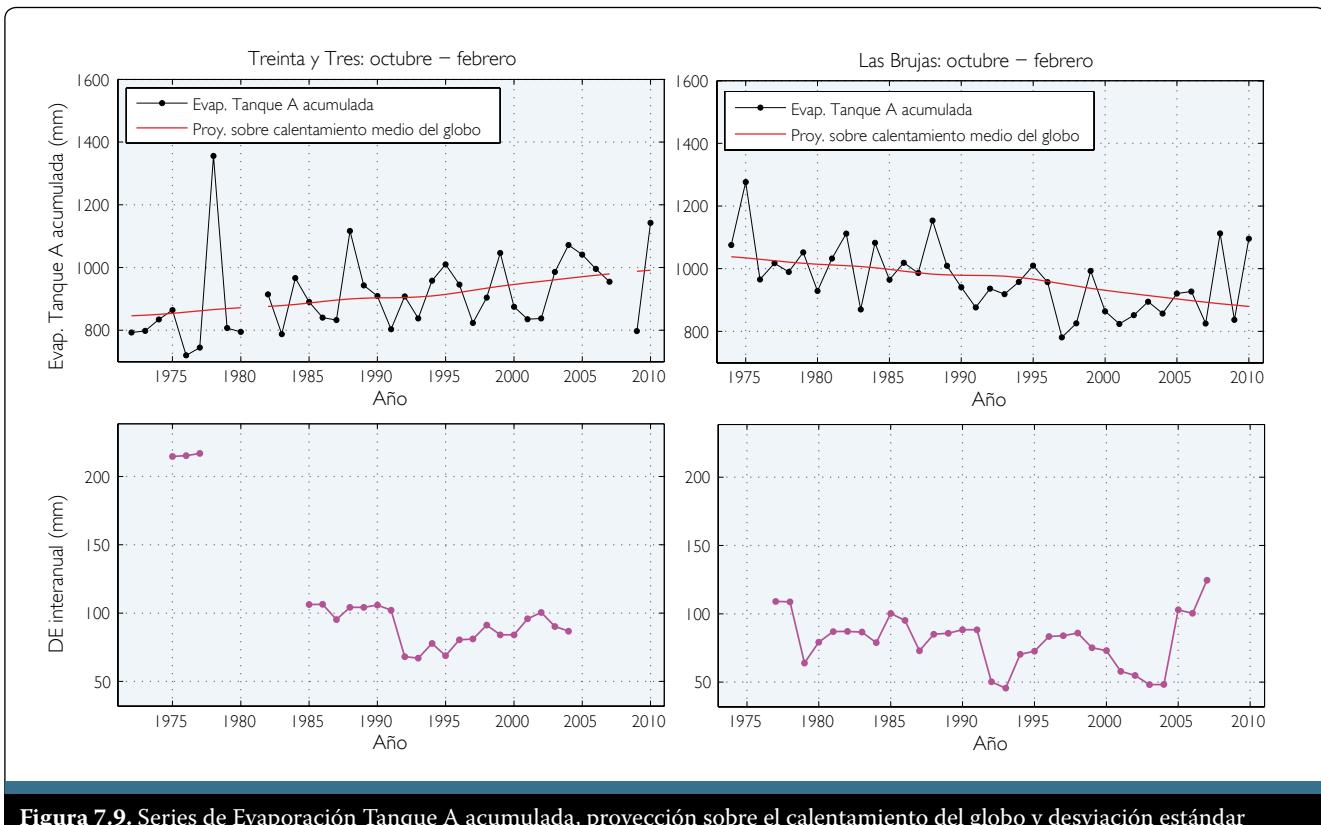


Figura 7.9. Series de Evaporación Tanque A acumulada, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo octubre-febrero en las localidades de Treinta y Tres y Las Brujas.

Enero-mayo

Para el periodo enero-mayo se observa el mismo patrón que para el periodo octubre-febrero (Tabla 7.15). Treinta y Tres y Las Brujas (Canelones) son otra vez las localidades con mayor tendencia positiva y negativa respectivamente (Figura 7.10).

Tabla 7.15. Resultados para la variable Evaporación Tanque A acumulada (periodo enero-mayo).

	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	1,20	13,10	2,00	0,20	3,10
SIG. KENDALL	-9,35	-98,39	77,49	36,00	98,01
COEF. L.(mm/año)	0,73	-3,06	1,30	0,07	2,21

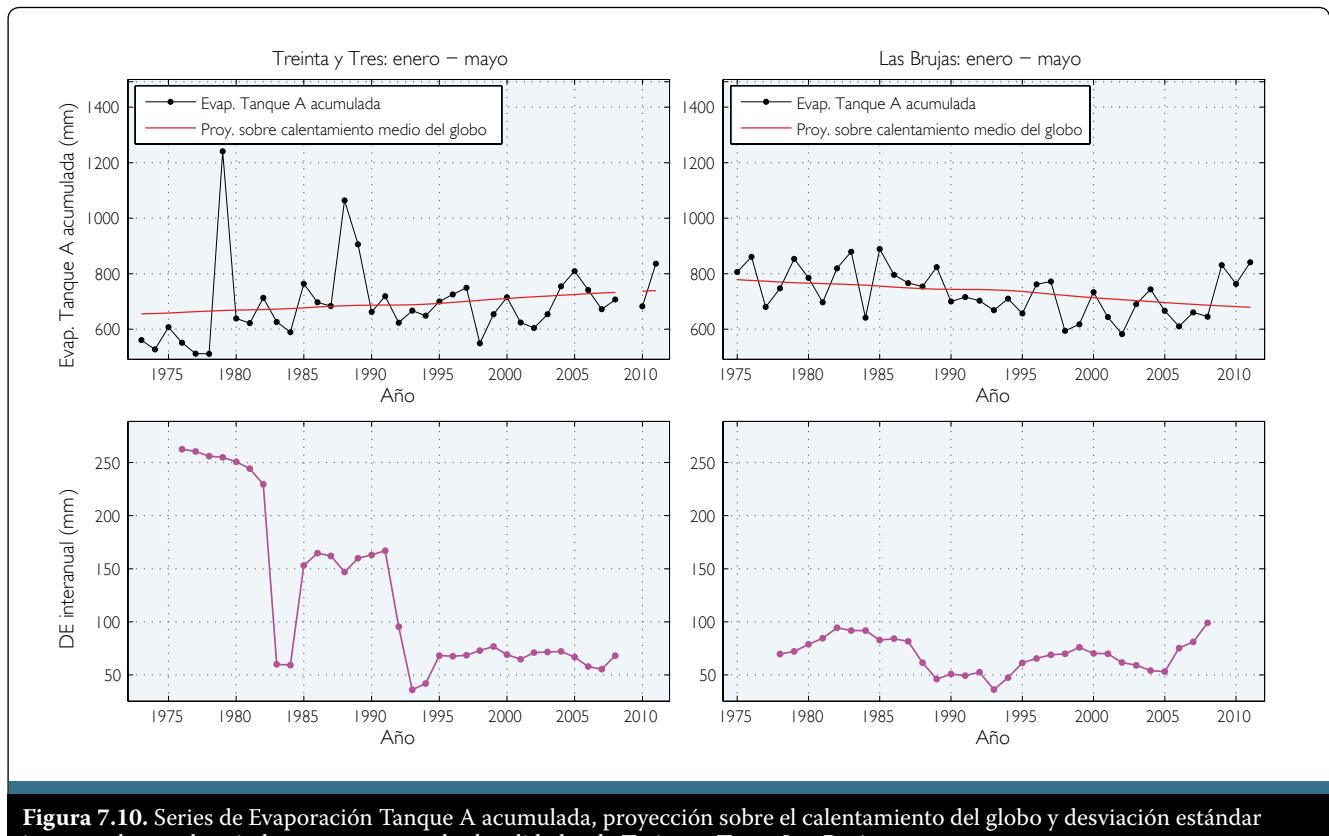


Figura 7.10. Series de Evaporación Tanque A acumulada, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo enero-mayo en las localidades de Treinta y Tres y Las Brujas.

Evapotranspiración acumulada

Octubre – febrero

Se aprecian ciertas diferencias con el patrón observado para la variable Evaporación del Tanque A, encontrándose mayormente estaciones meteorológicas con tendencias negativas. Las estaciones con mayores tendencias positivas y negativas son las mismas que para el indicador de evaporación (Treinta y Tres y Las Brujas, Canelones, respectivamente). La estación de Las Brujas presenta un alto porcentaje de varianza explicada por el componente proyectado sobre el calentamiento medio del globo y un elevado coeficiente de ajuste lineal (lo que también se cumple para Tacuarembó) (Tabla 7.16, Figura 7.11). Para la localidad de Treinta y Tres se observa una tendencia creciente en la variabilidad interanual en la última década (Figura 7.11).

Tabla 7.16. Resultados para la variable Evapotranspiración acumulada (periodo octubre – febrero).

	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	10,40	35,50	6,20	28,00	5,30
SIG. KENDALL	-97,20	-99,96	-63,00	-97,44	90,32
COEF. L. (mm/año)	-1,42	-3,72	0,06	-5,70	1,48

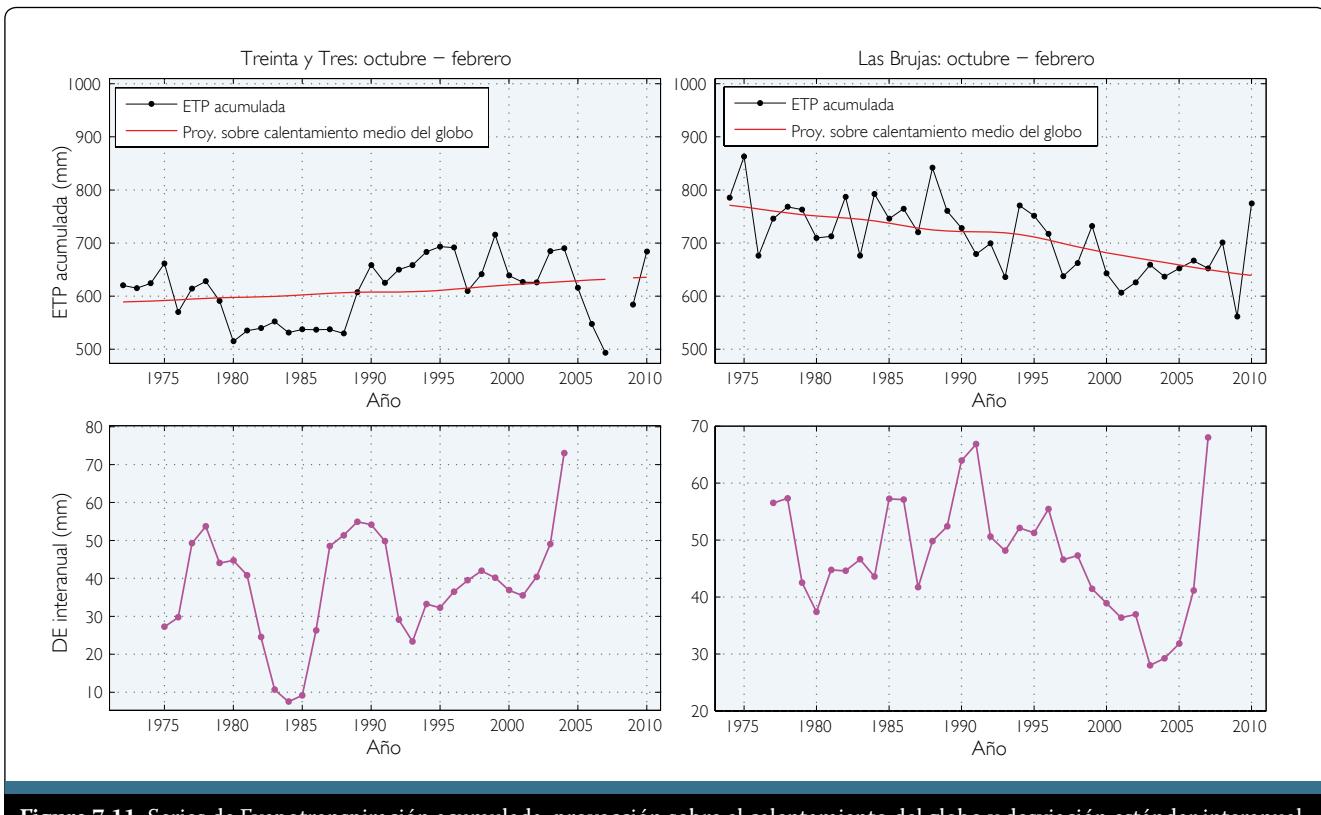


Figura 7.11. Series de Evapotranspiración acumulada, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo octubre-febrero en las localidades de Treinta y Tres y Las Brujas, Canelones.

Enero-mayo

Se registran tendencias similares, aunque con alguna diferencia a las encontradas para el periodo octubre-febrero. Otra vez, la localidad con mayor tendencia creciente es Treinta y Tres y con mayor tendencia decreciente, Las Brujas, Canelones (Tabla 7.17, Figura 7.12). En ambas estaciones meteorológicas se registran altos porcentajes de varianza explicada ($\approx 37\%$) y coeficientes de ajuste lineal (Tabla 7.17).

Tabla 7.17. Resultados para la variable Evapotranspiración acumulada (periodo enero – mayo).

	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	13,00	36,90	0,40	8,30	37,00
SIG. KENDALL	-98,72	-99,98	-27,70	67,34	99,89
COEF. L. (mm/año)	-1,23	-2,92	0,17	1,70	3,15

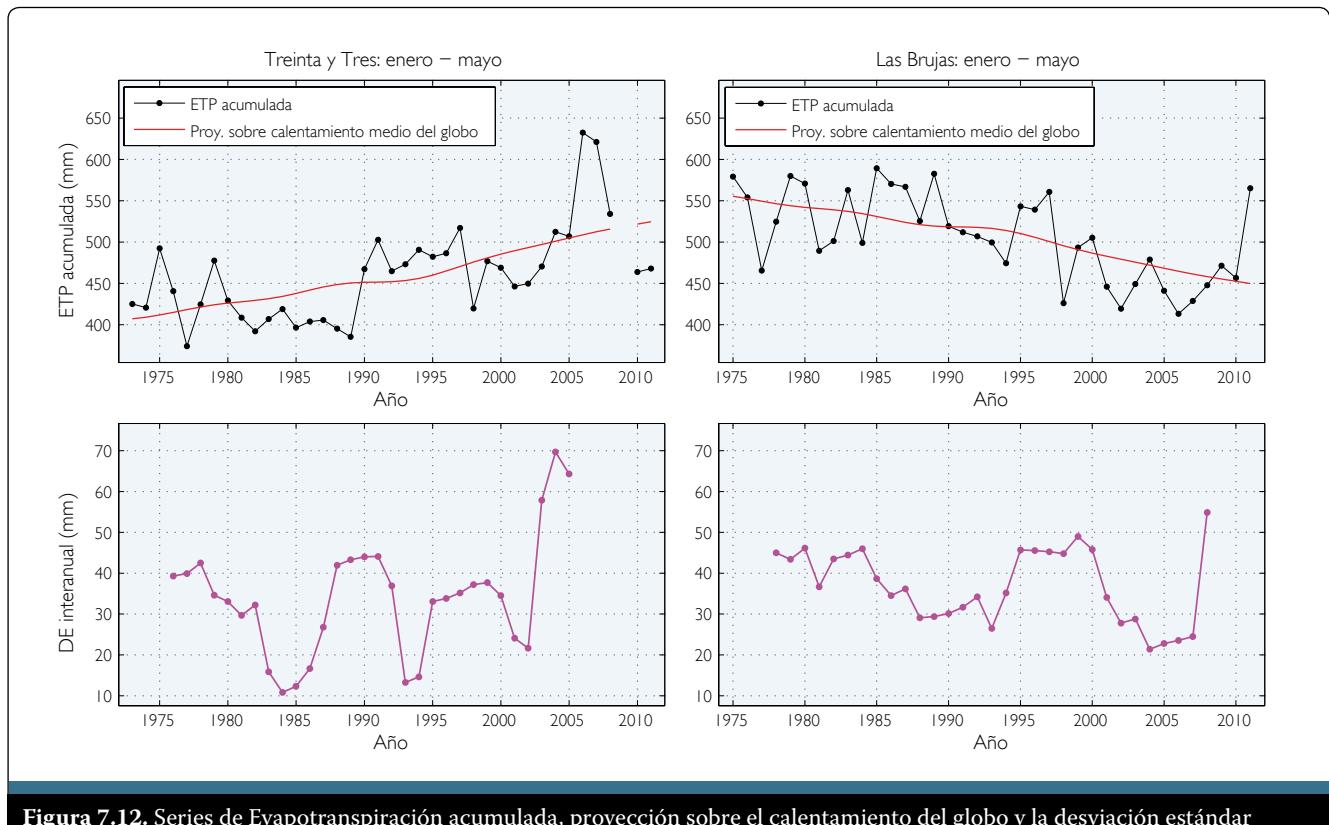


Figura 7.12. Series de Evapotranspiración acumulada, proyección sobre el calentamiento del globo y la desviación estándar interanual para el periodo enero-mayo en las localidades de Treinta y Tres y Las Brujas, Canelones.

Máximo déficit acumulado de precipitación

15 de setiembre-15 de mayo

No se observan tendencias significativas generalizadas para el Máximo déficit de precipitación acumulado, aunque predominan las tendencias decrecientes. La mayor tendencia decreciente según el test de Kendall-Mann fue registrada en Melo mientras que la mayor tendencia positiva se observó en Tacuarembó (Tabla 7.18, Figura 7.13). Es interesante señalar que algunas localidades con tendencias decrecientes en el déficit, registran una considerable variabilidad en los últimos años presentando altos valores del déficit. Esto se constata para la serie con la mayor tendencia decreciente (Melo, Figura 7.13) pero también para otras estaciones como La Estanzuela, Colonia (Figura 7.14). Con la excepción de Tacuarembó (localidad con la máxima tendencia positiva), los porcentajes de varianza explicados por el componente proyectado sobre el calentamiento medio del globo, así como el coeficiente de ajuste lineal, resultaron ser bastante bajos. En relación a la variabilidad interanual, en algunas localidades se observa un aumento de esta variabilidad en los últimos años, patrón que se encuentra asociado a series con tendencias de déficit creciente (ej. Tacuarembó, Figura 7.13; Salto, Figura 7.16).

Tabla 7.18. Resultados para el Máximo déficit acumulado de precipitación (periodo 15 setiembre-15 de mayo).

