

FUNDACIÓN TORCUATO DI TELLA

Segunda Comunicación Nacional  
del Gobierno de la República  
Argentina a las Partes de la  
CMNUCC



**B5 - Vulnerabilidad de la  
Patagonia y del sur de las  
Provincias de Buenos Aires y La  
Pampa**

**Resumen Ejecutivo**

**Informe Final**

**COMUNICACIÓN NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO:  
VULNERABILIDAD DE LA PATAGONIA Y SUR DE LAS  
PROVINCIAS DE BUENOS AIRES Y LA PAMPA**

**INFORME FINAL**

**ÍNDICE**

<b>1. RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Introducción</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Diagnóstico y tendencias de la región en relación al clima</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Vulnerabilidad al Cambio Climático en la Patagonia</b>	<b>10</b>
<i>1.3.1 La magnitud del cambio y su incertidumbre</i>	<b>10</b>
<i>1.3.2 Las principales vulnerabilidades</i>	<b>11</b>
<i>1.3.3 Oportunidades</i>	<b>13</b>
<i>1.3.4 Necesidad de mayor monitoreo e investigación</i>	<b>14</b>
<b>1 EXECUTIVE SUMMARY</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Introduction</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Regional diagnostic and trends related to climate</b>	<b>16</b>
<b>1.3 Vulnerability to Climate Change in Patagonia</b>	<b>20</b>
<i>1.3.1 The magnitude of the change and its uncertainties</i>	<b>20</b>
<i>1.3.2 The main vulnerabilities</i>	<b>23</b>
<i>1.3.3 Opportunities</i>	<b>23</b>
<i>1.3.4 Monitoring and research needs</i>	<b>23</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Alcance territorial</b>	<b>25</b>
<b>2.2 Geografía</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Clima</b>	<b>26</b>
<i>2.3.1 Temperatura</i>	<b>27</b>
<i>2.3.2 Viento</i>	<b>29</b>
<i>2.3.3 Precipitación</i>	<b>30</b>
<b>2.4 Hidrología de superficie</b>	<b>37</b>
<b>2.5 Población y actividades productivas</b>	<b>41</b>
<b>3. TENDENCIAS CLIMÁTICAS</b>	<b>42</b>
<b>3.1 Temperatura</b>	<b>42</b>
<i>3.1.1 Antecedentes</i>	<b>42</b>
<i>3.1.2 Fuentes de datos</i>	<b>42</b>
<i>3.1.3 Tendencias de las temperaturas en superficie</i>	<b>43</b>
<i>3.1.3 Tendencias de la altura de la isoterma de 0° C</i>	<b>46</b>
<b>3.2 Precipitación</b>	<b>54</b>
<i>3.2.1 Antecedentes y alcance del estudio</i>	<b>54</b>
<i>3.2.2 Datos</i>	<b>55</b>
<i>3.2.3 Tendencias en la precipitación</i>	<b>58</b>
<i>3.2.4 Tendencia de eventos extremos de precipitación</i>	<b>80</b>

3.2.5	<i>Influencia de la AAO y el ENSO sobre las tendencias de la precipitación</i>	84
3.2.6	<i>Conclusiones</i>	87
<b>4.</b>	<b>RECURSOS HÍDRICOS Y SUS TENDENCIAS</b>	<b>89</b>
<b>4.1</b>	<b>Ríos</b>	<b>89</b>
4.1.1	<i>Métodos estadísticas</i>	89
4.1.2	<i>Análisis de series de caudales mínimos, medios y máximos</i>	91
4.1.3	<i>Conclusiones</i>	94
<b>4.2</b>	<b>Un caso paradigmático: La vulnerabilidad del lago Colhué Huapi</b>	<b>96</b>
<b>4.3</b>	<b>Uso consumptivo del agua</b>	<b>101</b>
4.3.1	<i>Urbano</i>	101
4.3.2	<i>Relevamiento y georeferenciamiento de las prácticas de irrigación</i>	102
4.3.2	<i>Riego</i>	109
<b>4.4</b>	<b>Glaciares</b>	<b>129</b>
4.4.1	<i>Evolución reciente de los glaciares</i>	129
4.4.2	<i>Conclusiones</i>	142
<b>5.</b>	<b>ASENTAMIENTOS HUMANOS Y TENDENCIAS DEMOGRÁFICAS</b>	<b>147</b>
<b>5.2</b>	<b>Cartografía digital de los asentamientos humanos</b>	<b>147</b>
<b>5.1</b>	<b>Población</b>	<b>147</b>
5.2.1	<i>Distribución geográfica</i>	147
5.2.2	<i>Asentamientos humanos sobre los valles de los principales ríos</i>	151
<b>6.</b>	<b>INUNDACIONES URBANAS</b>	<b>157</b>
<b>6.1</b>	<b>Aspectos generales</b>	<b>157</b>
<b>6.2</b>	<b>El Bolsón</b>	<b>158</b>
6.2.1	<i>Características geográficas</i>	159
6.2.2	<i>Características y antecedentes de las inundaciones</i>	159
6.2.3	<i>Inundación de Octubre del 2002</i>	161
<b>6.3</b>	<b>Trelew</b>	<b>163</b>
6.3.1	<i>Contexto geográfico e hídrico</i>	163
6.3.2	<i>Características de las inundaciones</i>	165
6.3.3	<i>Medidas estructurales</i>	167
6.3.4	<i>Últimas inundaciones</i>	169
6.3.5	<i>Evaluación económica del impacto de la inundación de 1998</i>	176
6.3.6	<i>Conclusiones</i>	182
<b>7.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DEL SUELO Y DE LA VEGETACIÓN E IMPACTOS DEL PASTOREO GANADERO</b>	<b>186</b>
<b>7.1</b>	<b>Suelos</b>	<b>186</b>
<b>7.2</b>	<b>Vegetación</b>	<b>190</b>
<b>7.3</b>	<b>Impactos del pastoreo ganadero</b>	<b>193</b>
7.3.1	<i>Introducción</i>	193
7.3.2	<i>Delimitación de la aptitud ganadera</i>	194
7.3.3	<i>Producción ovina</i>	195
7.3.4	<i>Impacto del pastoreo sobre las propiedades edáficas</i>	196

<b>8.</b>	<b>UBICACIÓN DE ÁREAS DE EROSIÓN CRECIENTE</b>	<b>201</b>
<b>8.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>201</b>
<b>8.2</b>	<b>La erosión</b>	<b>202</b>
<b>8.2</b>	<b>Erosión eólica</b>	<b>204</b>
<b>8.3</b>	<b>El efecto del fuego</b>	<b>209</b>
<b>8.4</b>	<b>Áreas de erosión creciente</b>	<b>209</b>
<b>9.</b>	<b>LA DESERTIFICACIÓN EN LA PATAGONIA</b>	<b>217</b>
<b>9.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>217</b>
<b>9.2</b>	<b>El proceso de la degradación de la tierra</b>	<b>220</b>
<b>9.3</b>	<b>Estado actual de degradación</b>	<b>221</b>
<b>9.4</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>224</b>
<b>10.</b>	<b>OTRAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS SENSIBLES AL CLIMA</b>	<b>228</b>
<b>10.1</b>	<b>El turismo</b>	<b>228</b>
<b>10.2</b>	<b>Agro en el sur de La Pampa y Buenos Aires y norte de Río Negro</b>	<b>239</b>
<i>10.2.1</i>	<i>Caracterización del área</i>	<i>239</i>
<i>10.2.2</i>	<i>Uso del suelo</i>	<i>243</i>
<i>10.2.3</i>	<i>Producción agrícola-ganadera y su valor</i>	<i>247</i>
<b>10.3</b>	<b>Actividad forestal en el noroeste de la Patagonia</b>	<b>248</b>
<b>10.4</b>	<b>Energía hidroeléctrica</b>	<b>250</b>
<b>11.</b>	<b>ESCENARIOS CLIMÁTICOS</b>	<b>252</b>
<b>11.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>252</b>
<b>11.2</b>	<b>Temperatura</b>	<b>255</b>
<b>11.3</b>	<b>Precipitación</b>	<b>257</b>
<b>12.</b>	<b>IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>266</b>
<b>12.1</b>	<b>Proyección del consumo</b>	<b>266</b>
<b>12.1.1</b>	<b>Urbano</b>	<b>266</b>
<b>12.1.2</b>	<b>Riego</b>	<b>266</b>
<b>12.2</b>	<b>Proyección de los caudales</b>	<b>277</b>
<i>12.2.1</i>	<i>El escurrimiento superficial y los escenarios del cambio climático</i>	<i>277</i>
<i>12.2.2</i>	<i>Modelo de regresión anual</i>	<i>278</i>
<i>12.2.3</i>	<i>Modelo de regresión semestral</i>	<i>284</i>
<i>12.2.2</i>	<i>Conclusiones</i>	<i>287</i>
<b>12.3</b>	<b>Evolución de la oferta y demanda de recursos hídricos superficiales</b>	<b>289</b>
<b>12.4</b>	<b>Producción de Sedimentos por erosión superficial en la Patagonia</b>	<b>291</b>
<i>12.4.1</i>	<i>Introducción</i>	<i>291</i>
<i>12.4.2</i>	<i>Producción de sedimentos en la Patagonia</i>	<i>294</i>
<i>12.4.3</i>	<i>Sensibilidad frente a cambios en la precipitación</i>	<i>301</i>
<i>12.4.4</i>	<i>Cambios en la morfología fluvial</i>	<i>306</i>
<i>12.4.5</i>	<i>Impactos sobre las obras de infraestructura</i>	<i>314</i>
<b>12.5.</b>	<b>Glaciares</b>	<b>318</b>

<i>12.5.1 Las variaciones de temperatura y precipitación en los glaciares de la Patagonia Andina</i>	<b>318</b>
<i>12.5.2 Impacto del retroceso glaciar en la escorrentía de los ríos de la región</i>	
<i>12.5.3 Actividades que deberían desarrollarse</i>	<b>320</b>
<b>13. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA ÁRIDA</b>	<b>324</b>
<b>13.1 Respuestas de los ecosistemas a las influencias climáticas</b>	<b>324</b>
<b>13.2 Respuestas de los ecosistemas a las alteraciones antrópicas</b>	<b>325</b>
<b>13.3 Probable influencia del cambio global</b>	<b>328</b>
<b>13.4 Conclusiones</b>	<b>329</b>
<b>14. EFECTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ALGUNAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS</b>	<b>332</b>
<b>14.1 El turismo</b>	<b>332</b>
<b>14.2 Sur de La Pampa y de Buenos Aires y norte de Río Negro</b>	<b>336</b>
<b>14.3 Actividad forestal en el noroeste de la Patagonia</b>	<b>339</b>
<b>14.4 Energía hidroeléctrica</b>	<b>340</b>
<b>15. CONCLUSIONES</b>	
<b>15.1 Tendencias climáticas e hidrológicas</b>	<b>342</b>
<b>15.2 Vulnerabilidad al cambio climático</b>	<b>343</b>
<b>APÉNDICE: Expertos intervinientes, autoría de capítulos y secciones y correspondencia con actividades</b>	<b>346</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>349</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>357</b>
<b>Acrónimos</b>	<b>361</b>

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

### 1.1 Introducción

Este informe trata sobre la vulnerabilidad en la Patagonia Argentina y el sur de las provincias de La Pampa y Buenos Aires al Cambio Climático. La Patagonia se extiende desde el río Colorado hasta el extremo sur de Argentina y está limitada en el Oeste por la cordillera de los Andes y en el Este por el océano Atlántico. La región patagónica cubre aproximadamente un tercio de la superficie total de la Argentina continental, comprendiendo las provincias de Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz y Tierra del Fuego. Las precipitaciones son escasas, excepto en algunas zonas en los Andes o próximas a esa cordillera donde dan lugar a los ríos que cruzan la meseta desde los Andes al Atlántico. El sur de la Provincia de Buenos Aires y la provincia de La Pampa, sólo comparten parcialmente algunas de las características de la Patagonia.