	Art.	Melo	Merc.	Pays.	Rocha	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	0,20	5,00	1,60	0,60	7,20	1,20	1,20	2,30	18,40	0,00
SIG. KENDALL	-19,09	-93,49	-70,78	-70,15	-90,78	-92,05	-14,40	33,05	94,13	-23,81
COEF. L. (mm/año)	-0,90	-1,74	-0,78	-0,72	-1,21	-0,60	0,78	1,68	6,14	-0,16

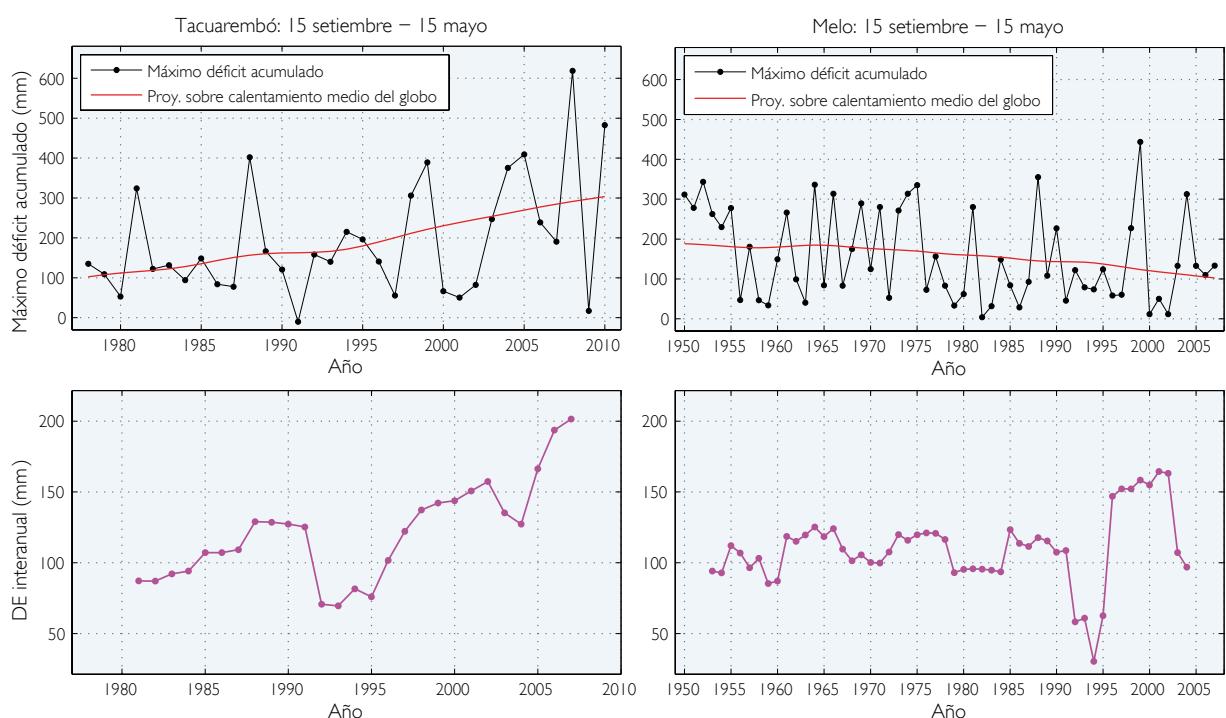


Figura 7.13. Series del Máximo déficit acumulado de precipitación, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo 15 de setiembre-15 de mayo en las localidades de Tacuarembó y Melo.

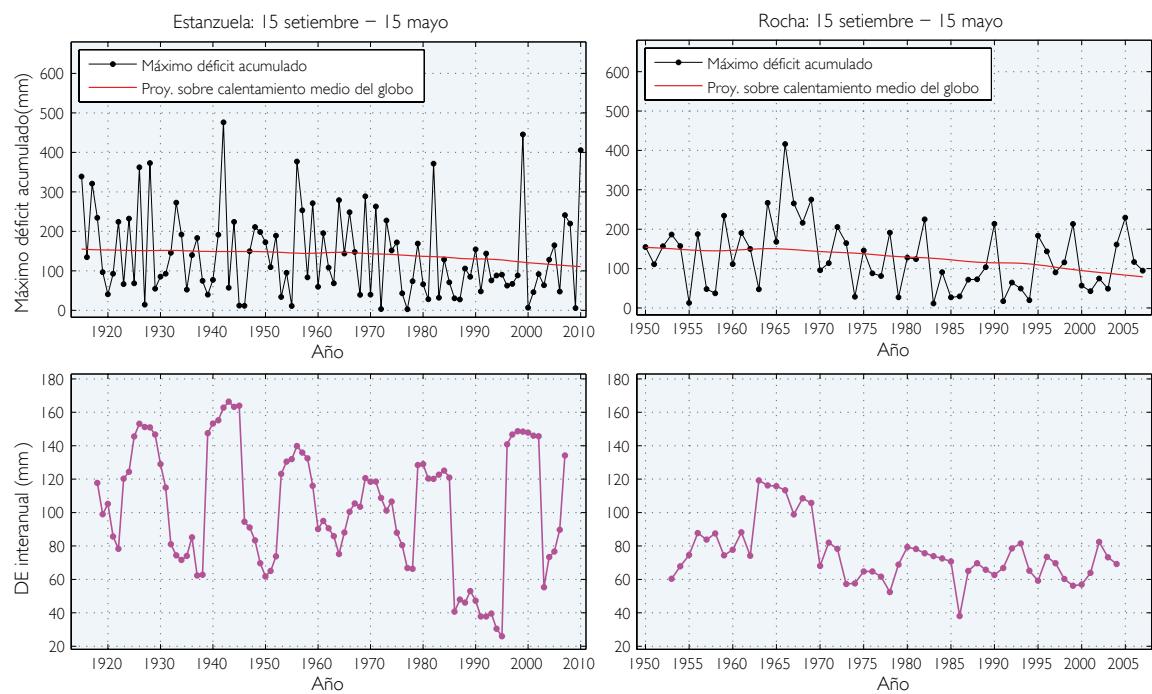


Figura 7.14. Series del Máximo déficit acumulado de precipitación, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo 15 de setiembre-15 de mayo en las localidades de La Estanzuela (Colonia) y Rocha.

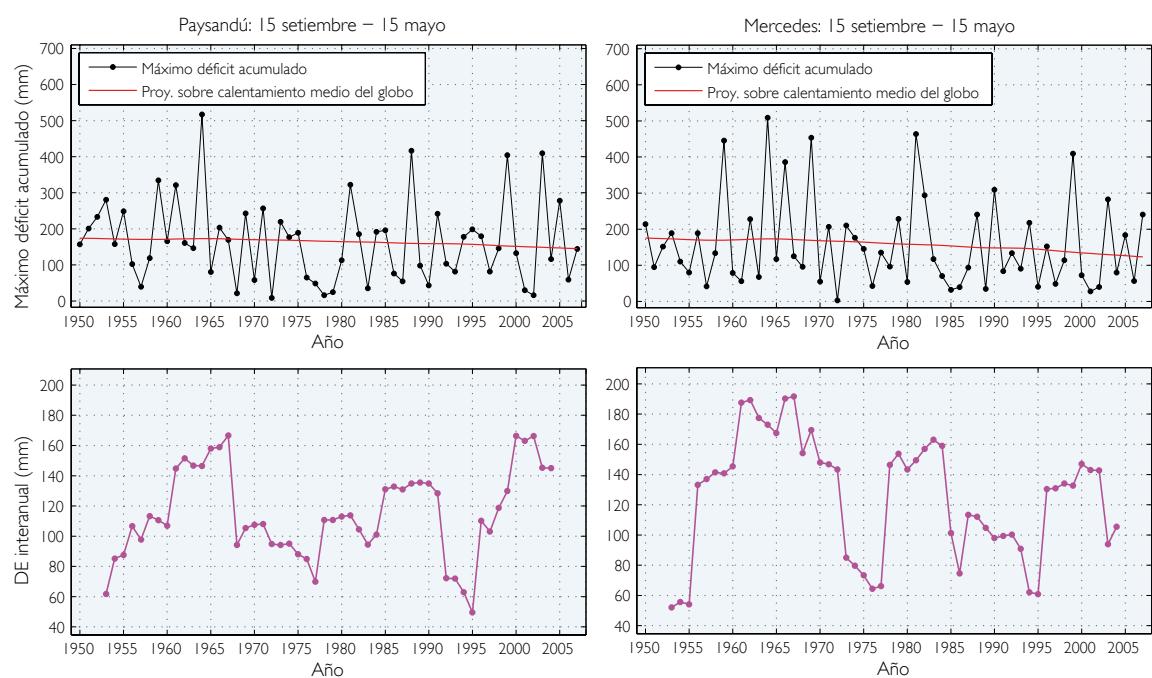


Figura 7.15. Series del Máximo déficit acumulado de precipitación, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo 15 de setiembre – 15 de mayo en las localidades de Paysandú y Mercedes.

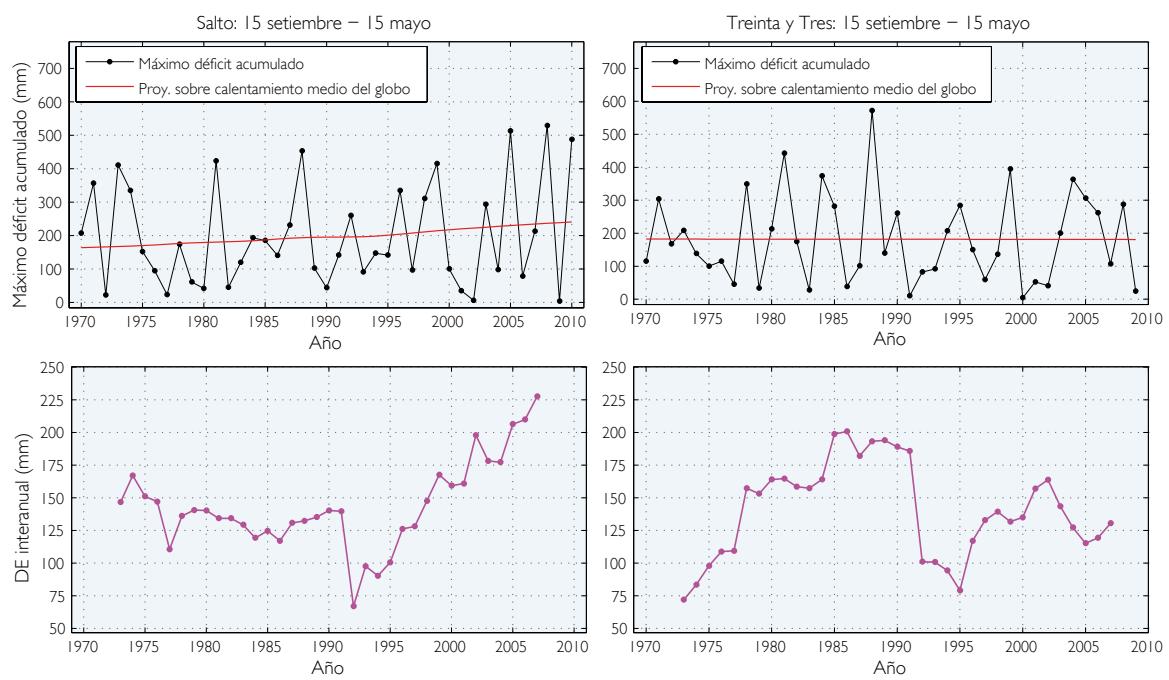


Figura 7.16. Series del Máximo déficit acumulado de precipitación, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo 15 de setiembre-15 de mayo en las localidades de Salto y Treinta y Tres.

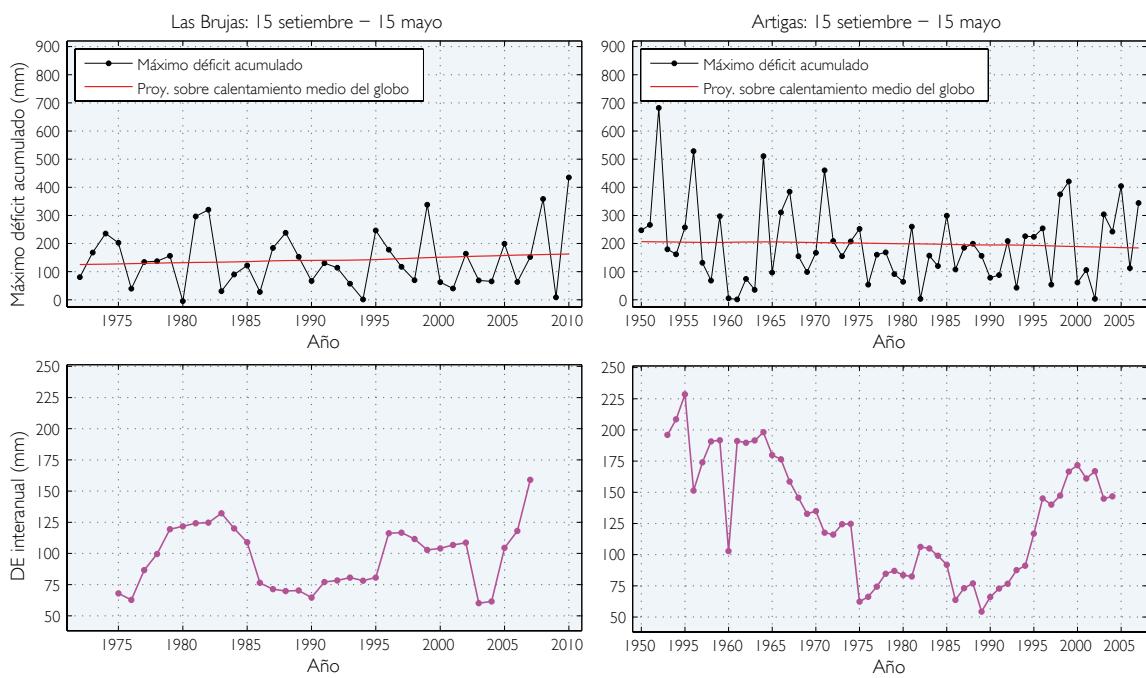


Figura 7.17 Series del Máximo déficit acumulado de precipitación, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo 15 de setiembre-15 de mayo en las localidades de Las Brujas (Canelones) y Artigas.

Días con helada

Junio-agosto

Se puede apreciar una gran variabilidad en las tendencias observadas en Días con helada para el periodo de invierno, con ausencia de una segregación espacial clara (Tabla 7.19). De todos modos parecen predominar las tendencias significativas decrecientes. Se registran en general, aunque con algunas excepciones, bajos porcentajes de varianza explicada por el componente proyectado sobre el calentamiento medio del globo así como bajos coeficientes de ajuste lineal (Tabla 7.19). La tendencia creciente más importante fue observada en la localidad de Mercedes mientras que la tendencia decreciente más marcada del Test de Kendall-Mann se observó en Paysandú (Figura 7.18).

Tabla 7.19. Resultados para la variable Días con helada (periodo junio-agosto).

	Art.	Melo	Merc.	Pays.	Rocha	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	4,80	8,80	4,60	9,50	1,60	5,40	6,50	2,00	18,20	0,10
SIG. KENDALL	94,32	-93,16	99,35	-98,90	-77,49	-94,67	89,90	82,75	-96,87	46,13
COEF. L. (días/año)	0,08	-0,13	0,11	-0,09	-0,03	-0,06	0,08	0,05	-0,26	0,04

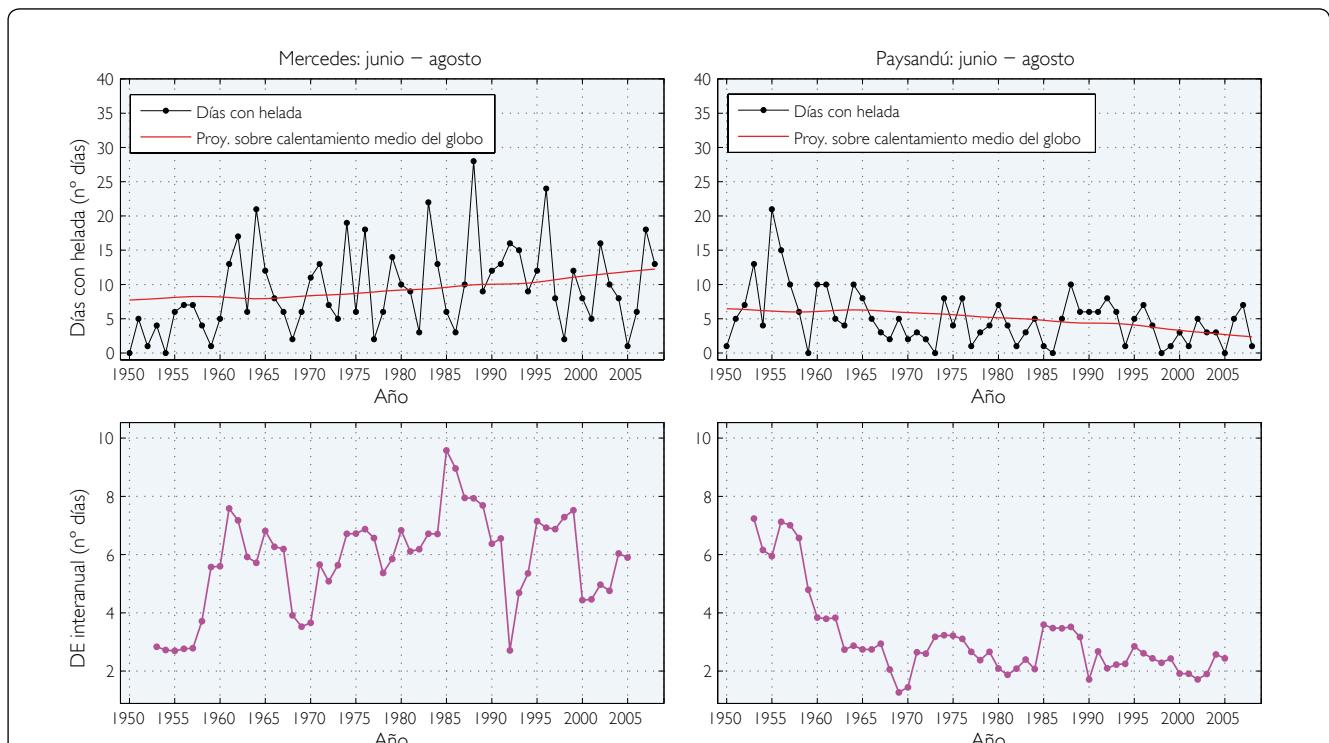


Figura 7.18. Series de Días con helada, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo junio-agosto en las localidades de Mercedes y Paysandú.

Inducción de frío

Junio-agosto

Al igual que para la variable Días con helada, no se observó un patrón espacial claro en las tendencias de Inducción de frío, aunque en su mayoría las tendencias significativas son decrecientes (Tabla 7.20). Nuevamente, la tendencia positiva más importante fue observada en Mercedes mientras que la tendencia negativa más marcada se registró en Paysandú (Figura 7.19).

Tabla 7.20. Resultados para la variable Inducción de frío (periodo junio – agosto).