El agua ha sido y es el gran factor condicionante del desarrollo de la región, por lo que la población se ha asentado sobre los cursos de agua para cubrir las necesidades de agua potable y eventualmente satisfacer otras necesidades de origen agropecuario o industrial. Las excepciones como Comodoro Rivadavia, Puerto Madryn y San Antonio Oeste están servidas por acueductos que traen el vital elemento desde distancias relativamente cortas. Asociada a esta característica, la densidad de población es baja y esta básicamente concentrada en los asentamientos urbanos.

El capítulo segundo de este informe es una breve introducción en el que se precisa el alcance territorial del informe, y se comentan los aspectos geográficos más relevantes, el clima, los recursos hídricos superficiales y brevemente los aspectos demográficos y las principales actividades económicas. Las características de esta región en relación al clima y sus variaciones se discuten en los capítulos 3 a 9. El capítulo tercero trata sobre las tendencias de la temperatura y la precipitación, mientras el cuarto lo hace de las tendencias en la oferta y el uso de los recursos hídricos y la evolución de los glaciares; las zonas irrigadas están georeferenciadas en un CD-ROM que acompaña este informe y cuyas características y manejo se informan en este mismo capítulo. En el capítulo quinto se tratan los asentamientos humanos y las tendencias demográficas y se incluye la cartografía de los asentamientos urbanos en la región en forma georeferenciada en el mismo CD-ROM ya mencionado. Las inundaciones urbanas son tratadas en el capítulo sexto con ejemplos representativos de dos zonas con inundaciones de diferente tipo y conclusiones generales para la región. La problemática de la zona árida y de su sistema productivo se trata en los capítulos 7 a 9, incluyendo los impactos del pastoreo ovino, los focos de erosión y la desertificación. En el capítulo 10 se describen algunas de las más importantes actividades económicas de la región que son sensibles al clima.

Los capítulos 3 a 10 tratan básicamente con el diagnóstico y las tendencias de la región en relación al clima. En el capítulo 11 se describen y discuten los escenarios climáticos de la región para el siglo XXI. Se pone especial énfasis en la zona cordillerana del noroeste de la Patagonia que presenta fuertes tendencias y proyecciones negativas en la precipitación y es a la vez la fuente del agua que mantiene las más importantes actividades productivas agropecuarias e hidroenergéticas de la región. El capítulo 12 trata sobre los impactos del cambio climático en los recursos hídricos, proyectando los

caudales y el consumo y haciendo el análisis de la oferta y la demanda de los recursos hídricos superficiales. Finalmente trata sobre la prospectiva de los glaciares discutiendo las causas de su regresión. El capítulo 13 discute los impactos del cambio climático en la zona árida comparándolos con los efectos de las actividades de origen antrópica. Finalmente en el capítulo 14 se discuten los efectos del cambio climático en sectores productivos claves, como el turismo, la actividad forestal, la generación de energía hidroeléctrica y la producción agropecuaria en el Sur de La Pampa y de Buenos Aires y norte de Río Negro.

Finalmente el capítulo 15 es un apéndice con los nombres de los expertos intervinientes y las autorías de los capítulos o secciones del informe.

## **1.2 Diagnostico y tendencias de la región en relación al clima**

### *Tendencias climáticas*

La revisión exhaustiva de las series de precipitación mensual en la Patagonia y el sur de las provincias de Buenos Aires y La Pampa confirman las tendencias positivas de la precipitación en esta última región y las tendencias negativas sobre el noroeste de la Patagonia. Se observa también una considerable variabilidad interdecádica que no llega a eliminar la significancia de las tendencias de largo plazo.

En el resto de la Patagonia, se observan tendencias levemente positivas con excepción del sur de Chubut y Norte de Santa Cruz donde son levemente negativas. Sin embargo, en ninguno de estos casos las tendencias son significativas.

La Oscilación Antártica tuvo una influencia significativa en las tendencias de la precipitación en las regiones estudiadas. Esto implica que los cambios de la circulación general del Hemisferio Sur caracterizados por la disminución de la presión en las latitudes polares y un aumento sobre las latitudes medias se manifestaron también a nivel regional ocasionando cambios en la precipitación. Las simulaciones realizadas con los modelos climáticos sugieren que este patrón de variación de la circulación atmosférica del Hemisferio Sur responde al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero.

En la parte sur de la Patagonia hubo un calentamiento atmosférico pronunciado, según las series de Punta Arenas y Río Gallegos. En esta última el calentamiento fue especialmente pronunciado durante el verano, lo cual es muy significativo para el balance de masa glaciar pues incrementa la ablación (pérdida de masa) por fusión, y podría explicar en parte el retroceso de los glaciares observado en la región. Igualmente importante para la evolución de los glaciares es la altura de la isoterma de cero grado que ha estado ascendiendo en toda la región.

### *Tendencias en los recursos hídricos*

El análisis de la información se centró en las cuencas con mayor nivel de aprovechamiento de los recursos hídricos, por lo tanto, en las que la presencia de un cambio en la distribución de los caudales podría afectar el uso del recurso. Hay una fuerte estacionalidad en las series de caudales con año hidrológico abril-marzo para los ríos Limay, Neuquén y Chubut. En el río Santa Cruz el año hidrológico corresponde al

período septiembre-agosto. El régimen de alimentación de algunas de las principales cuencas es de característica pluvio-nival, observándose en el hidrograma anual dos máximos, producidos por procesos de precipitación en el período junio-agosto y por fusión en octubre-diciembre.

Cuando se consideran las tendencias en los últimos decenios, los caudales medios anuales presentan tendencias decrecientes, aunque no significativas estadísticamente, para todos los grandes ríos de la Patagonia norte y central, esto es el Limay, el Neuquén (y en consecuencia el Negro), el Colorado, y el Chubut.

Se ha hecho la actualización del conocimiento georeferenciado de las tierras bajo riego, el que puede ser útil para mejorar la programación estratégica de acciones de mitigación en el desarrollo del sector agrícola e industrial. Las áreas bajo riego principalmente de las provincias de Río Negro y Neuquén inferidas de la información recopilada, fueron digitalizadas sobre imágenes satelitales Landsat.

El CD ROM que acompaña el presente informe contiene un Sistema de Información Geográfica (SIG), que posee información espacial de la irrigación por nivel de Cuenca Hidrográfica. La base cartográfica del SIG corresponde a la escala 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar. La información suministrada corresponde a las once cuencas hidrográficas principales de la Patagonia. Cada cuenca cuenta con un conjunto de capas temáticas.

El riego ocupa unas 120 000 hectáreas en la cuenca del Río Negro, principalmente en frutihorticultura, 170 000 en la del Colorado con dominancia ganadera y unas 20.000 hectáreas en el valle inferior del río Chubut.

En los Andes Patagónicos, entre los 37° y 55° S, se observa un retroceso glaciar generalizado durante el siglo veinte. Para evaluar y documentar las variaciones glaciarias se ha consultado la bibliografía existente, fotografías antiguas y más recientemente las imágenes satelitales.

#### *Asentamientos humanos y tendencias demográficas*

Para la preparación de la cartografía de las poblaciones se ha recopilado abundante información de numerosas fuentes, además de datos estadísticos de organismos provinciales, nacionales y fundaciones privadas. La información sobre los asentamientos humanos se halla georeferenciada en un GIS y presentada en un CD ROM que acompaña este informe.

La tasa de urbanización de la región (93 %) supera al promedio nacional (85 %) y dos terceras partes de los 1.750.000 habitantes de la región se concentran en sólo 10 núcleos urbanos de más de 30.000 habitantes. Además, el aumento de la población en las últimas décadas sólo se produjo en unas pocas aglomeraciones, y no se registró en la mayoría del espacio patagónico.

#### *Inundaciones urbanas*

La Patagonia no ha estado exenta de las inundaciones que en las últimas décadas han castigado numerosas poblaciones y actividades rurales de la Argentina. Debido a la

extrema aridez de casi todo el territorio patagónico, muchos asentamientos humanos se hallan en las riberas de los ríos que lo surcan. Son por ello pasibles de inundaciones cuando las condiciones climáticas generan excedentes extraordinarios de agua.

Casos paradigmáticos en este sentido son El Bolsón en la zona cordillerana, sujeto a rápidos torrentes y Trelew en la zona costera, donde intensas precipitaciones causadas por ciclones de escala sinóptica dan lugar a desbordes del río Chubut. En ambos casos, las inundaciones son producto de una interacción poco feliz entre el hombre y la geografía. Estas dos localidades, son representativas de dos tipos de inundación diferentes por sus características hidrológicas, y son también las que mayor frecuencia de inundaciones sufrieron en los últimos años.

La ciudad de Trelew está construida en bajos y depresiones entre la terraza intermedia del valle y el valle inundable a la vera del cauce inferior del río Chubut. Su exposición es tal que las lluvias de cierta magnitud generan inundaciones que afectan el casco urbano de la ciudad debido a la expansión urbana sin planificación. Se analizan en particular las inundaciones de 1992 y 1998. Debido a la información existente, de esta última se describen los impactos en términos del número de evacuados, que fueron en abril de 1998 alrededor de 15 mil, y de los daños materiales.

La inundación urbana de Trelew de 1998 fue la de mayor impacto económico en la Patagonia de los últimos años. Su costo de alrededor de 5 Millones de USD puede considerarse como una cota superior a los costos de las inundaciones con recurrencia cada 10 años en esa ciudad. Dada la menor magnitud de los otros eventos registrados en la Patagonia, ese costo puede considerarse también como una cota superior para toda la región, aunque es un valor muy pequeño frente al costo de estos eventos en la Argentina.

#### *Degradación de los suelos y la sustentabilidad de las prácticas de su uso*

Se presentan una serie de mapas temáticos geomorfológicos recopilados, como base cartográfica para la definición de los procesos de erosión y remoción en masa, a nivel provincial. Del total de la región estudiada (78.549.400 ha), un 93,6 % presenta algún peligro de desertificación de distinto estado. El 35,4 % de la superficie total está representado por un estado Medio a Grave y el 31,8 % por los estados más extremos (Grave y Muy Grave). Se trata en estos últimos estados de tierras muy degradadas, donde la utilidad para el hombre es prácticamente nula, siendo principalmente económicamente irreversible para la mayoría de las finalidades. El estado Muy Grave también engloba parte del paisaje como resultado de la degradación natural. Existen zonas de tierras malas o “guadales” que lo eran desde mucho antes de la colonización ovina, pero el uso antrópico ha actuado acelerando las tendencias de degradación y ampliación de dichas zonas.

Las provincias del Río Negro y de Tierra del Fuego son las que poseen los valores más altos en las categorías Leve (16,6 % y 32,4 %, respectivamente). Las demás provincias muestran porcentajes muy reducidos en este estado: Neuquén (5,9 %), Chubut (6,6 %) y Santa Cruz (5,0 %). Para el estado Medio se observa una cierta homogeneidad variando entre provincias de 14,4 a 18,4 %. La excepción es Tierra del Fuego que presenta el 33,3 % de su superficie en el estado Medio. También la misma tendencia se observa en

el estado Medio a Grave con porcentajes variando de 32,0 a 39,4 %. En estados extremos (Grave y Muy Grave) las provincias presentan los siguientes porcentajes: Santa Cruz (38,4 %), Neuquén (37,1 %), Chubut (30,7 %) y Río Negro (25,8 %).