	Art.	Melo	Merc.	Pays.	Rocha	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	0,60	8,30	1,40	11,60	0,20	5,50	4,70	1,30	0,20	0,40
SIG. KENDALL	73,52	-93,30	90,72	-99,38	8,85	-98,73	79,60	51,38	-15,65	49,27
COEF. L. (grad.días/año)	0,56	-1,24	0,90	-1,27	-0,08	-0,83	1,16	0,69	-0,40	0,55

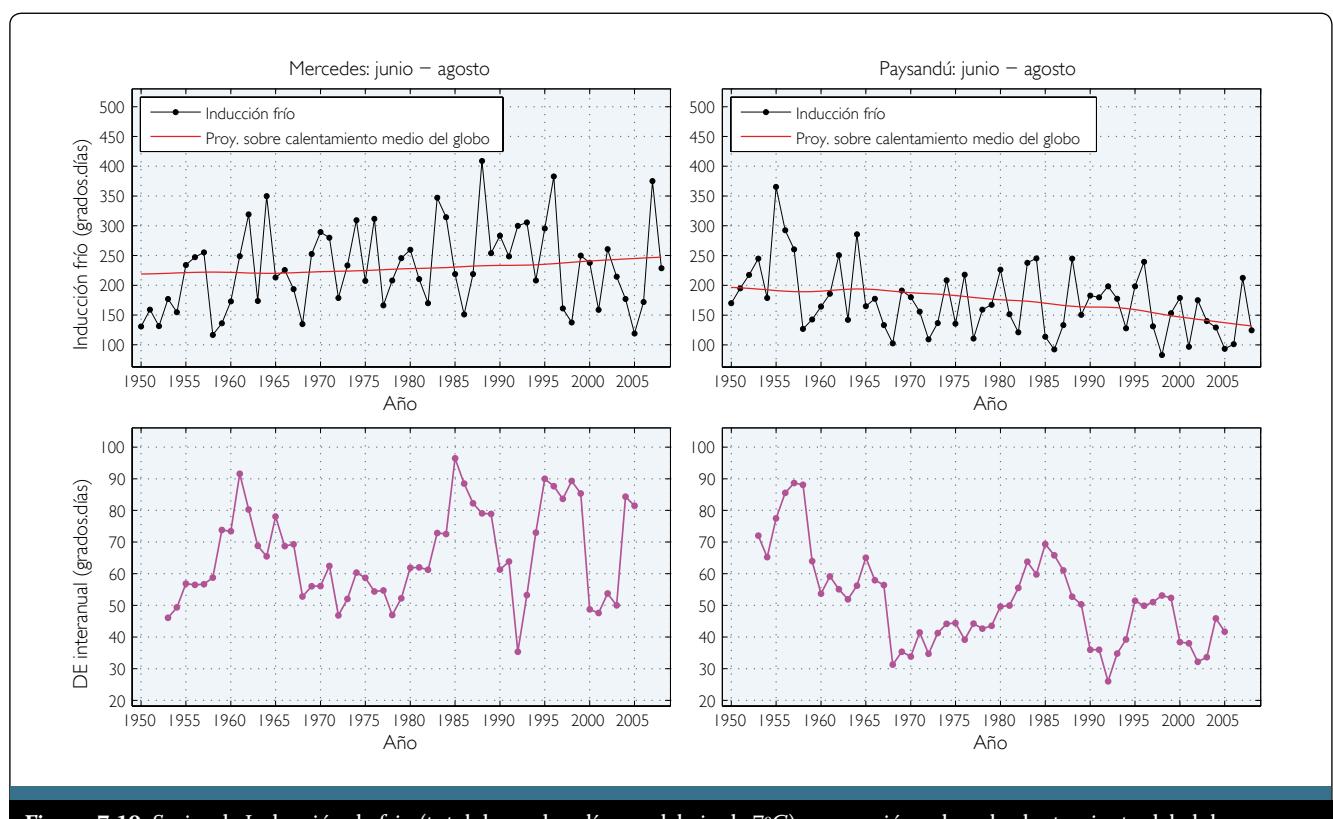


Figura 7.19. Series de Inducción de frío (total de grados-día por debajo de 7°C), proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo junio-agosto en las localidades de Mercedes y Paysandú.

Número de días con Temperatura máxima por sobre T90

Diciembre-febrero

Los análisis indican, en general, tendencias decrecientes de la variable Número de días con T máxima mayor a T90, con excepción de Las Brujas y Salto que muestran tendencias crecientes (Tabla 7.21). La tendencia positiva más importante se registró en Las Brujas, Canelones, mientras que la tendencia negativa más marcada se registró en La Estanzuela, Colonia (Figura 7.20). Esta última localidad fue la única en donde se registraron altos porcentajes de varianza explicada por la variable proyectada sobre el calentamiento medio del globo mientras que ninguna de las localidades presentó valores elevados del coeficiente de ajuste lineal (Tabla 7.21).

Tabla 7.21. Resultados para la variable Número de días con T máxima por sobre T90 (periodo diciembre – febrero).

	Art.	Melo	Merc.	Pays.	Rocha	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	7,30	3,90	2,70	0,50	8,80	18,20	5,70	0,00	3,70	1,00
SIG. KENDALL	-91,89	-2,34	-72,89	-53,21	-97,10	-99,99	95,05	16,47	-25,11	-1,00
COEF. L. (días/año)	-0,19	-0,13	-0,09	-0,03	-0,11	-0,11	0,11	0,00	-0,30	0,00

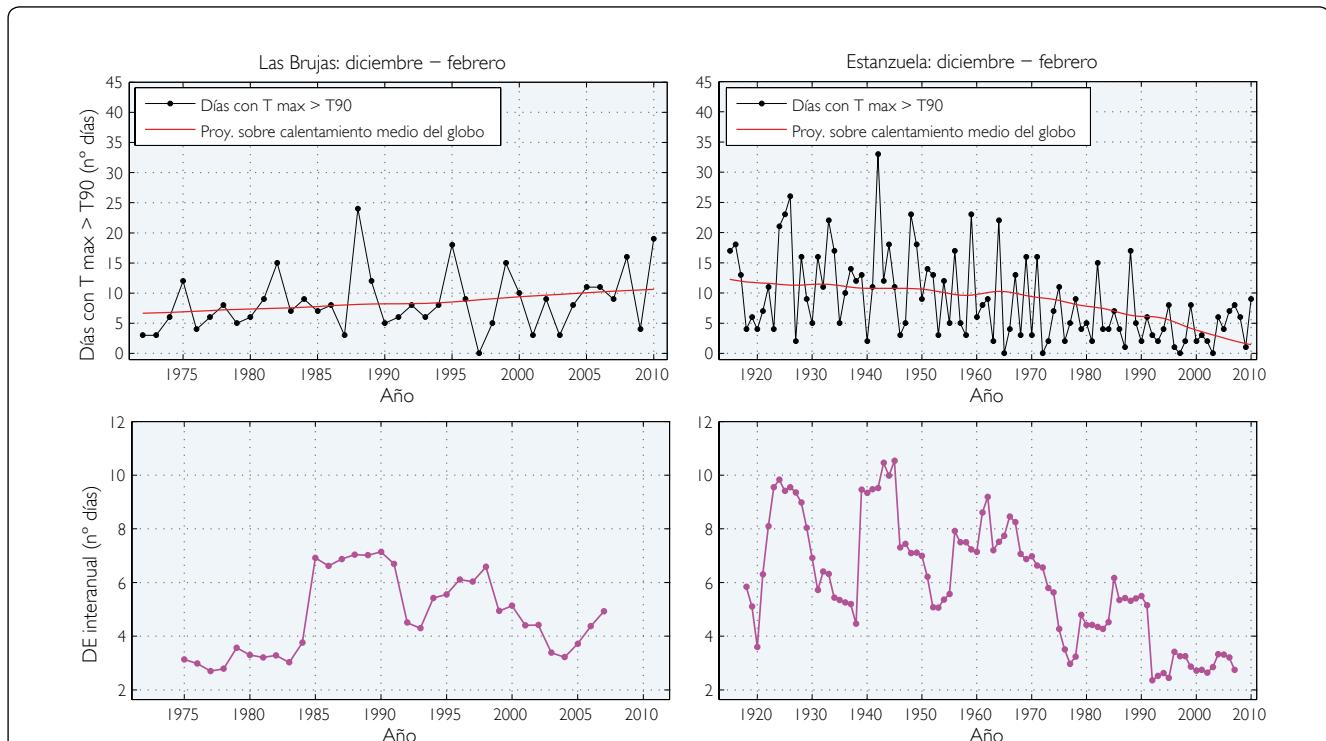


Figura 7.20. Series de Número de días con T máxima por sobre T90, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo diciembre - febrero en las localidades de Las Brujas, Canelones y La Estanzuela, Colonia.

Total °C-día de racha máxima por sobre T90

Diciembre-febrero

En esta variable se observaron patrones muy similares a los encontrados para Número de días con T máxima mayor a T90, con tendencias algo atenuadas en algunas localidades (Tabla 7.22). Nuevamente, la tendencia negativa más importante del Test de Kendall-Mann se registró en La Estanzuela y la tendencia positiva más marcada en Las Brujas (Figura 7.21).

Tabla 7.22. Resultados para la variable Total °C-día de racha máxima por sobre T90 (periodo diciembre-febrero).

	Art.	Melo	Merc.	Pays.	Rocha	Est.	LB	Salto	Tac.	TyT
VAR (%)	9,70	4,50	2,80	0,10	4,50	17,70	0,00	0,10	7,20	7,30
SIG. KENDALL	-94,33	-54,84	-76,27	-31,35	-81,30	-99,99	58,95	39,51	-55,36	-4,84
COEFL.(grad.días/año)	-0,17	-0,09	-0,06	-0,01	-0,06	-0,08	0,00	0,01	-0,27	-0,01

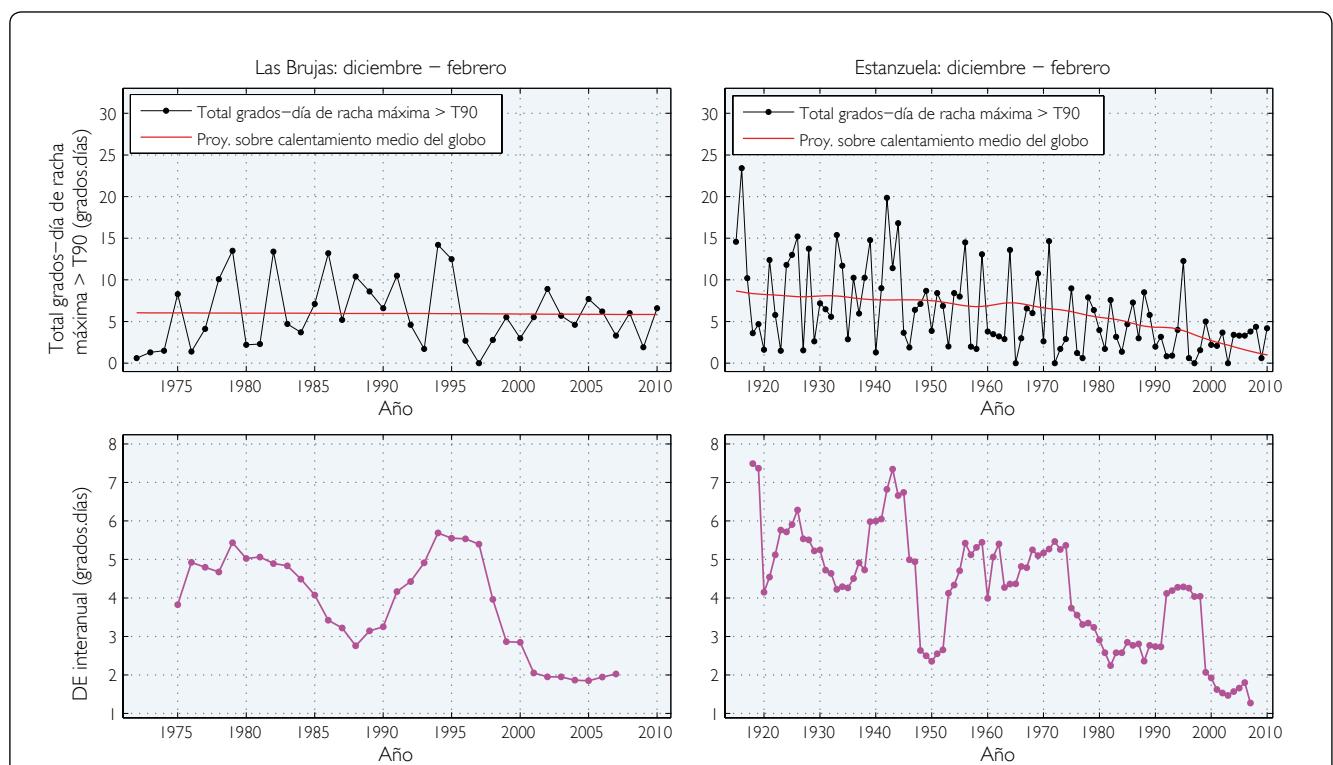


Figura 7.21. Series de Total grados-día de racha máxima por sobre T90, proyección sobre el calentamiento del globo y desviación estándar interanual para el periodo diciembre-febrero en las localidades de Las Brujas (Canelones) y La Estanzuela (Colonia).

7.3 PRINCIPALES TENDENCIAS CONSTATADAS

Coincidentemente con estudios anteriores, se verificó la tendencia generalizada en el país a precipitaciones anuales crecientes, fundamentalmente en primavera-verano (octubre-febrero) pero también en verano-otoño (enero-mayo). Las tendencias resultaron un poco menos significativas en las estaciones del norte del país.

Tanto en el caso de la precipitación, como para las demás variables climáticas analizadas, una parte importante de la varianza no es explicada por la proyección sobre el calentamiento medio del globo, lo que pone de manifiesto la importancia de la variabilidad climática a escalas menores de tiempo (por ejemplo: interanual). Con el fin de analizar la evolución de dicha variabilidad en el tiempo es que se representó la misma a través de la desviación "estándar móvil" de siete años. Para el caso de la precipitación, en muchas estaciones y temporadas se constata un aumento de la variabilidad interanual aunque este resultado no se verifica en todos los casos.

Los análisis de evaporación de Tanque A (y con algunas diferencias menores los resultados de la evaporación de Penman) registrados en las estaciones de inia sugieren un patrón en las tendencias observadas, tanto en primavera-verano (octubre-febrero) como verano-otoño (enero-mayo) con una tendencia al aumento de la demanda atmosférica en el norte y este y una disminución en el sur y oeste, llegando ambas a ser estadísticamente significativas en algunos de los casos. Por supuesto que hay que tener presente que el estudio se basa solamente en datos de cinco localidades.

El déficit de precipitación acumulado máximo durante la primavera y el verano no muestra tendencias significativas generalizadas, aunque en la mayoría de las estaciones meteorológicas la tendencia es al déficit decreciente. Esto no es incompatible, sin embargo, con la existencia de eventos de déficit históricamente muy altos (asociados a secas extremas) en años recientes. En Melo, por ejemplo, que muestra la tendencia más significativa a déficit decreciente, se verifican dos años de gran déficit (incluyendo el mayor del registro) en la última década. Este tipo de situaciones se repiten en otros puntos estudiados. En algunas localidades la desviación estándar interanual muestra un crecimiento en los últimos años, pero tampoco este resultado es generalizado.

El examen conjunto de los análisis de tendencia en totales de precipitación, déficit acumulado máximo en la temporada estival y evapotranspiración indican que no hay una señal clara en los registros meteorológicos que, por sí sola, explique la percepción generalizada de que ha aumentado la frecuencia e intensidad de las secas. Tampoco se puede deducir lo contrario, más allá de los aumentos en los totales de precipitación y la disminución (no significativa o marginalmente significativa) que algunas estaciones muestran en el déficit estival acumulado. Como se sabe, la variabilidad interanual es muy grande, en algunos casos incluso creciente y los registros muestran secas muy importantes en años recientes en la mayoría de los puntos del país estudiados. Incluso, algunas estaciones meteorológicas (como por ejemplo Tacuarembó) sí muestran un agravamiento significativo en el déficit de precipitación. En lo que respecta a la evaporación, la señal espacial es más clara y puede estar contribuyendo a un incremento de sequías agro-meteorológicas en el noreste.

En resumen, en algunos casos la evidencia objetiva en base a registros meteorológicos respalda la percepción de una incidencia creciente de las secas, sin embargo, los resultados de la investigación sugieren que se suman elementos referidos a la sensibilidad de los sistemas,

en relación al déficit de agua, que configuran la percepción que se tiene de las tendencias del clima.

Es necesario señalar que, si bien hay extensos períodos en común, las variables analizadas presentan en algunos casos series de longitudes diferentes, por los que las tendencias no son estrictamente comparables. Esto, igualmente, es válido para el análisis de las variables de temperatura.

Los registros de temperaturas máximas y mínimas son en general menos abundantes en número y longitud de las series. Con respecto a temperatura máxima, en general se verifica –con excepciones– una tendencia decreciente que corrobora estudios anteriores. El índice que se eligió para olas de calor (dependiente de la temperatura máxima) muestra resultados semejantes. Queda por explorar si los resultados difieren con otras definiciones de olas de calor.

El análisis del número de heladas ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$) y horas de inducción de frío (por debajo de 7°C) durante el trimestre junio-agosto, presenta resultados dispares, la mitad de las estaciones meteorológicas mostraron tendencias de calentamiento (menos heladas y menos horas de inducción de frío) y otro tanto con tendencias opuestas. En muchos casos las tendencias son significativas, sobre todo las que indican calentamiento y no hay una coherencia espacial clara en la distribución de unas y otras. Resultados de estudios preliminares que consideraban al periodo mayo–setiembre para el cálculo de estas variables mostraron resultados muy similares que los obtenidos al considerar el periodo junio-agosto.



8

Posibles escenarios futuros, certezas e incertidumbres, fortalezas y debilidades de las capacidades instaladas en el país

Una de las guías requeridas en los estudios sectoriales de impacto del cambio climático, es la denominada “escenarios climáticos futuros”. Estas descripciones de los climas futuros, o escenarios, se obtienen de simulaciones, forzadas por distintos incrementos de *gei*, usando *gcm*. La historia del uso de *gcm* para la elaboración de escenarios climáticos se extiende al menos durante los últimos 20 años. Algunos trabajos como el de Hulme y Carter (1999) proveen pistas sobre cuáles son las fuentes de incertidumbre de estos tipos de estudios. Estas incertidumbres incluyen aquellas que provienen de los diferentes escenarios socioeconómicos futuros (Nakicenovic 1998), de las propias diferencias entre *GCM*—que reflejan limitantes en la comprensión y por tanto modelación— y de la impredecibilidad inherente del sistema climático (Mitchell et al 1999).

A efectos de cubrir (en parte) la incertidumbre proveniente de las diferencias entre escenarios socioeconómicos, es costumbre seleccionar al menos dos de los posibles escenarios futuros. Hasta el último reporte del *ipcc* del año 2007 se han utilizado los escenarios socioeconómicos del Reporte Especial sobre Escenarios de Emisiones (*sres*, por su sigla en inglés) (Nakicenovic y Swart 2000). En Uruguay se han utilizado en general los llamados *sres A2* y *B2*. De manera de describir el rango en las proyecciones provenientes de los diferentes modelos climáticos, es conveniente considerar la mayor cantidad de tipos posibles. Se han realizado investigaciones en la región estudiando la performance de estos *gcm* en relación a variables fundamentales como precipitación, temperatura y presión atmosférica en superficie (Hoftadter y Bidegain 1997, Bidegain y Camilloni 2006, Marengo 2007).

La incertidumbre se incrementa cuando se consideran eventos extremos (que suelen ser los de mayor interés en la producción), pues en muchos casos los modelos climáticos no los representan bien. La dificultad se acentúa cuando el evento no se configura exclusivamente en base a variables meteorológicas sino también agronómicas y/o hidrológicas (ej., sequías agronómicas, excesos de agua, heladas extemporáneas, entre otros).

En lo que refiere a la incertidumbre debida a la variabilidad intrínseca del sistema climático, cabe señalar que las proyecciones realizadas por el ipcc (2007) no representan adecuadamente las condiciones actuales de los océanos al inicio de las simulaciones. Considerando que los mismos varían en escalas de tiempo de 10 a 100 años, esto puede influir en las proyecciones, sobre todo las de corto plazo (por ejemplo 20 años).

Las dos variables principales extraídas de los gcm y que se aplican en los diferentes estudios sectoriales son la temperatura del aire y la precipitación. Estas dos variables permiten generar escenarios sobre los posibles impactos en el sector agropecuario como la estimación de la demanda atmosférica futura (evapotranspiración) balances hídricos, entre otros. Se pueden incorporar, por ejemplo, otras variables como humedad específica y radiación solar global en superficie que podrían ser importantes en procesos biofísicos de cultivo.

8.1 ESCENARIOS DE EMISIONES

El cambio global puede generar impactos a varios niveles y, en este sentido, la construcción de escenarios descriptivos climáticos y no climáticos (socioeconómicos y ambientales) es imprescindible para evaluar la vulnerabilidad. El ipcc en el sres recomienda el uso de escenarios socioeconómicos (A1, A2, B1 y/o B2) de emisión de gases de invernadero como base para forzar los modelos climáticos globales.