El descenso en las existencias ovinas totales se explica principalmente por una disminución de la productividad total de la región, como consecuencia principal de los efectos del sobrepastoreo y extracción de leña. Esta situación se traduce en diversos síntomas con diferentes grados de expresión: disminución de especies palatables, desertificación, erosión hídrica y eólica, exceso de sales, encostramientos, compactación, etc. Es necesario replantear la utilización de las áreas sujetas a los estados Grave y Muy Grave, pues en ellas, la recuperación no parece ser posible, mientras que la persistencia de su uso ganadero lleva al avance de lenguas y pavimentos de desierto hacia áreas adyacentes. La escasa productividad no justifica la degradación de grandes superficies, con la consecuente pérdida de suelos, cobertura vegetal y biodiversidad, en comunidades que albergan una gran riqueza de especies y endemismos.

Las provincias más comprometidas por el proceso de desertificación, y a las cuales se deberían priorizar las medidas de atenuación y/o control, son en orden prioritario: Santa Cruz, Neuquén, Chubut y Río Negro. Del análisis de los resultados se desprende, que la degradación del ecosistema patagónico que resulta de actividades humanas aceleradas por las acciones naturales, tiene ya profundos impactos en la viabilidad del mismo a largo plazo.

#### *Diagnóstico de otras actividades económicas sensibles al clima*

Como paso previo al análisis del impacto del cambio climático el turismo se hizo una breve caracterización de esta actividad. El posicionamiento turístico de la Patagonia en el mercado está basado en la jerarquía y diversidad de sus atractivos naturales, sumado a la circunstancia de ser el área más austral del mundo, a lo que son particularmente sensibles los turistas extranjeros. Por ello, aunque el principal mercado de la Patagonia es aún el turismo nacional, en los últimos años ha aumentado considerablemente la llegada de turistas extranjeros. El atractivo principal con que se ofrece la Patagonia al turismo nacional e internacional son los siguientes elementos: glaciar- ballenas- pingüinos- ski- fin del mundo.

La actividad turística en la Patagonia está caracterizada por una fuerte estacionalidad, motivada por factores climáticos, y por los hábitos de los turistas que la frecuentan vinculados a los períodos vacacionales. Los productos turísticos líderes son, los asociados a los centros turísticos de Bariloche, San Martín de los Andes, Puerto Madryn (Península Valdés), Calafate (Glaciar Perito Moreno) y Ushuaia.

El sur de La Pampa y Buenos Aires y norte de Río Negro tienen frente al cambio climático la particularidad de que sus precipitaciones, de las cuales depende la actividad agropecuaria de secano, están aumentando y lo seguirán haciendo de acuerdo con las proyecciones de los escenarios climáticos. El valor de esta producción a precios del 2005 es del orden de 1200 000 \$.

El bosque andino patagónico se extiende desde la Provincia de Neuquén hasta Tierra del Fuego, ocupando una superficie total de 1,2 millones de hectáreas. Sólo el 4 % del área está ocupada por bosque forestado, el que produciría en pocos años por valor de 8 millones de pesos.

La producción de energía eléctrica del Comahue, se realiza a través de centrales hidroeléctricas situadas sobre el río Limay en su mayoría y en menor medida sobre el río Neuquén. Estas centrales representan el 26% de la generación hidroeléctrica del país y producen anualmente energía a precios de 2005 del orden de 650 millones de pesos.

### **1.3 Vulnerabilidad al Cambio Climático en la Patagonia**

#### *13.1 La magnitud del cambio y su incertidumbre*

De acuerdo a los escenarios climáticos desarrollados por el modelo de alta resolución MM5/CIMA para el siglo XXI, y la elaboración hecha de los mismos en este Informe, los cambios a esperar, serían los siguientes.

- *Precipitación*
- *En la franja occidental cordillerana desde aproximadamente 45°S hacia el norte:* Fuerte tendencia a la disminución
- *En el norte de Río Negro y sur de las provincias de la Pampa y Buenos Aires:* moderada tendencia a aumentar
- *En el resto de la Patagonia:* tendencias muy pequeñas y poco definidas.

En las dos primeras regiones, las tendencias previstas son importantes, son además similares en otros modelos, se han manifestado durante las últimas 4 décadas (sección 3.2) y tendrían una explicación física común para las mismas. Se ha mostrado que la precipitación, particularmente la de verano, que es la que muestra la mayor tendencia en la segunda región está relacionada con el desplazamiento hacia el sur del borde occidental del anticiclón del Atlántico sur. Este sistema se ha estado corriendo hacia el sur en las últimas décadas, y todos los modelos coinciden en que lo seguirá haciendo en el siglo XXI debido al calentamiento global. En la primera región, las tendencias presentes y futuras, también se observan en Chile a la misma latitud y son consecuencia de un similar desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Pacífico, que en este caso, bloquea el paso de los sistemas precipitantes y tiende a reducir las lluvias y nevadas. Por todas estas razones, es que se puede asignar bastante certidumbre a las tendencias en estas dos regiones.

Por el contrario, sobre el resto de la Patagonia, otros modelos dan resultados diferentes, pero todos con tendencias pequeñas, que podrían computarse dentro de los márgenes de error de las proyecciones.

- *Temperatura*
- En toda la Patagonia y sur de las provincias de la Pampa y Buenos Aires:* Las tendencias proyectadas son consistentemente positivas e importantes en toda la región, con un aumento del orden de 0,5° C para la década de 2020 y de 2° C para la de 2080.

Esta ha sido también, con algunos matices, la tendencia en casi toda región, excepto en sus zonas marginales (sección 3.1), aunque por sus características no está claro que haya estado relacionada con el calentamiento global. Por otra parte, todos los modelos dan una tendencia similar y la física de esta tendencia es claramente debida a la creciente concentración de gases de efecto invernadero. Por ello, ésta es una tendencia a la que se puede asignar bastante certidumbre.

- *Balance hídrico*

Excepto en la estrecha franja cordillerana húmeda, toda la Patagonia presenta un marcado desbalance hídrico. La evapotranspiración potencial está entre 1000 y 1500 mm anuales (sección 12.1.2) y esos valores de precipitación sólo se alcanzan en la citada franja cordillerana. El resto tiene características de semidesierto donde la evapotranspiración potencial excede varias veces a la precipitación.

Cambios en la evapotranspiración del orden de 30 a 50 mm anuales para la década del 2020 y de 100 a 150 mm para la década de 2080 como los que estarían asociados a los escenarios de temperatura del siglo XXI (sección 12.1.2) y de lluvia mucho menores en general, y además inciertos, no dan para suponer grandes cambios en la calidad del balance hídrico en la mayor parte de la Patagonia.

Los cambios en la precipitación serían claramente mayores a los de la evapotranspiración potencial en la franja cordillerana húmeda, por lo que en aquellos serían determinantes en los cambios de los caudales. Por otra parte, los cambios, ahora positivos serían bastante superiores como para sobre compensar los de la evapotranspiración potencial en el norte de Río Negro y sur de las provincias de La Pampa y Buenos Aires.

### *1.3.2 Las principales vulnerabilidades*

Casi todos los glaciares de los Andes patagónicos han estado retrocediendo durante las últimas décadas como consecuencia del aumento de la temperatura y en algunas zonas por la menor precipitación. Las proyecciones de la temperatura para el corriente siglo hacen prever que la actual tendencia recesiva de los glaciares de la región continuará, probablemente en forma acelerada, acompañando las tendencias térmicas.

Aunque no se cuenta con modelos predictivos del comportamiento de los glaciares de la región, es muy probable que se pierdan importantes valores paisajísticos en algunos de ellos. En cuanto a su aporte a los principales ríos, el retroceso de los glaciares no ha aportado significativamente al caudal de los ríos de la Patagonia norte y si lo ha hecho en un 10% del caudal del río Santa Cruz. En este sentido, la futura evolución de los glaciares no parece ser demasiado significativa par la evolución de los caudales medios anuales. No esta claro sin embargo como influirían esos cambios en la regulación intra e interanual de esos ríos.

Es probable que el cambio de ciertos paisajes asociados a los glaciares sea un elemento negativo para el turismo. Sin embargo, hasta ahora, la mayor atracción turística, el glaciar Perito Moreno no ha mostrado signos de retroceso y es difícil estimar cual será

la reacción de la demanda turística ante una amenaza de pérdida generalizada de estas maravillas del paisaje.

La mayor tendencia decreciente de la precipitación en el noroeste de la Patagonia, donde se encuentran la mayoría de los campos de esquí, es en el invierno cuando se producen las nevadas. Adicionalmente, el aumento de la temperatura reduciría la fracción de precipitación nival. Todo ello, contribuiría a la desaparición progresiva de los campos de esquí de las zonas bajas desplazando estas actividades hacia zonas más altas.

La franja cordillerana húmeda cuenta con importantes bosques naturales que están sometidos a diversas presiones antrópicas y a la reducción de las precipitaciones. Esto último se hace sentir en el ecotono entre el bosque y el monte y con la persistencia de las tendencias negativas en la precipitación, se puede esperar el avance del monte patagónico sobre el bosque. Este bosque está también bajo el estrés del fuego, generalmente de origen humano, el que bajo condiciones más secas y cálidas tendría mayor oportunidad de originarse y propagarse. Afortunadamente, las precipitaciones de verano que es la época del año más crítica para la ocurrencia de estos eventos, no está, ni estaría en el futuro, retrocediendo significativamente.

Las menores precipitaciones afectarían la producción de los bosques comerciales. Sin embargo debido a la escasa magnitud de esta actividad, las pérdidas hacia la década del 2020 serían mínimas si no hubiera una expansión importante de la misma.

Donde el daño económico puede ser significativo es en la generación de hidroelectricidad debido a la menor hidráulidad de los ríos del Comahue donde se produce el 26 % de la hidroelectricidad del país y la pérdida de la misma en la década de 2020 sería del 32 %. Esto tendría impacto nacional, pues presupondría una reducción de la oferta nacional del orden del 8 % de la hidroelectricidad que seguramente deberá ser reemplazada por fuentes más costosas. A los costos internos actuales, esto representaría una pérdida de 200.000.000 \$ al año.

Aunque los caudales de los ríos se reducirían en porcentajes significativos, 30 % en promedio en las cuencas del Colorado y el Negro, y 20 % en el Chubut, el suministro de agua para el uso urbano y el riego no se vería comprometido, si el consumo se mantuviera dentro de los valores actuales. No se esperan reducciones de los caudales en los ríos más australes. Este panorama es muy favorable pues el agua en la Patagonia es un factor condicionante del desarrollo que solo se puede dar a partir de los ríos que nacen en la cordillera de los Andes.

Aún en escenarios extremos de consumo urbano e industrial y suponiendo la expansión del riego a toda la superficie con algún grado de aptitud para el riego, el caudal del Río Negro y sus afluentes no se vería comprometido. Es diferente el caso del Colorado, en el que la expansión del riego a toda el área con aptitud casi consumiría los caudales actuales y por lo tanto en el escenario más probable de una reducción de sus caudales no se podría atender la demanda de riego. Esto mismo podría ocurrir con el Chubut, pero sólo después de un fuerte crecimiento de la demanda urbana y de la expansión del riego, probablemente en la segunda mitad del siglo.