El cambio considerado en las emisiones de dióxido de carbono de fuentes energéticas/industriales para el año 2100 varía desde una disminución del 4% (escenario B1) a un aumento de alrededor de 320% (escenario A2) respecto al año 2000. La concentración de dióxido de carbono atmosférico aumentaría de la concentración actual (370 ppmv) a una concentración cercana a 550 ppmv en el escenario B1 para el año 2100, y por arriba de 830 ppmv en el escenario A2 (Figura 8.1).

Los escenarios sres A2 (alto) y B2 (medio) fueron elegidos como los más probables de los escenarios futuros a nivel global. Por ejemplo, en el informe publicado por la Dirección Nacional de Medio Ambiente (dinama) del Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, (mvotma, 2005) y elaborado con el apoyo del proyecto de Evaluaciones de Impactos y Adaptación al Cambio Climático (aiacc, por su sigla en inglés) la-32 (2002-2004), se desarrollaron escenarios climáticos de precipitación, temperatura y presión atmosférica para Uruguay y la región circundante.

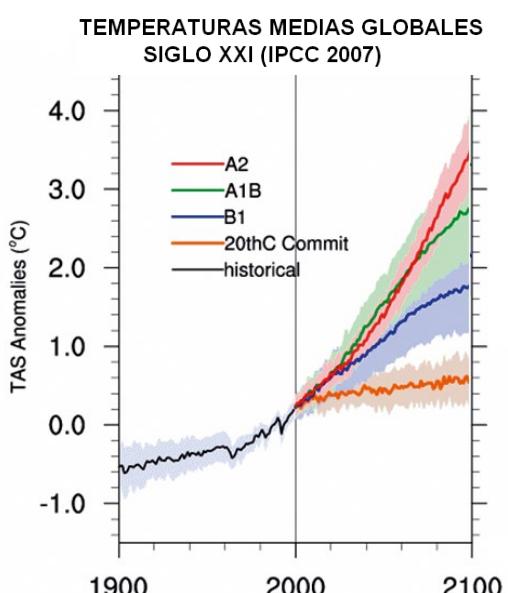


Figura 8.1. Diferentes estimaciones de aumento de la temperatura media global durante el siglo XXI en función de los cuatro escenarios (A1F1, A2, B1 y B2). Fuente: tomado de informe IPCC 2007.

Estos constituyeron un avance respecto a los desarrollados por el Programa *Country Study* Uruguay (Comisión Nacional sobre el Cambio Global 1997) que se basaron en escenarios incrementales, los cuales sirvieron para elaborar la Primera Comunicación Nacional del Uruguay de Cambio Climático al Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (unfccc, por su sigla en inglés).

8.2 ESCENARIOS CLIMÁTICOS

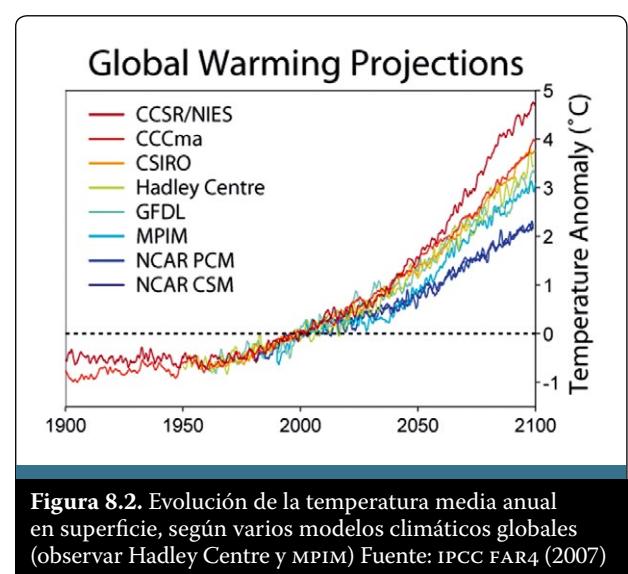
Una evaluación basada en las proyecciones de gcm (Solomon et al. 2007) sugiere que, para los escenarios de no mitigación, el futuro aumento en el promedio mundial de la temperatura, es probable que caiga dentro -40 a 60% del conjunto multi-modelo de simulaciones de los gcm para un escenario determinado. La mayor incertidumbre se da en los resultados para valores más altos, debido a las incertidumbres en la retroalimentación del ciclo del carbono. El calentamiento y sus rangos de incertidumbre para los escenarios entre 2090 y 2099 en relación con 1980 a 1999 son (Tabla 8.1).

Tabla 8.1. Incremento de la temperatura en función del escenario de emisión y el rango de incertidumbre.

Escenario de emisión	Incremento de Temp.	Rango de incertidumbre
A1B	2,8 ° C	1,7 ° C a 4,4 ° C
AIT	2,4 ° C	1,4 ° C a 3,8 ° C
A2	3,4 ° C	2,0 ° C a 5,4 ° C
AIFI	4,0 ° C	2,4 ° C a 6,4 ° C
BI	1,8 ° C	1,1 ° C a 2,9 ° C
B2	2,4 ° C	1,4 ° C a 3,8 ° C

Si se examinan las proyecciones de cambio de temperatura para el siglo xxi se observa que las trayectorias futuras para finales del siglo quedan entre +2°C y 4,8°C para el conjunto de ocho modelos presentados en la Figura 8.2.

Considerando los cambios de campos medios proyectados para fin de siglo xxi en relación con el fin del siglo xx, los modelos climáticos proyectan un aumento de temperatura media entre 2 a 3°C para nuestra región, y un aumento de entre un 10% a 20% en el acumulado anual de precipitaciones. El aumento de lluvias se proyecta fundamentalmente para la estación de verano. Es importante señalar que la precipitación es el campo meteorológico más difícil de simular por los modelos climáticos, por lo que los cambios sugeridos por los modelos para esta variable deben ser tomados con mucha cautela.



Asimismo, las proyecciones indican que habrá un leve descenso en el número de días con heladas; un aumento significativo en el número de noches cálidas; un aumento en la duración de olas de calor y un aumento significativo en la intensidad de la precipitación (ver más detalle en Tebaldi et al. 2006).

A continuación se presenta un análisis más detallado de los escenarios futuros de temperatura y precipitación para dos modelos: hadcm3 (Hadley Centre) y el echam5 (mpim) (ver capítulo 4 Metodología). Estos dos modelos han sido seleccionados por mostrar una buena performance en relación a las condiciones climáticas observadas sobre el sudeste de Sudamérica durante la segunda mitad del siglo xx, tanto para temperatura como para precipitación (Bidegain y Camilloni 2006).

Es importante recordar que para el proyecto uru/07/g32 de fao, “Implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático en áreas costeras del Uruguay”, publicado en 2009, se incluyen escenarios de cambio climático futuro para Uruguay sobre la región 30°S-40°S y 62°W-50°W y las salidas para los horizontes temporales de las décadas centradas en 2020 (2010-2039), 2050 (2040-2069) y 2080 (2070-2099) para los dos escenarios socioeconómicos sres A2 (alto) y B2 (medio-bajo). Los dos modelos climáticos utilizados sobre la región fueron el hadcm3 y echam5.

Según el modelo hadcm3, el escenario A2 determina incrementos de la temperatura media anual ligeramente superiores al escenario B2. Se esperan, según este modelo climático, para el escenario A2, valores de temperatura sobre la región sur del país que estarían entre 17,5°C y 18,5°C para la década centrada en el 2020. Los valores de temperatura para la región sur del país estarían entre 18,5°C a 19,5°C para la década centrada en el 2050, y entre 19,5°C a 20,5°C para la década centrada en el 2080.

También se predice, según el modelo hadcm3 bajo el escenario B2, que las temperaturas previstas para la región sur del país en la década de 2020 (Figuras 8.3 y 8.4) son prácticamente iguales que para el escenario A2, ya para la década centrada en 2050 los valores son ligeramente inferiores al escenario A2 y quedan en valores de 18,5 °C en la costa sur del Uruguay. Mientras que para la década de 2080 los valores para el escenario B2 muestran temperaturas de 18,5°C a 19,5°C para la costa.

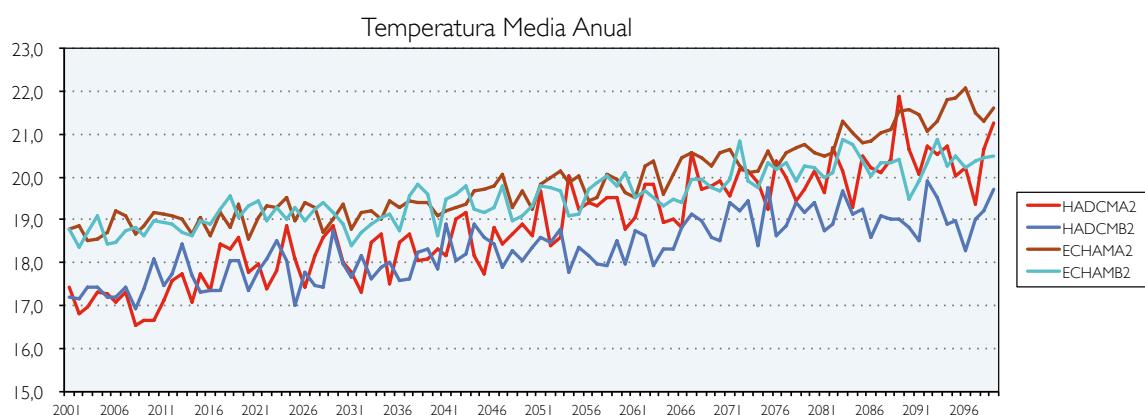


Figura 8.3. Estimaciones de la temperatura media anual para el Uruguay en °C para el siglo xxi

Según el modelo echam5, en el escenario A2 la temperatura media anual es superior al escenario B2. Se espera, según este modelo climático para el escenario A2, valores de temperatura sobre la región sur del país que estarían entre 18°C y 18,5°C para la década centrada en 2020 (Figuras 8.3 y 8.5). Los valores de temperatura para la región sur del Uruguay estarían entre 19°C y 19,5°C para la década centrada en el 2050 (Figura 8.5) y entre 19,5°C a 20,5 ° C para la década centrada en 2080 (Figuras 8.3 y 8.5).

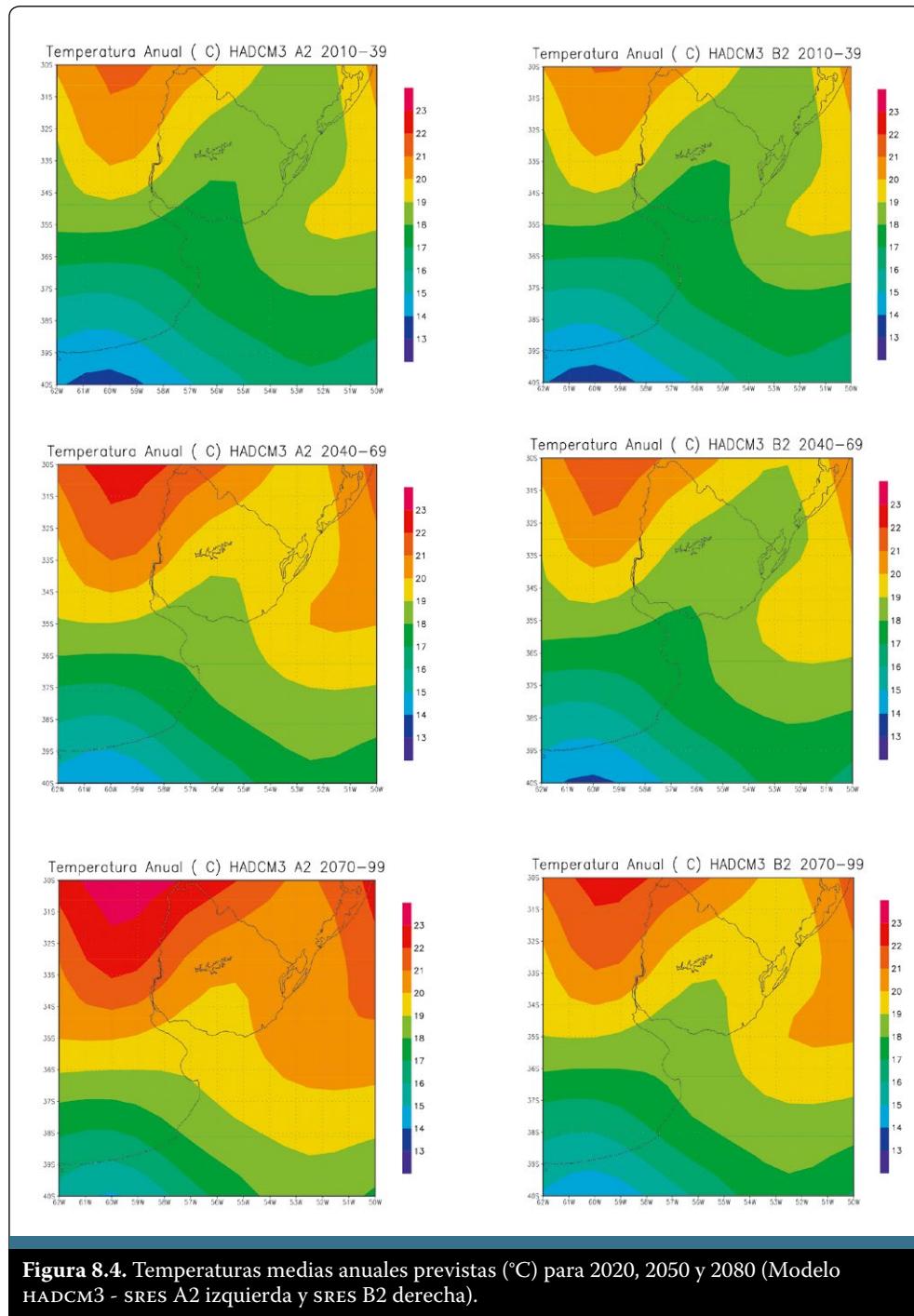


Figura 8.4. Temperaturas medias anuales previstas (°C) para 2020, 2050 y 2080 (Modelo HADCM3 - SRES A2 izquierda y SRES B2 derecha).

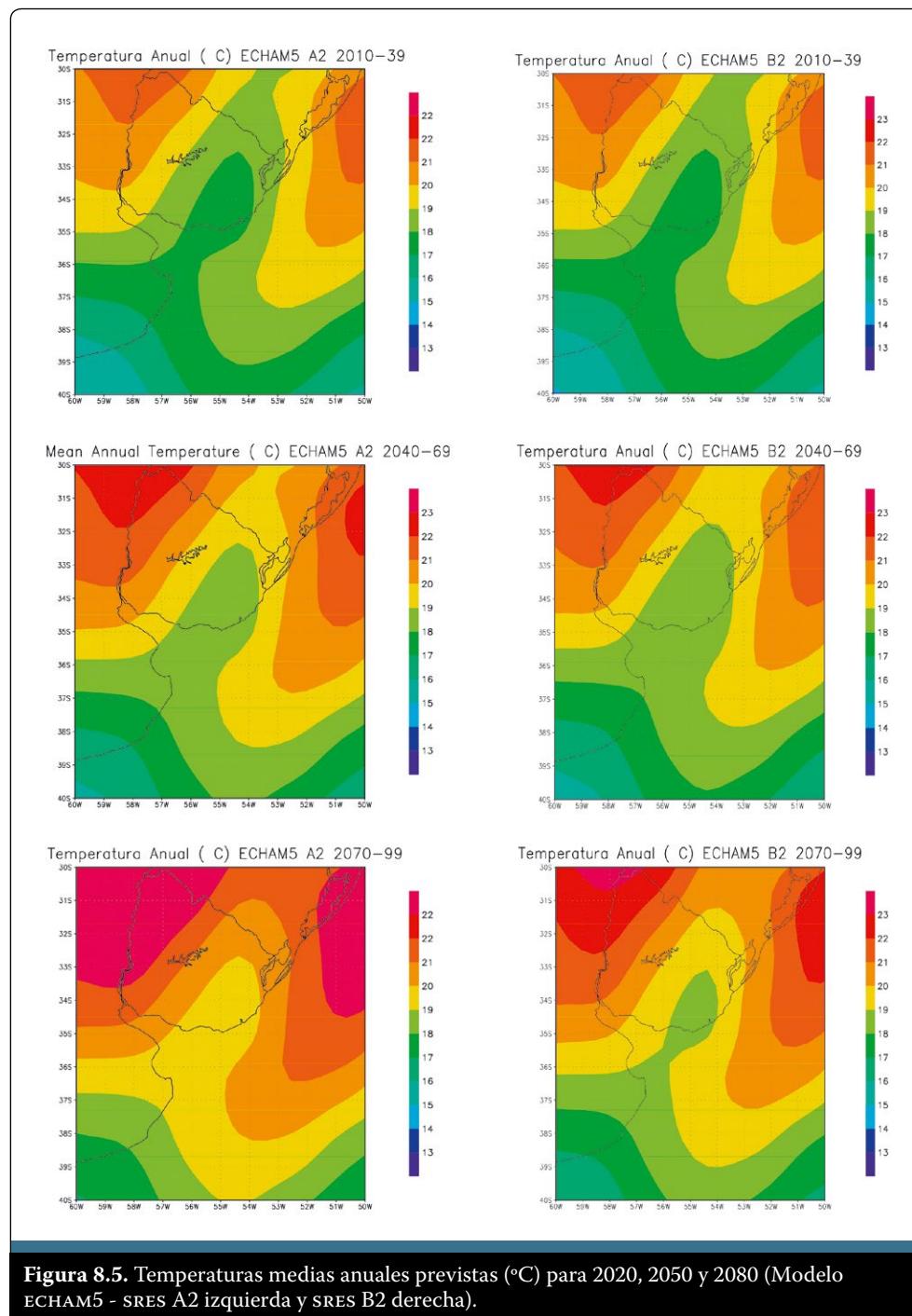


Figura 8.5. Temperaturas medias anuales previstas (°C) para 2020, 2050 y 2080 (Modelo ECHAM5 - SRES A2 izquierda y SRES B2 derecha).

Los campos de precipitación previstos por el modelo hadcm3 en las décadas de 2020, 2050 y 2080 para los escenarios A2 y B2 se presentan en la Figuras 8.6 y 8.7, estos valores son cercanos a 2 mm/día, 2,3 mm/día y 2,5 mm/día respectivamente. Los campos de precipitación previstos por el modelo hadcm3 en las décadas de 2020, 2050 y 2080 para el escenario B2, estos presentan valores de aproximados a 2,3 mm/día, 2,3 mm/día y 2,5 mm/día respectivamente. Tanto los valores previstos para el escenario A2 como B2 están todos por debajo de los valores climáticos observados actualmente, presentando este modelo un error sistemático de subestimación de la lluvia actualmente observada.

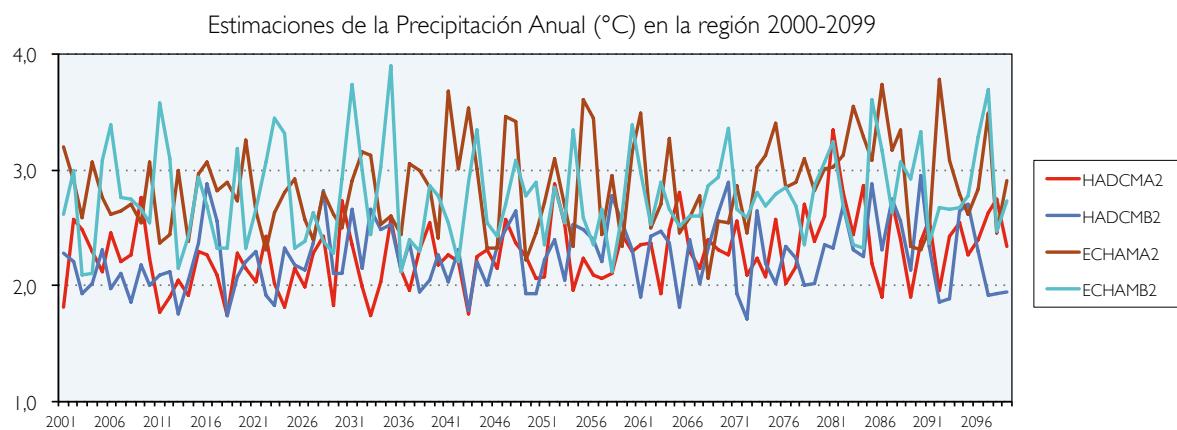


Figura 8.6. Estimaciones de la precipitación anual para el Uruguay en mm/día para el siglo xxi elaboradas por los modelos HADCM3 y ECHAM5 forzados con los escenarios SRES A2 y B2.