Sobre la vulnerabilidad futura a las tormentas severas con inundaciones asociadas son pocos los elementos con que se cuenta debido a la falta de escenarios de estos eventos. Se han producido inundaciones urbanas en el valle inferior del río Chubut y en la zona cordillerana del noroeste. Los costos de las mismas, sin considerar su importancia local, no son significativos dentro del panorama nacional de este tipo de eventos. La frecuencia de los eventos de precipitaciones intensas ha sido positiva en la zona costera de Chubut y Río Negro y negativa en la zona cordillerana. A la luz de la expectativa global de que la frecuencia de precipitaciones extremas aumentará con el calentamiento global, sería importante extremar las medidas y acelerar la construcción de obras defensivas, principalmente en la región costera mencionada.

Los cambios en la generación de sedimentos que se producirían no son importantes salvo en algunas pocas regiones. Entre estas se destaca la cuenca del Río Negro en que el aumento sería del orden del 20 % para la década del 2020. Como en las cuencas de los afluentes de Negro, el Limay y el aumento de la generación de sedimentos sería menor al 5 %, la velocidad de colmatación de las más importantes presas de la región no se vería afectada.

Las alteraciones antrópicas en la zona árida de la Patagonia han sido hasta ahora claramente dominantes con respecto a los efectos de las tendencias climáticas. A futuro, se esperan cambios climáticos que agravarían el proceso de degradación existente, especialmente por el mayor desbalance hídrico resultante de las mayores temperaturas y del poco cambio en las precipitaciones. Esos cambios serían más dañinos si se persistiera en las prácticas dominantes y no sustentables de la mono producción ovina. Por esta razón, las políticas públicas sobre este sector deben prioritariamente dirigirse a corregir los efectos negativos del accionar antrópico, y dentro de este contexto atender al cambio climático como una de las variables a considerar.

### *1.3.3 Oportunidades*

Los cambios climáticos no necesariamente traerán consecuencias negativas a la región. La moderada tendencia al aumento de las precipitaciones en el norte de Río Negro y sur de las provincias de la Pampa y Buenos Aires favorecería la producción agropecuaria. Estas tendencias generaría un ingreso adicional a los productores de alrededor de 500 millones de pesos anuales para la década del 2020, esto es un incremento superior al 40 % con relación a sus actuales ingresos. Este ingreso adicional, implicaría otros efectos económicos sobre el empleo, el aumento de las exportaciones, la recaudación fiscal, etc.

La circunstancia de que el caudal del Río Negro no va a ser comprometido ni aún en los escenarios más exigentes de consumo de agua, ofrece una importante oportunidad a nivel nacional y regional. El recurso de los ríos cuyanos está casi totalmente comprometido y a la luz de escenarios climáticos que presagian una reducción de la precipitación en la cordillera, es poco probable que se pueda expandir su importante producción frutí hortícola. Esto mismo ocurriría en la zona de Chile Central donde además de verse comprometido el riego que se hace a partir de los ríos que bajan de los Andes, seguiría la tendencia a la reducción de precipitación sobre todo el territorio. En

estas circunstancias, la oferta abundante de agua y tierras que ofrecería la cuenca del río Negro sería un factor de desarrollo importante.

#### *1.3.4 Necesidad de mayor monitoreo e investigación*

La confección de este informe tropezó con la falta de conocimiento existente sobre muchos de los tópicos tratados. Parte de este conocimiento que podía ser generado en un corto tiempo, se desarrolló ex profeso, otro queda pendiente.

Si se pretende tener políticas públicas sobre el cambio climático se deberá empezar con el monitoreo de los parámetros físicos que serán afectados por el mismo. La información sobre los glaciares es muy escasa y debería procederse al monitoreo sistemático de los mas representativos. En los Andes no se cuenta con información meteorológica, la que es imprescindible para el estudio de los glaciares y para entender la dinámica de los ríos patagónicos. En general, la red meteorológica es defectuosa e incompleta en el país y muy principalmente en la Patagonia.

La mayoría de las mediciones de los caudales de los ríos obedece a proyectos específicos u obras ya ejecutadas. Es necesario reforzar estas mediciones con nuevos puntos de aforo que permitan conocer mejor la dinámica total de los cursos de agua importantes.

En materia de investigación es necesario mejorar las salidas de los modelos climáticos globales que ofrecen muchas falencias en la Patagonia pues por su gruesa escala no incluyen adecuadamente los importantes efectos de lo Andes en el clima regional. Los modelos de alta resolución son una alternativa a este problema, pero ante la gran variabilidad de la precipitación en las zonas andinas se debe mejorar su resolución hasta el límite posible y probablemente combinarlos con modelos estadísticos de downscaling.

Los modelos deberían ofrecer una aceptable estimación de los vientos en superficie para poder estimar el futuro de la actividad eólica que en la región constituye una riqueza importante en el contexto de las presiones globales para descarbonizar la energía global

Aunque hay abundante investigación sobre la biología de las poblaciones de especies costeras, no se ha trabajado en el desarrollo de lo que ocurriría con las mismas en escenarios de cambio climático. Lo mismo ocurre con las poblaciones de peces y mariscos de valor comercial.

Referente al ascenso del nivel del mar, en los estudios de base de la primera comunicación nacional se determinó que en este siglo estarían comprometidas las islas de marea que se encuentran en la costa bonaerense al sur de Bahía Blanca. Es conveniente que este trabajo se revise a la luz de la nueva información referente al ascenso del nivel del mar y asimismo se analicen algunas otras pocas áreas vulnerables de la costa patagónica

## **1. EXECUTIVE SUMMARY**

### **1.1 Introduction**

This report is about the vulnerability to Climate Change in the Argentine Patagonia and the south of the provinces of La Pampa and Buenos Aires. Patagonia stretches from the Colorado River toward the extreme south of the country, and it is bounded in the west by the Andes Cordillera and in the east by the Atlantic Ocean. The Patagonia is about a third of the Continental Argentine size: it includes the provinces of Neuquén, Río Negro, Chubut, Santa Cruz and Tierra del Fuego. Precipitation is scarce, except in some areas in or near the Andes where the rivers that cross the Patagonian plateau, from the Andes to the Atlantic Ocean, start. The south of the Buenos Aires and La Pampa provinces shares only a few of the Patagonia's features.