Los campos previstos por el modelo echam5 para las décadas de 2020, 2050 y 2080 y para los escenarios A2 y B2 (Figuras 8.7 y 8.8) presentan valores cercanos, entre 2,5 a 3,5 mm/día, 2,6 a 3,6 mm/día y 2,7 a 3,7 mm/día respectivamente. Los campos de precipitación previstos por este mismo modelo para las décadas del 2020, 2050 y 2080 para el escenario B2, tienen valores entre 2,5 y 3,5 mm/día, 2,6 y 3,6 mm/día y 2,7 a 3,7 mm/día respectivamente. Los valores previstos para los escenarios A2 y B2 son todos muy cercanos a los valores climáticos observados actualmente, por lo tanto este modelo no presenta un error sistemático de subestimación, pero tampoco prevé un cambio significativo de las lluvias en los escenarios futuros, excepto en el litoral atlántico donde prevé un incremento del orden de 0,5 mm/día (+180 mm/año) especialmente hacia finales del siglo xxi.

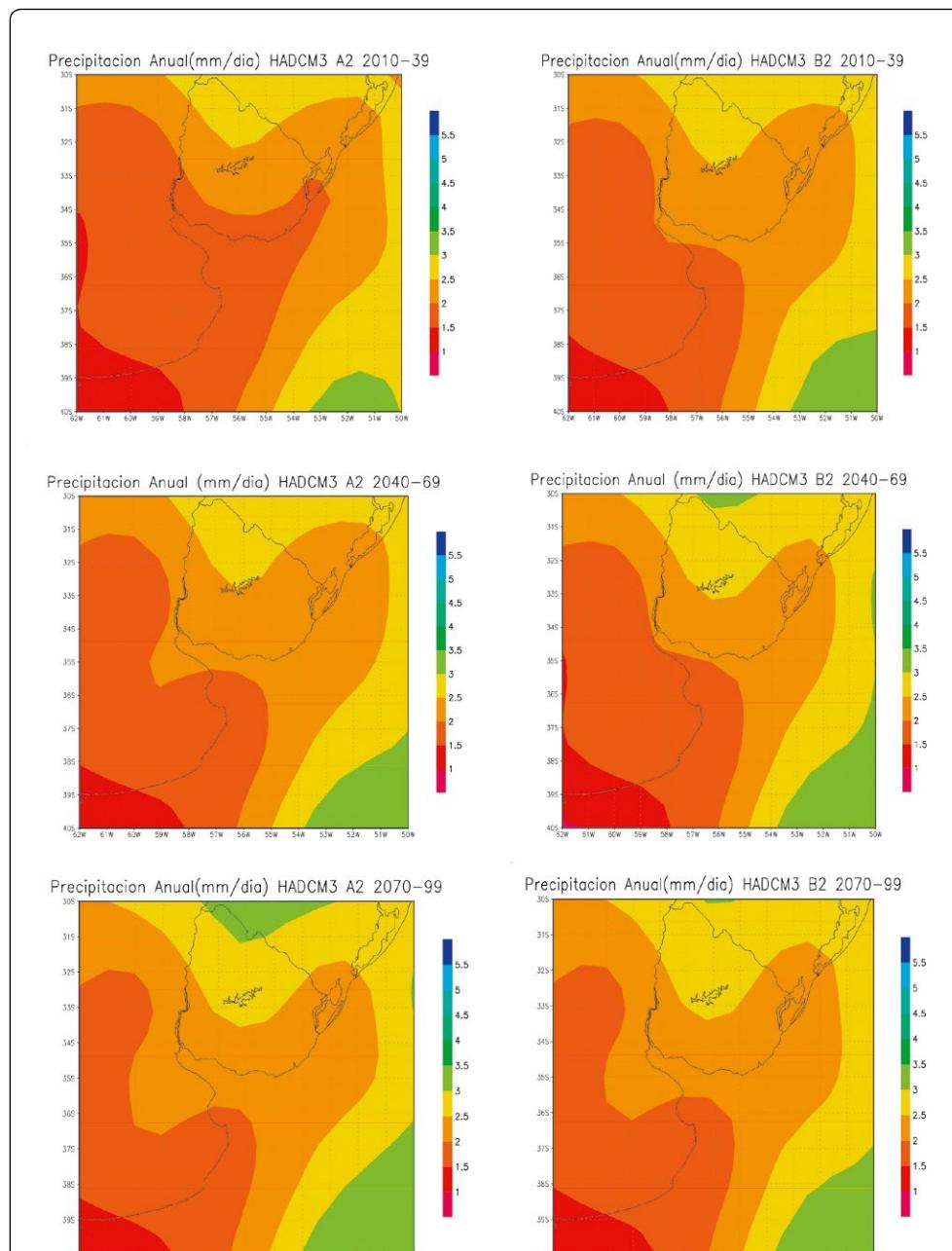


Figura 8.7. Precipitación (mm/día) par 2020, 2050 y 2080 (Modelo HADCM3 SRES A2 izquierda y SRES B2 a la derecha).

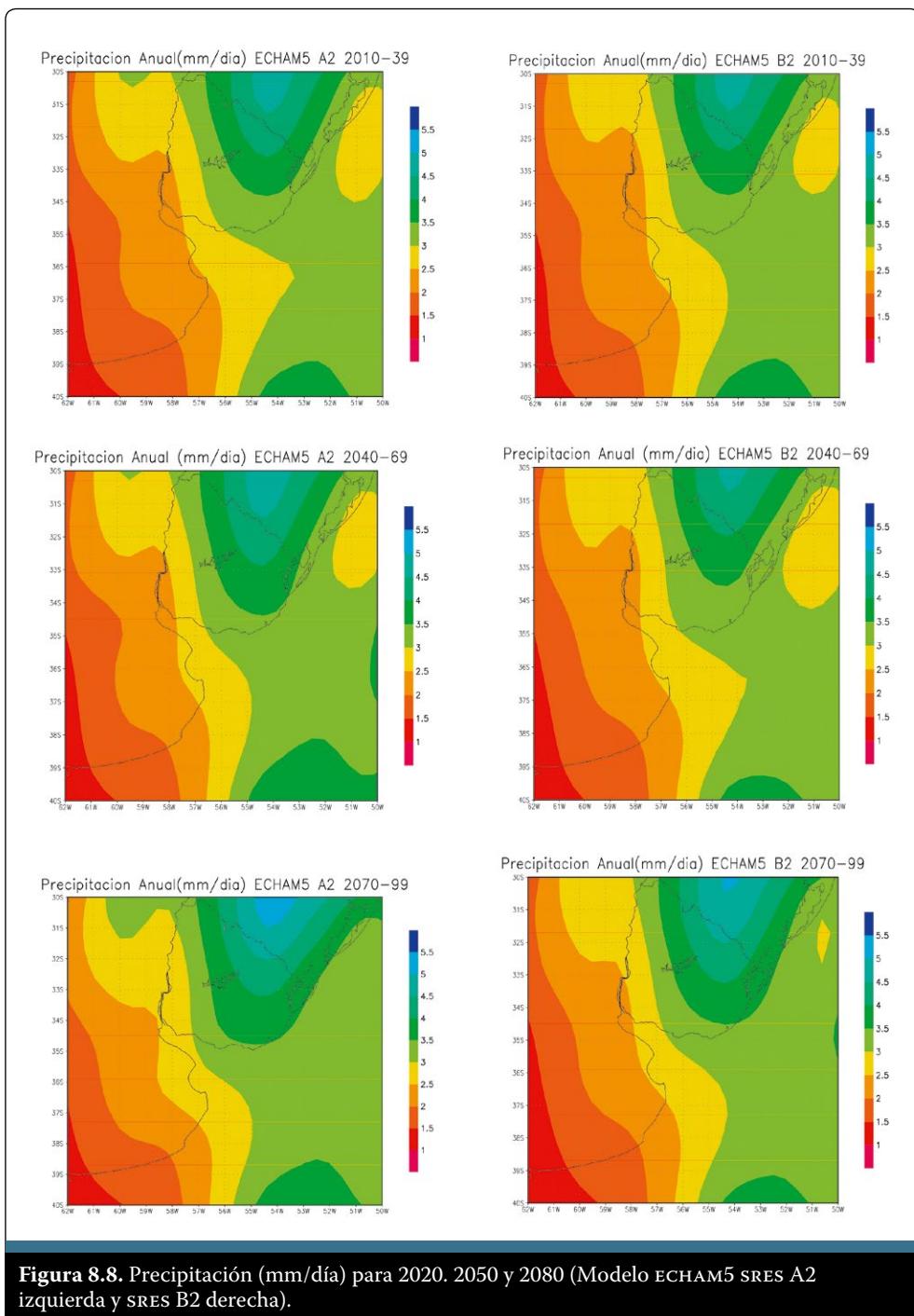


Figura 8.8. Precipitación (mm/día) para 2020, 2050 y 2080 (Modelo ECHAM5 SRES A2 izquierda y SRES B2 derecha).

8.3 AUMENTO DE LA RESOLUCIÓN ESPACIAL DE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS (DOWNSCALING)

La incertidumbre asociada a la determinación de escenarios futuros se ve acentuada al disminuir la escala espacial desde lo global a lo regional y local. Aún en el caso de la temperatura en superficie, cuya tendencia global es evidente, existen regiones del planeta en donde no es significativa y otras en que incluso es negativa.

La determinación del impacto regional del cambio global viene necesariamente asociada a la comprensión de los procesos físicos que relacionan las variaciones globales con las locales, procesos que son de muy diversa índole y que no siempre están adecuadamente modelados. Si bien los modelos climáticos en que se basan los escenarios de futuro simulan el clima en cada punto de grilla del planeta, los valores locales tienen mucha mayor incertidumbre que los promedios planetarios -en donde se produce generalmente cancelación de errores-, tal como se puede estimar de la dispersión de valores entre distintos modelos y simulaciones. Por lo tanto la generación de escenarios climáticos regionales debe responder a una cuidadosa consideración de tendencias observadas, resultados de modelos numéricos y estado del conocimiento respecto a los procesos físicos involucrados.

Para realizar proyecciones sobre el clima, pasando de la escala global a la escala regional, se utilizan técnicas de reducción de escala espacial denominadas *dowscaling*. Dichas técnicas, que pueden ser dinámicas o estadísticas, inevitablemente aumentan la incertidumbre de las proyecciones. Por tanto, las proyecciones del clima sobre Uruguay y más aún aquellas realizadas a escalas menores (por ejemplo: departamentales) tienen mayor incertidumbre que las regionales y globales.

Dentro de las técnicas dinámicas se han realizado experimentos numéricos en Uruguay con el sistema de Modelos de Climas Regionales para Estudios del Impacto (precis, por su sigla en inglés) desarrollado por el Hadley Centre de Inglaterra. Este consiste en un Modelo Climático Regional (rcm, por su sigla en inglés) que es de alta resolución y cubre una región limitada sobre la superficie terrestre. Los rcm están basados en leyes físicas representadas por ecuaciones matemáticas que son resueltas usando una grilla tridimensional. La resolución horizontal del sistema precis es de 50 km latitud por 50 km longitud. Los rcm son modelos físicos, e incluyen la atmósfera y la superficie terrestre que son componentes del sistema climático, además contienen representaciones de los procesos más importantes que se dan dentro del sistema climático (ej., nubes, radiación, lluvia, hidrología superficial). Muchos de estos procesos físicos se dan en escalas espaciales muy pequeñas, que los modelos globales no pueden modelar y resolver explícitamente. Estos efectos son tomados en cuenta usando las llamadas parametrizaciones en las cuales están representados por relaciones entre promedios espaciales o temporales y relacionan los procesos de escala pequeña (por debajo de la escala del grillado) y los provenientes del flujo de escala.

La técnica de *dowscaling* dinámica consiste en anidar un rcm que disponga de condiciones de inicio, de borde (dependientes del tiempo) y de superficie. Los datos de inicio y de borde son extraídos de los gcm o de re-análisis de observaciones e incluyen el forzamiento por gei y por aerosoles. La estrategia básica es usar un gcm para simular la respuesta de la circulación global al forzamiento de gran escala y un rcm para tomar en cuenta, de una manera física, los forzamientos por procesos por debajo de la escala de grillado global (ejemplo: topografía compleja y no homogeneidades de la cobertura vegetal) y mejorar

la simulación de la circulación atmosférica y de las variables climáticas a escalas espaciales más finas.

La utilización de un solo gcm de base para la construcción de escenarios de alta resolución (*downscaling*) debe tomarse con sumo cuidado debido a las incertidumbres asociadas. El modelo considerado establece los siguientes patrones generales para Uruguay: experimentaría un calentamiento que estaría entre +0,3 a +0,5°C según los escenarios A2 y B2 para la década de 2020, siendo este calentamiento más importante al noroeste del país (departamento de Artigas) y los menores calentamientos al sureste (departamento de Rocha). En la década de 2050 se verificarían calentamientos de hasta +2,5°C en el escenario A2 y de hasta +1,6°C en el escenario B2. La distribución espacial de este calentamiento es igual que el anterior; mayor al noroeste y menor sobre el litoral atlántico del país.

Los cambios en la precipitación prevista para el Uruguay en la década de 2020 serían prácticamente despreciables, mientras que para 2050 el cambio es positivo sobre todo el territorio. Los mayores incrementos en promedio se darían en el escenario A2 y en la década de 2050, con incrementos que podrían llegar a 0,2 mm/día. El escenario B2 muestra incrementos de la lluvia ligeramente inferiores al escenario A2 (hasta 0,1 mm/día sobre Uruguay).

8.4 SÍNTESIS

Las descripciones de climas futuros mediante modelos climáticos presentan gran importancia para el análisis de los posibles impactos del cambio climático en la vulnerabilidad de sistemas socioeconómicos y ambientales.

Hay que tener en cuenta que las proyecciones de estos modelos presentan importantes incertidumbres, las que pueden ser en parte cubiertas mediante la consideración simultánea de proyecciones de varios modelos climáticos, así como de distintos escenarios de emisiones de dióxido de carbono.

En este sentido, los resultados de un conjunto de modelos globales proyectan para la región un incremento de temperatura media de entre 2 a 3°C y un aumento de 10 a 20% en el acumulado anual de precipitaciones (principalmente para la estación de verano) para fin del siglo xxi en relación con el fin del siglo xx. Asimismo, las proyecciones indican que habrá un leve descenso en el número de días con heladas; un aumento significativo en el número de noches cálidas; un aumento en la duración de olas de calor y un aumento significativo en la intensidad de la precipitación.

Modelos climáticos que han mostrado tener una buena performance en las proyecciones climáticas del sudeste de Sudamérica (hadcm3 y echam5), indican para distintos escenarios de emisiones (A2 y B2), un aumento de la temperatura media anual para las décadas centradas en 2020, 2050 y 2080 en el sur del país, estos incrementos serían más importantes al considerar escenarios de mayores emisiones de carbono. Los valores previstos de precipitación para los escenarios A2 y B2, de uno de los modelos considerados (echam5), se encuentran muy cercanos a los valores climáticos observados actualmente, no previéndose un cambio significativo de las lluvias en el futuro, excepto en el litoral atlántico para donde se proyecta un incremento del orden de 0,5 mm/día (+180 mm/año), especialmente hacia finales del siglo xxi.

Técnicas de reducción de escala espacial (*downscaling*) implementadas en nuestro país brindan información sobre posibles escenarios climáticos locales. Según el modelo PRECIS, Uruguay experimentaría un calentamiento que estaría entre +0.3 a +0.5° C de acuerdo a los escenarios A2 y B2 para la década de 2020, siendo este calentamiento más importante al noroeste del país (departamento de Artigas) y menos importante al sureste (departamento de Rocha). En la década de 2050 se verificarían calentamientos de hasta +2.5° C en el escenario A2 y de hasta +1.6° C en el escenario B2. La distribución espacial de este calentamiento es igual que la prevista para la década de 2020. En cuanto a la precipitación se esperan cambios despreciables para la década de 2020 mientras que para 2050 el cambio es positivo sobre todo el territorio. A pesar de que las técnicas de *downscaling* aportan información valiosa sobre el comportamiento del clima futuro en el Uruguay, hay que tener en cuenta que la reducción de escala contiene fuentes de incertidumbres superiores a los modelos climáticos globales. Avanzar en este campo es uno de los desafíos más importantes en el corto y mediano plazo.

9

Adaptación a la variabilidad y cambio climático en el Uruguay, evolución histórica, capacidad de adaptación y transformación

El Uruguay presentó en la última década un considerable crecimiento económico, comparable al registrado en el periodo entre las dos guerras mundiales y posterior a la segunda. Este crecimiento se sustenta principalmente en la explotación de sus recursos naturales, particularmente vinculado a la expansión e intensificación de la agricultura, ganadería y forestación.

En el caso de sectores productivos como la ganadería, lechería, agricultura de cereales y fruticultura se constata una importante variabilidad en la producción y en sus rendimientos económicos, en algunos casos asociados a la dinámica del propio sistema socioeconómico y en otros casos a la variabilidad de las condiciones climáticas.

El principal evento climático que afecta todas las producciones antes mencionadas es la sequía. Existe la percepción, en los especialistas y productores consultados, que la frecuencia e intensidad de las mismas se ha incrementado en las últimas décadas más allá de que se lo asocie o no a cambios en el sistema climático global. Sin embargo, la evidencia del registro instrumental no permite confirmar estadísticamente esta percepción.

La evidencia científica sí permite aseverar que el Uruguay y la región han experimentado durante los últimos 10 000 años oscilaciones en sus características climáticas, alternando entre fases frías-secas y cálidas-húmedas. Los análisis estadísticos de la serie instrumental de datos meteorológicos y los principales modelos de cambios climáticos concuerdan, a su vez, en que la trayectoria reciente presenta condiciones crecientemente cálidas y de mayor precipitación acumulada anual, esto último debido fundamentalmente al impacto de

una mayor frecuencia de eventos intensos de precipitación. El análisis sistémico indica que el factor clave para el Uruguay es la adaptación de su sistema socioeconómico (a su vez en proceso de profundos cambios) a una creciente variabilidad más que a las tendencias medias esperadas debido al cambio climático.

La variabilidad de la producción en un país aún poco diversificado en términos productivos y extremadamente dependiente de sus recursos naturales, plantea, en el futuro inmediato, grandes desafíos de adaptación y transformación de sus sistemas socio-ecológicos (ses). El predominio de los análisis uni-sectoriales en el ámbito de la planificación productiva y territorial no permite prever las demandas reales de agua del conjunto de las principales producciones, generando una considerable vulnerabilidad en los años con precipitaciones por debajo de los promedios históricos.

Más allá de las dificultades indicadas y de los conflictos por la demanda de agua entre las diferentes producciones o entre éstas y el sector energético, se observan importantes cambios (fundamentalmente a nivel técnico de las producciones estudiadas) en la últimas tres décadas que han incrementado la capacidad de adaptación a la variabilidad climática. Sin embargo, persisten importantes desafíos y barreras a superar a efectos de aumentar la capacidad adaptativa y de transformación y por lo tanto la resiliencia de los ses:

- Predominio histórico del enfoque de mitigación.
- Incrementar el conocimiento de la variabilidad y funcionamiento del sistema natural.
- La adaptación requiere una mayor interacción entre diversos componentes de la sociedad. Las sinergias requeridas para una buena capacidad de adaptación aparecen limitadas por una competencia de recursos económicos limitados, así como por la ausencia de esquemas de intercambio de información o cooperación formalmente pautados.
- Ausencia de liderazgo y de un ambiente favorable para el aprendizaje y la cooperación.
- Importantes barreras (forma de financiamiento y mecanismos de evaluación académicas) en las interacciones entre el componente científico, los gestores, tomadores de decisión y políticos.

9.1 MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN: ACTUALIDAD Y TRAYECTORIA HISTÓRICA

A efectos de comprender las características actuales del sistema de respuesta del Uruguay ante la variabilidad climática es importante analizar las condiciones actuales y la trayectoria histórica. El país se encuentra atravesando una transición desde el predominio de estrategias de mitigación hacia un esquema con mayor énfasis en la adaptación. La capacidad de respuesta a eventos extremos recientes, como la última sequía presenta señales alentadoras en cuanto a la predicción del evento y su incorporación en la planificación productiva (ver Capítulo 5) así como la puesta en práctica de medidas mitigadoras en algunos tipos de producción y regiones del país (por ejemplo suministro de forraje en el caso de la ganadería y lechería).

La vulnerabilidad del sistema productivo se ha incrementado sustancialmente en la última década debido a la pérdida de resiliencia del sistema frente a la variabilidad climática histórica del Uruguay. Sin lugar a dudas se deben generar capacidades de adaptación a los escenarios climáticos futuros, pero es necesario adaptar los sistemas de producción a las características climáticas actuales. La expansión e intensificación productiva generan una mayor demanda de agua y menor capacidad de resiliencia del SES. A modo de ejemplo, a fines del siglo XX el ganadero tenía mayor capacidad de enfrentar las sequías simplemente por disponer de mayor área de campo natural, en los últimos años, parte de este sistema ha sido ocupado por la forestación o la agricultura. En función de este ejemplo y otros casos que deben evaluarse, como la interacción entre la forestación y la producción hidroeléctrica (ver Crisci 2011) se torna evidente la necesidad de superar los análisis unisectoriales (particularmente en la definición de políticas y estrategias asociadas) ya que limitan seriamente la capacidad de adaptación actual.

El Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático, a través de la elaboración del Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático, constituye un avance muy positivo, al crear un ámbito de intercambio de información, coordinación y diseño conjunto de estrategias. En otras palabras, se instala una estructura puente para superar la fragmentación y compartimentación dentro del Estado. Es pertinente destacar que esta importante iniciativa surge como consecuencia de una severa sequía a fines de la década pasada. Es crucial evaluar el funcionamiento de esta organización puente a efectos de determinar si los objetivos de su creación se están cumpliendo o no.

Otra señal muy clara y positiva del sistema es la coordinación, dentro del propio mgap, de diversas iniciativas relacionadas con la mitigación y adaptación del sistema, política que se refleja nítidamente en los nuevos proyectos financiados por organismos internacionales.

En los dos últimos períodos de gobierno se observan esfuerzos muy importantes a efectos de reducir la fragmentación y compartimentación en la toma de decisión y definición de políticas a nivel del Estado. La creación de la anii, los gabinetes ministeriales por áreas, las comisiones de cuencas, entre otros, representan transformaciones sustanciales y alentadoras a los efectos de superar barreras estructurales del funcionamiento de los ses. Esta misma situación se observa en el ámbito académico, donde predomina la vieja constatación: el mundo tiene problemas, la universidad departamentos. Sin embargo, aquí también aparecen señales destacables, como lo constituye la reciente creación del Espacio Interdisciplinario en el ámbito de la udelar. Una tesis de postgrado, reciente, de Facultad de Ingeniería (fing) titulada: Modelación de los recursos hídricos y sus principales usos en la cuenca de aporte a Rincón del Bonete, evaluación económica comparativa (Crisci 2011) presenta varias características singulares. En primer lugar, la unidad de análisis (una cuenca) y en segundo término, el estudio incluye un conjunto de actividades como la forestación, la producción arrocera y la generación hidroeléctrica. Este es un ejemplo concreto que ilustra cómo avanzar en el futuro.

Los comentarios anteriores resultan muy relevantes, ya que gran parte de la adaptación a las condiciones actuales y futuras dependerá de estrategias multisectoriales y multiprediales. Resulta evidente que una alternativa a efectos de reducir la vulnerabilidad del sistema es crear capacidad de almacenamiento de agua superficial o suministro de agua subterránea, es claro que la planificación de estas medidas debe incluir al sector productivo, energético y de turismo, de acuerdo a las características de la matriz económica del Uruguay.

9.2 INCREMENTO DEL CONOCIMIENTO DE LA VARIABILIDAD Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA NATURAL

La disponibilidad tanto de datos meteorológicos (en tiempo real) como climáticos, en la forma de valores de referencia o “normales”, valores extremos, fechas esperadas de comienzo y finalización de eventos (heladas, etc.) sirven de base para la planificación a corto y largo plazo de numerosas actividades productivas. Desde la creación del primer Servicio de Meteorología Oficial (Oficina Meteorológica del Puerto de Montevideo) en 1895, la información requerida por los usuarios individuales ha variado ampliamente, abarcando desde simples reportes del estado del tiempo pasado, hasta complejas elaboraciones estadísticas para el estudio de factibilidad de explotaciones agrícolas, puesta en funcionamiento de sistemas de acondicionamiento térmico y evaluación de los recursos energéticos renovables, como la energía eólica o la solar.

Tanto el volumen como la complejidad de la información suministrada han crecido sustancialmente en las últimas décadas. La razón de esta proliferación ha sido el deseo y la necesidad por parte de los usuarios, sean estos integrantes de organizaciones gubernamentales, empresas privadas o productores, de información meteorológica, tanto de pronósticos del tiempo como de tendencias climáticas estacionales o el procesamiento de datos climáticos que ayuden a la planificación.

Los pronósticos meteorológicos (a 24 o 48 hs) se realizan y se utilizan desde mucho tiempo atrás en el país (al menos desde comienzos del siglo xx), no es este el caso para los servicios climáticos, que solo recientemente han tenido una fuerte demanda, debido al mejor monitoreo y conocimiento del sistema climático. En Uruguay, para ciertos aspectos de planificación económica y comercial, aún se sigue ignorando en gran medida la información climática. La razón de ello puede buscarse en que los encargados de tomar decisiones piensan que otras variables deben priorizarse, en detrimento del clima, ya que éste se manifiesta de una manera aparentemente aleatoria. Desde luego, existen excepciones notables a esta valoración general en la toma de decisiones a largo plazo: como sucede en la agricultura, en la producción y comercialización de cereales, vegetales, frutas, entre otros, que corren a cargo de aquellas personas que poseen una sensibilidad y conocimiento del clima y de las anomalías climáticas, no solo sobre el Uruguay, sino también sobre otras importantes regiones productoras mundiales. De igual modo, los responsables del abastecimiento de agua potable y de la generación hidroeléctrica son cada vez más sensibles a la información meteorológica y climática disponible.

La información meteorológica que se monitorea actualmente consiste en medidas de variables atmosféricas a nivel horario en las estaciones Meteorológicas de la Red Nacional, que consta de unas 23 estaciones. A éstas se agregan las estaciones pluviométricas (observaciones de precipitación) las cuales suman unos 270 puntos (Figura 9.1).

REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY
RED PLUVIOMETRICA NACIONAL

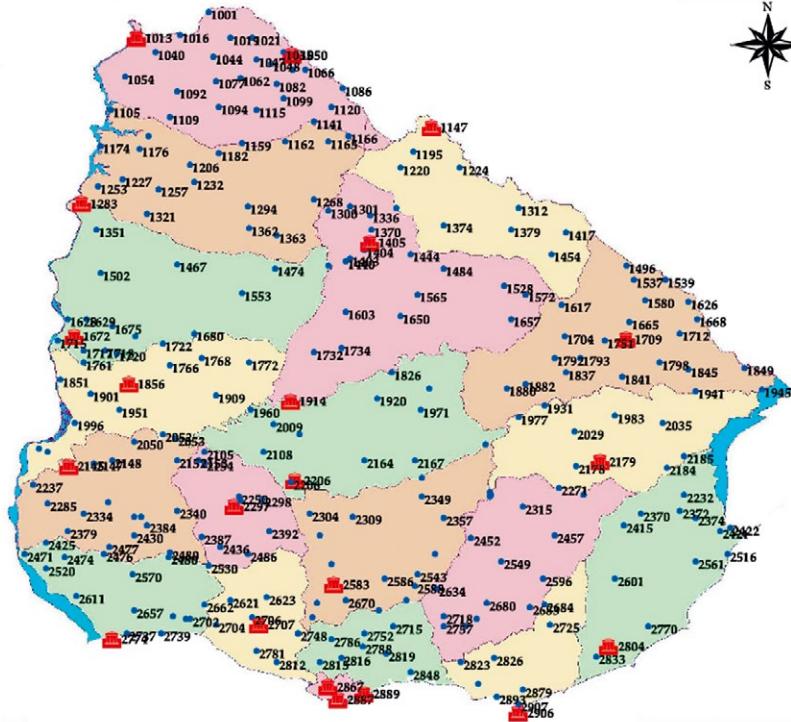


Figura 9.1. Red Pluviométrica Nacional (puntos en azul) y Red Meteorológica (puntos en rojo).
Fuente: DNM.

Las variables observadas en las estaciones convencionales son:

- 1) Temperatura de bulbo seco y húmedo media
- 2) Humedad relativa media
- 3) Velocidad y dirección del viento
- 4) Nubosidad total y discriminada por alturas
- 5) Tipos de nubes
- 6) Estado del tiempo presente
- 7) Visibilidad
- 8) Presión atmosférica al Nivel de la estación y al NMM cada 3 horas
- 9) Temperatura máxima y mínima cada 12 horas
- 10) Precipitación acumulada cada 24 horas

- 11) Precipitación registrada cada 10 minutos (pluviógrafo)
- 12) Evaporación acumulada en 24 horas
- 13) Recorrido del viento a 2 m de altura
- 14) Insolación medida en horas de sol acumulada en 24 horas
- 15) Temperaturas del suelo (geo-temperaturas) a diferentes niveles cada 12 horas

En fecha reciente (2011) se han instalado al menos tres estaciones meteorológicas automáticas en los aeropuertos de Carrasco, Laguna del Sauce y Rivera. Se planifica en el año 2012 instalar cuatro estaciones automáticas adicionales en Colonia, Rocha, Paso de los Toros y Salto, dentro de los predios de las actuales estaciones convencionales.

Es de destacar que el país cuenta con cinco estaciones automáticas adicionales ubicadas en: Estaciones Experimentales del inia en La Estanzuela (Colonia), Las Brujas (Canelones), Tacuarembó, Salto Grande (Salto) y Treinta y Tres. En general, la información recolectada es diaria y se encuentra disponible en la página web del inia.

Los valores de referencia climáticos, en el país, se efectúan sobre la base de estadísticas mensuales de valores esperados y extremos. Estos valores están estimados sobre un periodo de 30 años (1961-1990) y se les conoce como valores normales. La rutina mensual de detección de anomalías climáticas se calcula por los desvíos de las principales variables respecto a sus valores normales. La rutina es algo diferente en el caso de la precipitación, donde se prefiere identificar mes a mes el valor del intervalo inter-quintil o el Índice Estandarizado de Precipitación para cada estación meteorológica. Se prefiere no calcular los desvíos de precipitación mensual debido a que la distribución estadística mensual de los valores de precipitación, en general, no se ajusta a una distribución *gaussiana*. A partir de los signos de las anomalías y la persistencia de las mismas, se establecen las anomalías climáticas correspondientes para cada variable. Por medio de los valores acumulados decádicos de precipitación, suministrados por la dnm, el inia (desde 1999) elabora un Balance Hídrico Nacional que es publicado en la sección agro-meteorología de su página web.

Desde el año 2005, mediante un acuerdo entre la udelar y la dnm, se ha establecido un Servicio de Pronóstico Climático. Este servicio es esencial para la planificación de la actividad agropecuaria a mediano plazo. Este producto está basado en la información de salidas de modelos climáticos y estadísticos para la región y un adecuado conocimiento de cómo se procesan las llamadas tele conexiones climáticas sobre la misma. La información climática al público, se divulga en forma de mapas mensuales y cada diez días con información de interés para el sector agropecuario.

Además de las consultas específicas de usuarios y de informes climatológicos hechos a medida, la dnm planifica en el corto plazo un servicio de consulta a través de Internet de la información meteorológica diaria y mensual.

Las limitaciones actuales del monitoreo meteorológico del Uruguay se vinculan a la insuficiente cobertura espacial y temporal (escaso número de observaciones convencionales durante la noche). Parte de estas limitaciones podrían subsanarse a través de:

- a) Instalación de nuevas estaciones automáticas en sitios alejados de las actuales.

- b) Inclusión de nuevos sensores, hoy no disponibles, como radiación solar y humedad de suelo, entre otros.
- c) Incorporación en forma operativa de la información proveniente de plataformas remotas (satélite, radar, etc.), no solo para el monitoreo en tiempo real sino para los nuevos productos climáticos.
- d) Incorporación de mediciones remotas rutinarias de la vertical de la atmósfera sobre Uruguay por medio de perfiladores o instrumentos similares.
- e) Evaluar y poner en operación técnicas estadísticas/dinámicas de mejora de la resolución espacial (downscaling).

A pesar de que las series temporales de observaciones datan de tiempo atrás, en especial en Montevideo (desde 1901), la información histórica transferida a soporte digital es relativamente escasa. La dnm ha instalado, gracias a un proyecto con financiamiento externo, una Base de Datos Hidrometeorológica (mch: Meteorología, Climatología e Hidrología) la cual es de código abierto y fue desarrollada por el Instituto Nacional del Agua de México. Esta base de datos ha comenzado a funcionar en el año 2008 y permitió transferir a soporte digital los registros horarios y diarios de todas las variables en tiempo real. Asimismo, se transfirió información a soporte digital de las Estaciones de Carrasco, Prado y Melilla del periodo 2001-2010.

La precipitación diaria de estaciones pluviométricas y meteorológicas fue transferida a la base mch desde el año 1980 hasta el presente. La información que hoy es ingresada a la base de datos es consistente en su calidad, por medio de controles por rango. Esta información se integra luego a la base de datos relacional de valores horarios y diarios. Se obtienen a partir de la base de datos reportes de valores horarios, diarios y mensuales. Al mismo tiempo, la dnm a través de la Dirección de Climatología y Documentación, posee un banco de datos con valores mensuales de temperatura media, temperaturas extremas, precipitación, presión atmosférica, insolación, humedad relativa, etc. Esta información está disponible en forma de planillas electrónicas, de manera de rápidamente poder imprimir reportes y gráficas. El periodo cubierto por este banco de datos abarca desde 1970 al presente.

En el 2011, se realizó un trabajo de rescate de datos en soporte papel, a través del convenio entre dnm, la Dirección Nacional de Agua (dinagua) y fing de la udelar. Es así que se digitalizaron los registros pluviográficos de todas las estaciones meteorológicas del país. Los registros continuos de precipitación en papel, desde el año 1977 a la fecha, fueron escaneados y luego sometidos a un programa de reconocimiento de curvas, pasando a registro digital, la información tanto de intensidad como montos de acumulados de lluvia. Este tipo de trabajo de rescate de bandas de registro debería repetirse para otras variables como termohigrógrafos, heliógrafos, barógrafos, etc. con igual metodología.

Los registros manuscritos de observaciones meteorológicas, que existen desde el comienzo del funcionamiento de la red de estaciones meteorológicas (finales de la década del 40 del siglo xx), deberían ser sometidos a una digitalización con medios especializados. La información abarca el conjunto de 12 estaciones distribuidas en todo el país, con tres observaciones diarias del estado del tiempo hasta finales de la década de 1970. Si bien actualmente se está haciendo un esfuerzo por digitalizar la información meteorológica horaria, se dio prioridad a los últimos años pretéritos y solo algunas variables (temperaturas extremas, dirección y velocidad del viento, etc.).

9.3 CAPACIDADES Y DIFICULTADES EN LA PREDICCIÓN DE ESCENARIOS FUTUROS.

En el marco teórico de este informe se listaron algunas de las limitaciones principales de la capacidad para percibir la complejidad de los fenómenos asociados a los ses, al mismo tiempo, en el Capítulo 8, se indican las dificultades para predecir escenarios futuros de la variabilidad y cambio climático. En forma muy resumida, se indican nuevamente los principales: focalización en aspectos cuantificables y marginación de otros factores cualitativos relevantes; confianza en los modelos dominantes de análisis científico; dificultad para incorporar la incertidumbre y el riesgo en la toma de decisiones; y la falta de consulta y diálogo con los usuarios más relevantes de la información climática. Además, para predecir escenarios futuros, la gestión de la información es muy importante dado que permite mayor conciencia, involucramiento y participación.

En Uruguay, en este sentido, el pnrcc del snrcc (mvotma 2010) apuntó a cuatro aspectos transversales en relación a la gestión de la información referente a cambio climático:

- La diversidad de escalas espaciales disponibles en función de los diferentes objetivos específicos perseguidos, las cuales dificultan la integración de la misma.
- El escaso dinamismo de la información, ya sea porque se construyó con un objetivo puntual o porque los planes de monitoreo implementados no consideraron cabalmente el mantenimiento en el tiempo de la experiencia.
- Las limitaciones en los recursos, tanto humanos como de equipamiento, para el procesamiento y análisis de la información, aun en instituciones con capacidad instalada para su registro sistemático.
- Las dificultades para el intercambio y cooperación interinstitucional.

La mayoría de estos puntos manifiestan un diagnóstico de un sistema institucional relativamente inmaduro en cuanto a capacidades, así como importantes dificultades para el diálogo entre diversos agentes-actores involucrados. Profundizando en el mapeo de instituciones involucradas en el snrcc, a mediados de 2010 se presentó un informe de consultoría (Márquez 2010) que buscó realizar una fotografía del estado del arte en materia de programas, proyectos y estudios en marcha que colaboren en la realización de los objetivos del pnrcc. Algunas conclusiones parciales que derivan de este informe, así como información recogida en otros proyectos y evaluaciones parciales, son:

- Existe un número significativo de programas y proyectos en el país sobre adaptación (19 casos), mitigación (diez casos, incluidos cinco en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto) y fortalecimiento organizacional e institucional (siete casos). El nivel de análisis y actuación es de carácter nacional más que subnacional, con la excepción de Montevideo y área metropolitana; por lo tanto, la territorialización del análisis y respuesta al cambio climático es muy limitada.
- Los programas y proyectos se encuentran espacialmente dispersos y, en general, desconectados uno de otros. Sin embargo, se concentran en los siguientes organismos públicos: Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente; Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Intendencia de Montevideo; Oficina de Planeamiento y Presupuesto

y Sistema Nacional de Emergencia –Presidencia de la República. Una actualización de este mapeo subraya también a la Dirección Nacional de Meteorología y otras reparticiones del Ministerio de Defensa Nacional; la Dirección Nacional de Energía del Ministerio de Industria, Energía y Minería; la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ancap); la Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (ute) y la Universidad de la República.²

- Los programas y proyectos dependen enormemente de la financiación externa, proveniente principalmente del Sistema de Naciones Unidas, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (fmam) del Banco Mundial; Agencia Española de Cooperación Internacional Para El Desarrollo (aecid) y Banco Interamericano de Desarrollo (bid).
- Los proyectos se concentran en las áreas de gestión del riesgo y producción. En este último caso, la gran mayoría está en el sector agropecuario y, en menor medida, en el sector energético. También existen proyectos asociados al área costera (Río de la Plata) y áreas protegidas (localizadas principalmente en el área costa Atlántica).
- La investigación académica es fragmentaria, aislada, sectorizada y extremadamente poco divulgada. Por todo esto, tiene poca incidencia en las políticas públicas o acciones privadas de empresas y organizaciones sociales.
- Es notoria la falta de recursos humanos y técnicos. A lo que indica el informe, es posible agregar que no existe a nivel académico una masa crítica que se encuentre actualmente debatiendo sobre el tema de variabilidad y cambio climático y, mucho menos, que esté a su vez conectada con la discusión internacional. El dato de que hace solo cinco años que se formó la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera en la udelar es, por un lado, muy alentador; y por otro, hace comprensible lo reducido de la comunidad científica involucrada. Lo mismo se puede mencionar sobre la formación en 2010 del Centro Interdisciplinario: Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática, también de la udelar.
- El snrcc no tiene, hasta el momento, suficiente capacidad articuladora para acortar las distancias entre análisis científico y aplicación a nivel oficial. A su vez, como institucionalidad del cambio climático, compite con los espacios más tradicionales del mvotma (dinama; Unidad de Cambio Climático). La otra institución articuladora es el sne, pero que por su carácter de acción frente a eventos extremos, tiene una dimensión de futuro y planificación de más corto plazo. Finalmente, el mgap puede liderar; pero su esfuerzo presenta el sesgo inevitable de sus objetivos y de la demanda de los sectores sociales que influencian su accionar.

En vista de la austera descripción anterior, además de los distintos elementos que se fueron presentando en el resto del informe en relación a las capacidades materiales, cognoscitivas e institucionales para la predicción de escenarios futuros de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en el sector agropecuario, cabe anotar algunas recomendaciones en torno a la generación y gestión de la información:

2 - Resultados parciales del proyecto en curso “Desarrollo de una metodología para el estudio de la percepción cultural del clima en Uruguay en el marco del Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático”. Facultad de Ciencias Sociales / CSIC / UDELAR.

- La información climática y el conocimiento generado de su sistematización y análisis deberían ser de acceso libre para todos los actores del sistema. Para ello, el uso de las nuevas tecnologías de la información, en particular Internet, brindan la plataforma necesaria para publicar resultados a los que accede un creciente y demandante público.
- Es necesario aumentar la cantidad de estaciones de registro de información climática. En la jerarquización de su ubicación, en un plan gradual de cobertura nacional, es imprescindible considerar la relación esfuerzo de obtención-importancia del dato.
- El aumento de la cantidad de estaciones de registro deberá ir acompañado de una mejora en el registro, a través de tecnologías automáticas y/o de la capacitación y compromiso del personal asignado.
- La institución que finalmente articule el snrcc deberá ocuparse con mucha atención de la recolección y difusión masiva de la información y del conocimiento existente, así como su “traducción” para los distintos usuarios en un sistema de información climática.
- Aprovechar los momentos de relativa bonanza en recursos económicos para consolidar un sistema nacional de información climática, cuyo control y evaluación debería ser compartido por la academia, el poder político y la sociedad civil.
- Establecer una masa crítica de científicos vinculados a Ciencias de la Atmósfera resulta crucial y, para ello, se deben desarrollar estrategias de mediano y largo plazo, probablemente dentro de la anii y con fondos provenientes del propio sector productivo o energético del país. La capacidad de interacción entre el ámbito académico y el gestor o político no dependen exclusivamente de recursos económicos, los sistemas de evaluación actuales de la actividad académica no ponderan adecuadamente este tipo de aportes, limitando seriamente la capacidad adaptación.
- De acuerdo a Gunderson et al. (2006) existen cuatro características básicas para que el snrcc promueva capacidad de adaptación y transformación. La red debe ser abierta, flexible e incorporar diferentes aproximaciones y visiones (académicos, productores, políticos, entre otros). Este espacio debe contemplar diferentes estrategias de difusión y aprendizaje, las que son completamente diferentes según el público objetivo y constituyen una de las barreras más importantes en la difusión del conocimiento, medidas o políticas adoptadas. El snrcc debe constituirse en un espacio confortable para el encuentro y el aprendizaje. Este ámbito puede alcanzar sus objetivos y metas siempre que representen un espacio de confianza, tanto en el conjunto de los integrantes como en los liderazgos que deben establecerse. Estos aspectos deben evaluarse en detalle en las siguientes etapas del proyecto fao-tcp.
- Carpenter y Folke (2006) destacan que las relaciones entre los ecosistemas y las sociedades cambian continuamente, por lo tanto, es difícil predecir las consecuencias de acciones de manejo o estrategias adoptadas. En este sentido, estrategias como la creación del snrcc deben ser consideradas experimentos que incrementan el conocimiento de la dinámica de los sistemas socio-ecológicos, siempre que sean monitoreados y analizados apropiadamente.

- En Uruguay, el pasaje de la fase de diagnóstico a la implementación de medidas y definición de políticas suele ser muy prolongado. Además no se incorporan esquemas adaptativos, es decir, no se genera capacidad de monitoreo y análisis de los resultados de las medidas o estrategias implementadas. Estas limitaciones generan un patrón muy claro: en general, se busca al responsable de las medidas que no funcionaron, en lugar de analizar las razones por las cuales las mismas no alcanzaron el éxito. Este patrón se refuerza por otra característica cultural a destacar: el fracaso o error se entienden exclusivamente como una alternativa negativa, en lugar de considerarlo como una ventana de oportunidad para el aprendizaje de aquellas medidas o estrategias que funcionan y aquellas que no.



10

Conclusiones

El evento climático que afecta más severamente a los sistemas productivos evaluados se vincula al déficit de precipitaciones en diferentes períodos del año, de acuerdo al sistema considerado.

La variabilidad climática de los últimos 10 000 años y del periodo de registro instrumental (siglos xx y xxi) indican que el sistema varía entre fases frías y secas y períodos más cálidos y húmedos. La variabilidad de las condiciones climáticas es importante en todas las escalas temporales analizadas, por lo tanto, la capacidad de adaptación depende fundamentalmente del análisis de la variabilidad más que de las tendencias interanuales o decadales.

La información paleoclimática, el registro instrumental y los modelos predictivos son congruentes en establecer escenarios futuros de mayor temperatura y mayor precipitación anual acumulada. Sin embargo, la variabilidad interanual de estas variables y otras probablemente se incrementará.

El actual proceso de expansión e intensificación productiva incrementa la vulnerabilidad del sistema socio-ecológico, ya que no incorpora las principales características de la variabilidad climática actual. En caso de continuar con las características actuales, seguramente la capacidad de adaptación será aún más limitada en los nuevos escenarios de variabilidad climática.

Las características antes indicadas son generadas por múltiples factores: predominio de análisis sectoriales en la planificación territorial y productiva del país; excesiva comparti-

mentación en los procesos de gestión y toma de decisión; ausencia de mecanismos formalmente pautados de intercambio de información y cooperación; un academia con una masa crítica muy reducida; limitado intercambio entre el ámbito de la gestión, político y el académico debido a diversos factores; falta de recursos materiales y humanos en el registro de la información meteorológica, su análisis y desarrollo de modelos predictivos; no incorporación de la información climática en la planificación de varias actividades productivas, debido a diversos factores que se analizan a lo largo de varios capítulos de este informe.

En los dos últimos períodos de gobierno se constatan esfuerzos importantes a efectos de revertir la situación previamente descrita, el establecimiento del snrcc, creación de gabinetes ministeriales, una mayor coordinación en las iniciativas del mgap con apoyo económico externo o nacional, entre otros, son cambios considerables que deben ser analizados en profundidad en las siguientes etapas del proyecto fao-tcp: *Nuevas Políticas para la adaptación de la agricultura al Cambio Climático* (tcp/uru/3302). Estos cambios representan, por sobre todas las cosas, grandes experimentos (en sentido amplio) a partir de los cuales se deben identificar los aciertos y errores. En este sentido, el país debe pasar de modo “identificar el responsable de los errores” a comprender la causalidad de éstos y obrar en consecuencia.

Incrementar la capacidad de comprensión de la variabilidad climática actual y futura implica desarrollar estrategias de mediano y largo plazo, la actual situación económica es una excelente ventana de oportunidad para generar el cambio cualitativo necesario e imprescindible. Mejorar el sistema actual de información, el rescate de información histórica en papel y generar un sistema abierto de bases de datos son solo algunos de los lineamientos sugeridos en el presente documento. Además de estas medidas, es importante analizar los esquemas de valoración de la actividad académica nacional, ya que los imperantes en la actualidad no estimulan la interacción entre la academia, los tomadores de decisión y el ámbito político.

Comprender la variabilidad climática es solo una parte de la capacidad de adaptación y transformación actual y futura. De acuerdo a la información presentada en este documento, la mayor vulnerabilidad del sistema productivo no parece estar relacionada a un cambio sustancial en la variabilidad del sistema natural. Por el contrario, la clave parece radicar en comprender si el actual proceso de expansión e intensificación agrícola se adapta a la variabilidad actual. La delimitación del sistema que se debe analizar y la correcta definición del problema son cruciales al respecto. En las siguientes etapas del proyecto tcp-fao resulta crítica la determinación de cuáles son los componentes claves y sus interacciones en el diseño de nuevas estrategias de adaptación.

Referencias bibliográficas

adams, j. y h. faure. 1997. *Preliminary Vegetation Map of the World since the Last Glacial Maximum: an Aid to Archaeological Understanding*. Journal of Archaeological Science, 24:623- 647.

adger, w.n., s. dessai, m. goulden, m. hulme, i. lorenzoni, d. r. nelson, l.o. naess, j. wolf y a. wreford. 2007. *Are there social limits to adaptation to climate change?* *Climatic Change* 93(3-4):335-354.

allison, h.e. y r.j. hobbs. 2004. *Resilience, adaptive capacity, and the “lock-in trap” of the Western Australian agricultural region*. *Ecology and Society* 9(1): 3. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art3/>.

anderson,d.g.,k.a.maasch,d.h.sandweiss y p.a.mayewski. 2007. *Climate and culture change: exploring Holocene transitions*. En: *Climate Change and Cultural Dynamics: A Global Perspective on Mid-Holocene Transitions*. anderson, d.g., k.a. maasch y d.h. sandweiss (eds.): 1-23. Elsevier.

barros v., p. leite da silva dias y r. clarke. 2006. *El Cambio Climático en la Cuenca del Plata*. cima. Universidad de Buenos Aires. 74-86 pp.

behling, h. 1995. *Late Quaternary environmental history from 5 new sites in the Brazilian tropics*. Abstracts, 14th INQUA Congress, Berlin, p 25.

behling, h. 1998. *Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil*. *Review of Palaeobotany and Palynology* 99: 143-156.

- behling h. 2002. *South and Southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 177:19–27.
- behling, h. 2007. *Late Quaternary vegetation, fire and climate dynamics of Serra do Araçatuba in the Atlantic coastal mountains of Paraná State, southern Brazil*. *Veg. Hist. Archaeobot.* 16:77–85.
- behling h, v. pillar, l. orlóci y s.g. bauermann. 2004. *Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 203:277–297.
- berkes, f. y c. folke, editors. 1998. *Linking social and ecological systems*. Cambridge University Press, Cambridge, uk.
- berkes, f., j. colding y c. folke, editors. 2003. *Navigating social–ecological systems:building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press, Cambridge, uk.
- bidegain m. 2009a. *Variabilidad climática y sequías en Uruguay*. Anales de 2da Semana de Reflexión sobre Cambio y Variabilidad Climática.
- bidegain m. 2009b. Reporte final Proyecto URU/07/G32 “*Implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático en áreas costeras del Uruguay*”. Producto 3 “*Escenarios climáticos regionales futuros de las variables de referencia y el nivel mar basado en escenarios socioeconómicos SRES A2/B2 y modelos globales avalados por el IPCC de buena performance sobre el Sudeste de Sudamérica”*
- bidegain m y i. camilloni. 2006. *Performance of GCMs and Climate Future Scenarios for Southeastern South America*. 8th International Conference of Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Foz de Iguaçu. Brasil.
- biggs, r., f.r. westley y s.r. carpenter. 2010. *Navigating the back loop: fostering social innovation and transformation in ecosystem management*. *Ecology and Society* 15(2): 9. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss2/art9/>.
- blasi, a., a.r. prieto, c. castiñeira, e. fucks, l. del puerto, c. de francesco, a. figini. j. carbonari, r. huarte y p. hanson. 2008. *Variaciones ambientales y climáticas durante el Pleistoceno tardío en la cuenca media del río Luján, Argentina*. XII Reunión Argentina de Sedimentología. Libro de Resúmenes, p 43.
- blasi, a., c. castiñeira, l. del puerto, h. inda, r. bracco y f. garcía-rodríguez. 2005. *Sedimentación Holocena en Los Bañados de Santa Teresa y el Registro Arqueológico, Planicie Costera del Departamento de Rocha, Uruguay*. En Actas del XV Congreso Geológico Argentino. Eds.: n. cabaleri, c.a. cingolani, e. linares, m.g. lópez de luchi, h.a. ostera y h.o. panarello. cd-rom. Artículo 486, 8 pp.
- bocking, s. 2004. “*Nature's experts: science, politics, and the environment*”. Rutgers University Press, New York, New York, USA.
- bond, g., showers, w., elliot, m., evans, m., lotti, r., hajdas, i., bonani, g. y johnson, s. 1999. “*The North Atlantic's 1-2 kyr Climatic Rhythm: Relation to Heinrich Events, Dansgaard/Oeschger Cycles and the Little Ice Age*”. En: *Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales*. *Geophysical Monograph* 112: 35-58.

bond, g., kromer, b., beer, j., muscheler, r., evans, m., showers, w., hoffmann, s., lotti-bond, r., hajdas, i. y bonani, g. 2001. "Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate during the Holocene". *Science* 294:2130:2136.

bracco, r. y c. ures. 1998. "Las variaciones del nivel del mar y el desarrollo de las culturas prehistóricas del Uruguay". *Revista do Museo de Arqueología e Etnología*, 8:109-115.

bracco, r. f. garcía-rodríguez, h. inda, l. del puerto, c. castiñeira y d. panario. 2011. "Niveles relativos del mar durante el Pleistoceno final-Holoceno en la costa de Uruguay". En: *El Holoceno en la zona costera de Uruguay*. Ed: f. garcía-rodríguez.65-92.

bracco, r. l. del puerto y h. inda. 2008. "Prehistoria y arqueología de la cuenca de la Laguna Merín". En: *Entre la Tierra y el Agua. Arqueología de Humedales de Sudamérica*. d. loponte y a. acosta (comps.): 1-60. Ed. Libros del Riel, Argentina.

bracco, r. l. del puerto, h. inda y c. castiñeira. 2005a. Middle-late Holocene cultural and environmental dynamics in the east of Uruguay. *Quaternary International* 132: 37-45.

bracco, r., h. inda, l. del puerto, c. castiñeira, p. sprechmann y f. garcía-rodríguez. 2005b. *Links between Holocene sea level variation, trophic development and climatic change in Negra Lagoon, southern Uruguay*. *Journal of Paleolimnology* 33: 253-263.

bracco, r., j.r. montaña, j. bossi, h. panarello y c. ures. 2000. "Evolución del Humedal y Ocupaciones Humanas en el Sector Sur de la Cuenca de la Laguna Merín". En: *Arqueología de las Tierras Bajas*. a. duran y r. bracco boksar (eds.): 99-116. Ministerio de Educación y Cultura. Uruguay.

bradley, r.s., k.r. briffa, j. cole y m.k. hughes. 2003. The Climate of the Last Millennium. En: *Paleoclimate, Global Change and the Future. Global Change - The IGBP Series*. alverson, k.d., r.s. bradley y t.f. pedersen (eds.):104-141. Springer, Berlin.

burkett, v., d.a. wilcox, r. stottlemyer, w. barrowa, d. fagre, j. baron, j. price, j.l. nielsen, c.d. allen, d.l. peterson, g. ruggerone y t. doyle. 2005. Nonlinear dynamics in ecosystem response to climatic change: Case studies and policy implications. *Ecological Complexity* 2: 357–394.

campos, s., del puerto, l. y h. inda. 2001. Opal phytoliths analysis: its application to the archaeobotanical record in the East of Uruguay. En: *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*. j.d. meunier y f. colin (eds.): 129-142. Ed. Balkema Publisher, Lisse, France.

carpenter, s.r. y w.a. brock. 2008. Adaptive capacity and traps. *Ecology and Society* 13(2):40. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art40/>.

carpenter, s.r., h.a. mooney, j. agard, d. capistrano, r.s. defries, s. díaz, t. dietz, a.k. duraiappah, a. oteng-yeboah, h.m. pereira, c. perrings, w.v. reid, j. sarukhan, r.j. scholes y a. whyte. 2009. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *PNAS* 106(5):1305-1312.

cash, d.w., w.n. adger, f. berkes, p. garden, l. lebel, p. olsson, l. pritchard y o. young. 2006. Scale and cross-scale dynamics: governance and information in a multilevel world. *Ecology and Society* 11 (2): 8. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss2/art8/>.

castiñeira, c. 2008. *Aspectos de la colonización humana prehistórica del noroeste de Uruguay*. Tesis doctoral, Departamento de Posgrado de la Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires. 361 pp.

castiñeira, c. y j. fernicola. 2006. Tefrocronología y avances para una reconstrucción paleoclimática del Holoceno Medio en la Región Norte del Uruguay. *Anales de Arqueología y Etnología*. Instituto de Arqueología y Etnología. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo. N° 59-60:229-252.

castiñeira c., j. fernicola, m. zárate, a. blasi, r. bracco, h. inda y l. del puerto. 2005. Aportes para una actualización de la correlación estratigráfica: Formación Sopas (Norte Uruguay)-Formación Lujan (Prov. de Buenos Aires). Implicancias Arqueológicas. *Actas del Primer encuentro de Discusión Arqueológica del noroeste Argentino "Arqueología de cazadores recolectores en la cuenca del Plata Museo Etnográfico y Colonial "Juan de Garay" Santa Fe. Argentina.*

clapperton, c. 1993. *Quaternary Geology and Geomorphology of South America*. Elsevier. 779 pp.

cncg. 1997. *Assessment of Climate Change Impacts in Uruguay. Uruguay Climate Change Country Study Final Report*, Comisión Nacional sobre el Cambio Global, Montevideo.

cortner, h. j. y m.a. moote. 1999. *The politics of ecosystem management*. Island Press, Washington, D.C., USA.

crisci, m. 2011. Modelación de los recursos hídricos y sus principales usos en la cuenca de aporte a Rincón del Bonete. Evaluación Económica Comparativa. Tesis de Maestría en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. udelar.

dansgaard, w., s. johnsen., h. clausen, d. dahl-jensen, n. gunnestrup y c. hammer. 1984. North Atlantic climatic oscillations revealed by deep Greenland ice cores. En: *Climate Processes and Climate Sensitivity*. hansen, j. y t. takahashi (eds.): 288-298. American Geophysical Union, Washington, D.C.

del puerto, l. 2011. Silicofitolitos como indicadores paleoambientales. Bases comparativas y reconstrucción paleoclimática a partir del Pleistoceno tardío en el SE del Uruguay. Editorial Académica Española. 160pp.

del puerto, l. y h. inda. 2005. Silicofitolitos: aplicaciones para la reconstrucción de los sistemas de subsistencia prehistóricos. *Anales de Arqueología y Etnología*. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras, Instituto de Arqueología y Etnología. N° 59-60:207-228.

del puerto, l., f. garcía-rodríguez, r. bracco, c. castiñeira, a. blasi, h. inda, n. mazzeo y a. rodríguez. 2011a. Evolución climática holocénica para el sudeste de Uruguay. Análisis multi-proxy en testigos de lagunas costeras. En: F. García-Rodríguez (ed.) *El Holoceno en la zona costera de Uruguay*. 117-154.

del puerto, l., r. bracco, h. inda, o. gutiérrez, d. panario y f. garcía-rodríguez. 2011b. Assessing links between late Holocene climate change and paleolimnological development of Peña Lagoon using opal phytoliths, physical, and geochemical proxies. *Quaternary International*. In Press. doi:[10.1016/j.quaint.2011.11.026](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.11.026)

del puerto, l., f. garcía-rodríguez, h. inda, r. bracco, c. castiñeira y j. b. adams. 2006. Paleolimnological evidence of Holocene climatic changes in Lake Blanca, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 36:151-163.

deschamps j.r. y e.p. tonni. 2007. Aspectos ambientales en torno al primer fuerte de la frontera sur de Buenos Aires: "El Zanjón" 1745-1779. *Documentos de Trabajo* N° 175. Departamento de Investigaciones. Universidad de Belgrano. 24 pp.

díaz, h. y f. santibáñez. 2012. Coming Down the Mountain: Understanding the Vulnerability of Andean Communities to Hydroclimatologic Variability and Global Environmental Change Project. Marco Metodológico. http://wwwsp.iai.int/index.php?option=com_content&view=article&id=99&Itemid=70%20

estévez, j. 2005. *Catástrofes en la Prehistoria*. Ed. Bellaterra Arqueología, España. 336 pp.

folke, c. 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analysis. *Global Environmental Change* 16(3):253-267.

folke, c., j. colding y f. berkes. 2003. Synthesis: building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. Páginas 352-387 in F. Berkes, J. Colding, and C. Folke, editors. *Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

folke, c., t. hahn, p. olsson y j. norberg. 2005. Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environmental Resources* 30:441-473.

garcía-rodríguez, f. 2002. *Estudio paleolimnológico de lagunas de Rocha, Castillos y Blanca, sudeste del Uruguay*. Tesis de Doctorado en Biología, opción Ecología. PEDECIBA. Facultad de Ciencias. Udelar. 228 pp.

garcía-rodríguez, f., l. del puerto, c. castiñeira, h. inda, r. bracco, p. sprechmann y b.w. scharf. 2001. Preliminary Paleolimnological Study of Rocha Lagoon, SE Uruguay. *Limnologica* 31: 221 – 228.

garcía-rodríguez, f., n. mazzeo, p. sprechmann, d. metzeltin, f. sosa, h.c. treutler, m. renom, b. scharf y c. gaucher. 2002. Paleolimnological assessment of human impacts in Lake Blanca, SE Uruguay. *Journal of Paleolimnology*. 28:457-468.

garcía-rodríguez f., p. sprechmann, d. metzeltin, l. scafati, d.l melendi, w. volkheimer, n. mazzeo, a. hiller, w. von tümping jr. y f. scasso. 2004a. Holocene trophic state changes in relation to sea level variation in Lake Blanca, SE Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 31: 99-115.

garcía-rodríguez f., d. metzeltin, p. sprechmann, r. trettin, g. stams y l.f. beltrán- morales. 2004b. Upper Pleistocene and Holocene paleosalinity and trophic state changes in relation to sea level variation in Rocha Lagoon, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 32:117-135.

garcía-rodríguez f., d. metzeltin, p. sprechmann y l.f. beltrán-morales. 2004c. Upper Pleistocene and Holocene development of Castillos Lagoon in relation to sea level variation, SE Uruguay. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 2004: 641–661.

gonzález-rouco, f., h. von storch y e. zorita. 2003. Deep soil temperature as proxy for surface air-temperature in a coupled model simulation of the last thousand years. *Geophysical Research Letters* 30, 2116.

gunderson, l. 2000. Ecological Resilience – in Theory and Application. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 425-439.

- gunderson, l.h., c.s. holling, editors. 2002. *Panarchy*. Island Press, Washington, D.C., USA.
- gunderson, l.h., carpenter, s.r., folke, c., olsson, p. y g. peterson. 2006. Water RATs (Resilience, Adaptability and Transformability) in Lake and Wetland Social-Ecological Systems. *Ecology & Society* 11(1):16[online] url: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art16/>.
- hoftadter, r. y m. bidegain. 1997. Performance of General Circulation Models in Southeastern South America. *Climate Research* 9(1-2):
- holland, j.h. 1999. *Emergence: from chaos to order*. Basic Books, New York, New York, USA
- holling, c.s. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1–23.
- holling, c.s. 1996. Engineering resilience versus ecological resilience. Páginas 31- 44 en P. Schulze, editor. *Engineering within ecological constraints*. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- holmgren, m., m. scheffer, e. excurra, j. gutiérrez y g. mohren. 2001. El Niño effects on the dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution* 16 (2): 89-94.
- hulme, m. y carter t.r. 1999. Representing uncertainty in climate change scenarios and impacts studies. ECLAT-2 Workshop Report. CRU, Norwich.
- inda, h. 2011. Paleolimnología de cuerpos de agua someros del Sudeste del Uruguay. *Evolución holocena e Impacto Humano*. Editorial Académica Española. 134pp.
- inda, h. y l. del puerto. 2007. Antracología y Subsistencia: Paleoetnobotánica del Fuego en la Prehistoria de la Región Este del Uruguay. Puntas de San Luis, Paso Barranca, Rocha, Uruguay. En: *Paleoetnobotánica del Cono Sur: Estudios de Casos y Propuestas Metodológicas*. b. marconeto, p. babot y n. oliszewski (comps): 137-152. Museo de Antropología, FFyH-UNC. Ferreira Editor, Argentina.
- inda, h., f. garcía-rodríguez, l. del puerto, v. acevedo, d. metzeltin, c. castiñeira, r. bracco y j.b. adams. 2006. Relationships between trophic state, paleosalinity and climatic changes during the first Holocene marine transgression in Rocha Lagoon, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 35: 699-713.
- ipcc. 2007. Cambio Climático 2007. Base de Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (ipcc). S. Solomon et al.
- iri. 2011. International Research Institute. Data Portal. <http://portal.iri.columbia.edu/portal/>
- iriarte, j. 2006. Vegetation and climate change since 14,810 14C yr B.P. in southeastern Uruguay and implications for the rise of early Formative societies. *Quaternary Research* 65:20-32.
- iriondo, m. 1999. Climatic changes in the South American plains: Record of a continent-scale oscillation. *Quaternary International* 57/58:93-112.
- iriondo, m. y n. García. 1993. Climatic variations in the Argentine Plain during the last 18.000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101: 209-220.

isla, f.h. 1989. Holocene sea-level fluctuations in the southern hemisphere. *Quaternary Science Review* 8:359-368.

labeyrie, l., j. cole, k. alverson y t. stocker. 2003. The History of Climate Dynamics in the Late Quaternary. En: *Paleoclimate, Global Change and the Future. Global Change - The IGBP Series*. K.D. Alverson, R.S. Bradley y T.F. Pedersen (Eds.):33-72. Springer, Berlin.

ledru, m. 1992. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. *Quaternary Research* 39:90-98.

leroy, s. 2006. From natural hazard to environmental catastrophe: Past and present. *Quaternary International* 158:4-12.

liu, j. g., t. dietz, s. r. carpenter, m. alberti, c. folke, e. moran, a.n. pell, p. deadman, t. kratz, j. lubchenco, e. ostrom, z. ouyang, w. provencher, c.l. redman, s.h. schneider y w.w. taylor. 2007. Complexity of coupled human and natural systems. *Science*: 317(5844):1513-1516.

mancini, m. v., m.m. paez, a.r. prieto, s. stutz, m. tonello y i. vilanova. 2005. Mid- Holocene climatic variability reconstruction from pollen records (32°-52°S, Argentina). *Quaternary International* 132: 47-59.

manson, s.m. 2001. Simplifying complexity: a review of complexity theory. *Geoforum* 32:405-414.

marengo j., 2007. Relatorio "Caracterização do clima de Seculo XX e Cenarios no Brasil e na America do Sul para o Seculo XXI derivados dos Modelos de Clima do IPCC. Cap.5. CPTEC/INPE. Brasil.

markgraf, v. 1993. Climatic history of Central and South America since 18.000 yr. BP. En: *Global Climates Since the Last Glacial Maximum*. h. wright jr., j. kutzbach, t. webb, w. ruddiman, f. street-perrott y p. bartlein (eds.): 357-385. University of Minnesota Press.

márquez, l. 2010. Sistematización de los proyectos y estudios sobre reducción de la vulnerabilidad, sustentabilidad ambiental y reducción de la pobreza. Montevideo: ONU-OPP. Manuscrito.

martin, l. y k. sugui. 1992. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in breachridge plains associated with river mouths: example from the Central Brazilian Coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 99:119-140.

martínez, s. 1989. Taphonomy and paleoecology of Holocene molluscs from the western margin of the Merin Lagoon (Villa Soriano Fm, Uruguay). *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. 7: 121-135.

martínez, s. y a. rojas. 2006. Asociaciones de moluscos bentónicos cuaternarios en la costa uruguaya: implicancias paleoecológicas. En: *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya*. R. menafra, l. rodríguez, f. scarabino y d. conde (eds.):189-196. Vida Silvestre Uruguay.

melo, m.s., p.c.f. giannini, l.c. pessenda y m.b. neto. 2003. Holocene paleoclimatic reconstruction based on the Lagoa Dourada deposits, southern Brazil. *Geologica Acta* 1 (3):289-302.

millennium ecosystem assessment (ma). 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. A report of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, D.C., USA.

- mitchell j.f.b. johns t.c. eagles, m. ingram, w.j. y davies r.a. 1999. Towards the development of climate change scenarios. *Climate Change*. 41:547-581.
- montaña, j. y j. bossi. 1995. Geomorfología de los Humedales de la cuenca de la Laguna Merín en el departamento de Rocha. Ed. PROBIDES. 65pp.
- moro, r., c. bicudo, m. de melo y j. schmitt. 2004. Paleoclimate of the late Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Paraná State, southern Brazil. *Quaternary International*, 114: 87-99.
- mvotma. 2010. Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático. Montevideo:mvotma/opp/onu.
- nakicenovic, n. y r. swart.(eds.) 2000. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 599 pp.
- nakicenovic, n., gruber, a. mcdonald a. (Eds). 1998. *Global Energy Perspectives*. Cambridge University Press, Cambridge, ma, 299 pp.
- narisma, g.t., j.a. foley, r. licker y n. ramankutty. 2007. Abrupt changes in rainfall during the twentieth century. *Geophysical Research Letters* 34:L06710, doi:10.1029/2006GL028628.
- norberg j. y g.s. cumming, editors. 2008. *Complexity theory for a sustainable future*. Columbia University Press, New York, New York,USA.
- o'brien, k., b. hayward y f. berkes. 2009. Rethinking Social Contracts: Building Resilience in a Changing Climate. *Ecology and Society*. 14(2): 12. Online at: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art12/>
- oldfield, f. y k. alverson. 2003. The Societal Relevance of Paleoenvironmental Research. En: *Paleoclimate, Global Change and the Future. Global Change - The IGBP Series*. k.d. alverson, r.s. bradley y t.f. pedersen (eds.):1-13. Springer, Berlin.
- oppenheimer, m., b. c. o'neill, m. webster y s. agrawala. 2007. The limits of consensus. *Science* 317:1505-1506.
- panario, d. y g. piñeiro. 1997. Vulnerability of oceanic dune systems under wind pattern change scenarios in Uruguay. *Climate Research* 9 (1-2): 67-72.
- pilkey, o.h. y l. pilkey-jarvis. 2007. *Useless arithmetic: why environmental scientists can't predict the future*. Columbia University Press, New York, New York, USA.
- piovano, e.l., d. ariztegui, f. córdoba, m. ciocciale y f. sylvestre. 2009. Hydrological variability in South America below the Tropic of Capricorn (Pampas and eastern Patagonia, Argentina) during the last 13.0 ka. In: vimeux, f., sylvestre, f., khodri, m. (Eds.), *Past Climate Variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene in South America and Surrounding Regions (Focus on Local and Large Scale Teleconnections)*. Springer- Developments in Paleoenvironmental Research Series (dper), pp. 323-352.
- politis, g. 1984. Climate variations during historical times in Eastern Buenos Aires Pampas, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. Vol.2: 133-159.

- prieto, a.r. 2000. Vegetational history of the Late glacial– Holocene transition in the grasslands of Eastern Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 157 (3– 4), 167–188.
- prieto, a.r. 1996. Late Quaternary Vegetational and Climatic Change in the Pampa Grassland of Argentina. *Quaternary Research* 45:73-88.
- prieto, m. y r. jorba. 1991. Anomalías climáticas en la Cuenca del Plata y el NOA y sus consecuencias socioeconómicas durante los siglos XVI, XVII y XVIII. *Leguas* 1: 41-103.
- prieto, a., a. blasi, c. de francesco y c. fernández. 2004. Environmental history since 11,000 14C yr B.P. of the northeastern Pampas, Argentina, from alluvial sequences of the Luján River. *Quaternary Research* 62: 146-161.
- prohaska h. e. 1976. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En: , W. (ed.) *Climates of Central and South America. World Survey of Climatology*. Volumen XXII. Elsevier, Amsterdam. Pag. 13-112.
- quattrocchio, m.e., a.m. borromei, c.m. deschamps, s.c. grill y c.a. zavala. 2008. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene-Holocene, southern Pampa (Argentina): Evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quaternary International* 181: 123-138.
- rabassa, j. 2008. Late Cenozoic Glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in Quaternary Sciences* 11:151-205.
- ravindranath, n.h. y j. sathaye. 2002. Climate change and developing countries. En: *Advances in global change research* Vol. 11. M. Beniston (ed.):1-286. Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- roberts, n. 2009. Holocene Climates. En: *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. V. Gornitz (ed): 438-441. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- roe, g. y m. baker. 2007. Why is climate sensitivity so unpredictable?. *Science*. 318:629-632.
- roeckner, e., g. bäuml, l. bonaventura, r. brokopf, m. esch, m. gjorgetta, s. hagemann, i. kirchner, l. kornblueh, e. manzini, a. rhodin, u. schlese, u. schulzweida, y a. tomplkins. 2003. The atmospheric general circulation model echam5. part I: Model description, *Tech. Rep. 349*, Max-Planck-Inst. für Meteorol., Hamburg, Germany.
- scheffer, m. 2009. *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- solomon, s., d. qin, m. manning, z. chen, m. marquis, k.b. averyt, m.tignor y h.l. miller (eds.). 2007. Climate Models and Their Evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- sprechmann, p. 1978. The paleoecology and paleogeography of the Uruguayan coastal area during the Neogene and Quaternary. *Zitteliana* 4:3-72. Stuttgart.
- tebaldi c. k. hayhoe., j. arblaster y g. meehl. 2006. Going to the extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*. 79:185-211.

tonello m.s. y a.r prieto. 2009. Tendencias climáticas para los pastizales pampeanos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno: Estimaciones cuantitativas a partir de registros polínicos fósiles. *Ameghiniana* (Enviado).

tonni, e.p., a.l. cione y a.j. figini. 1999. Predominance of arid climates indicated by mammals in the pampas of Argentina during the Late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 147:257-281.

villagrán, c. 1990. Glacial Climates and their effects on the history of the vegetation of Chile: a synthesis based on palynological evidence from Isla de Chiloe. *Review of Palynology & Palaeobotany* 65:17-24.

walker, b.h. y d. salt. 2006. Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a *Changing World*. Island Press, Washington, D.C., USA.

walker, b.h., c.s. holling, s.r. carpenter, y a. kinzig. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society* 9(2):5. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>.

wanner, h., solomina, o., grosjean, m., ritz, s. y jetel, m. 2011. Structure and origine of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews* 30 (21-22): 3109-3123.

westley,f.,b.zimmermanym.patton.2006. *Getting to maybe*. Random House of Canada, Toronto, Ontario, Canada.

young foundation. 2006. Social innovation: what it is, why it matters, how it can be accelerated. Basingstoke, London, UK.

young, m.n., m.w. peng, d. ahlstrom, g.d. brunton y y. jiang. 2008. Corporate Governance in Emerging Economies: A Review of the Principal-Principal Perspective. *Journal of Management Studies*. 45(1):196-220.

zárate, m., r.a. kemp, m. espinosa y l. ferrero. 2000. Pedosedimentary and palaeoenvironmental significance of a Holocene alluvial sequence in the southern Pampas, Argentina. *The Holocene* 10 (4): 481-488.

zolitschka, b. y d. enters. 2009. Lacustrine Sediments. En: *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. V. Gornitz (ed): 485-488. Springer: Dordrecht, Netherlands.

Siglas

AECID	Agencia Española de Cooperación Internacional Para El Desarrollo
AIACC (*)	Evaluaciones de Impactos y Adaptación al Cambio Climático
ANCAP	Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland
ANII	Agencia Nacional de Investigación e Innovación
AOGCM (*)	Atmósfera-Océano de Circulación General
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CHANS (*)	Sistemas Acoplados Humanos y Naturales
CSIC	Comisión Sectorial de Investigación Científica
DINAGUA	Dirección Nacional de Agua del MVOTMA
DINAMA	Dirección Nacional de Medio Ambiente del MVOTMA
DNE	Dirección Nacional de Energía del MIEM
DNM	Dirección Nacional de Meteorología del MDN
ENOS	Niño Oscilación Sur
FAO (*)	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura
FING	Facultad de Ingeniería- UDELAR
FMAM- BM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial del Banco Mundial
GCM (*)	Modelos Climáticos Globales
GEI	Gases Efecto Invernadero

IM	Intendencia de Montevideo
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
IPCC (*)	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
MDN	Ministerio de Defensa Nacional
MGAP	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca
MIEM	Ministerio Industria, Energía y Minería
MPI-OM (*)	Instituto Max Planck de Meteorología-Modelo Oceánico
MVOTMA	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
ONG	Organizaciones no gubernamentales
OPP	Oficina de Planeación y Presupuesto
OPYPA	Oficina de Programación y Política Agropecuaria
PNRCC	Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático
PRECIS (*)	Modelos de Climas Regionales para Estudios del Impacto
SES (*)	Sistemas Socioeconómicos y Ecológicos
SNE	Sistema Nacional de Emergencia
SNRCC	Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático
SRES (*)	Reporte Especial sobre Escenarios de Emisiones
UdelaR	Universidad de la República
UNFCC (*)	Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
UTE	Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas

(*) Sigla en inglés

El cambio climático es uno de los factores que condiciona la estabilidad de los agro-ecosistemas y compromete el medio ambiente, la sociedad, la economía y la cultura de una región.

La adaptación al cambio climático ha sido definida como estratégica en la política agropecuaria de Uruguay. El diseño de políticas eficaces para la adaptación requiere conocer en profundidad los distintos aspectos que determinan la vulnerabilidad climática de los sistemas: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Esta publicación, que es el primer resultado del proyecto de cooperación técnica: "Nuevas Políticas para la Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático" de la

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su sigla en inglés) y el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay; describe la variabilidad climática actual y pasada del país. Los objetivos de la investigación son: entender el comportamiento del cambio climático; analizar las tendencias esperables a futuro; y establecer los principales aspectos que dificultan la elaboración de escenarios climáticos, los análisis de vulnerabilidad y el diseño de políticas.

En otras palabras, se busca profundizar en dar respuesta a: ¿Cambió el clima en el país? ¿Llueve más?, ¿Son más frecuentes los eventos climáticos extremos como sequías o inundaciones? o ¿Cómo podría evolucionar el clima en el futuro?