The water has been the great limiting factor, conditioning the development of the region. Because of that, the population has been settled near the watercourses to fulfill the needs of potable water and eventually satisfy other requirements, from either the agriculture or the industry. The exceptions are the cities like Comodoro Rivadavia, Puerto Madryn and San Antonio Oeste, which are supplied through pipelines that bring the water from relatively short distances. Associated to these features, the population density is low and it is concentrated in a few urban settlements.

The second chapter of the report is a brief introduction in which it is stated the territorial scope of the report, and the most prominent geographical aspects, the climate, the superficial water resources as well as the demography and the main economic activities are briefly described. The characteristics of this region in relation to climate and its variability are discussed in chapters 3 to 9. The third chapter is about the trends in temperature and precipitation, while the fourth one describes the water resources and the trends in their use and availability. This chapter also describes the evolution of the glaciers; the irrigated zones were geo-referenced in a CD-ROM that accompanies this report and whose features and instructions for its management are reported in this same chapter. The fifth chapter matters with human settlements and demographic trends; the geo-referenced cartography of the urban settlements in the region is included in the same CD-ROM already mentioned. The urban floods are analyzed in the sixth chapter, showing two cases of zones with different type of floods that permits to draw general conclusions for the region. The dry zone issues and its productive system are treated in chapters 7 to 9, including the impacts of the ovine grazing, the erosion foci and the general issue of desertification. In the chapter 10, some of the most important economic activities of the region that are sensitive to climate are described.

Chapters 3 to 10 deal with the diagnosis and the trends of the region in relation to climate. In chapter 11, the climatic trends of the region for the 21st century are analyzed. A detailed analysis of the of the northwestern Patagonia in the Andean area was performed because this region presents strong and negative past precipitation trends that seem to continue in the future according to the projections of climate scenarios. This region has also the water sources of the rivers that sustain the most important productive agricultural activities and the power of the region. Chapter 12 treats describes the impacts of the climatic change in the water resources, projecting the flows

and the consumption and making a simple balance of them. Finally, it treats on the prospective of the glaciers discussing the causes of its present receding. Chapter 13 discusses the impacts of the climatic change in the arid zone comparing them with the effects of the human activities. Finally, in the chapter 14, the effects of climatic change in key productive sectors are discussed. The sectors include tourism, forestry, water power generation and agriculture in the south of the provinces of La Pampa and Buenos Aires and north of Río Negro.

Finally, there is an appendix with the names of the experts that participate of this report and the chapters and section that they have written.

## **1.2 Regional diagnosis and trends related to climate**

### *Climate trends*

The exhaustive revision of the series of monthly precipitation in the Patagonia and in the south of the Buenos Aires and La Pampa provinces confirmed that there were positive trends of precipitation in the last region and the negative trends over the northwest of Patagonia. It is also present a considerable interdecadal variability that is not enough important to eliminate the significance of the long-term trends.

In the rest of the Patagonia, there were slight positive trends with the exception of the south of Chubut and north of Santa Cruz where they were a slightly negative. However, in none of these cases the trends are significant.

The Antarctic Oscillation had a significant influence in the precipitation trends of the region that is the subject of this report. That is, changes in the general circulation of the Southern Hemisphere characterized by the diminution of the sea level pressure in polar latitudes and its increase over the middle latitudes has been seen to cause precipitation changes in the region. The experiments performed with climate models suggest that this pattern of variability in the atmospheric circulation of the Southern Hemisphere was caused by the increment of the greenhouse concentrations.

According to the series of Punta Arenas and Río Gallegos, in the southern tip of the Patagonia, there was a pronounced atmospheric warming. This warming was especially strong during the summer, which is very important for glacier mass-balance because increases the ablation by surface melt; this warming may explain, at least in part, the retreat of the glaciers in this region. Equally important for the glacier dynamics, the zero degree isotherm has been increasing its altitude over the entire Patagonian Andes.

### *Trends in water resources*

The analysis of the information was focused on the river basins with the major level of water resources use, which, because of that, have the most potentially vulnerable activities to climate changes. There is a well defined seasonality in the streamflows with a hydrological year April- March for the Limay, Neuquén and Chubut rivers. In the Santa Cruz River, the hydrological year is September-August. The regime of some of the main basins is of rainfall-snowfall characteristics with two maxima in the annual hydrogram, caused by precipitation processes in the June-August period and by snow fusion in October-December.

All the large rivers of the central and north Patagonia (Limay, Neuquén (and consequently the Negro River), Colorado and Chubut) have decreased, although no statistically significant trends in their annual mean discharges during the last decades exist.

The georeferencing of irrigated lands has been updated. This may be useful to improve the strategic planning of mitigation actions in the agriculture and the industry. The irrigated lands, particularly at the Río Negro and Neuquén provinces, were digitalized from the Landsat satellite images. The CD ROM that accompanies this report has spatial information from an Information Geographic System (SIG), of the irrigation by Hydrographic basin. The cartographic base of the SIG is at the 1:250.000 scale of the Geographic Institute. The information corresponds to the eleven main hydrographic basins of the Patagonia. Each basin has a set of different subject layers.

The irrigation occupies about 120 000 hectares in the basin of the Negro River, mainly dedicated to fruits and vegetables, other 170 000 in the Colorado Valley, mostly dedicated to cattle raising and about 20.000 hectares in the lower valley of the Chubut River.

In the Patagonian Andes, between 37° and 55° S, there was a generalized retreat of almost all the glaciers during the twentieth century to evaluate and to document the glacier variations, the existing bibliography, old photographs and more recently the satellite images has been consulted.

#### *Cartography of urban settlements*

An extensive review of the information from numerous sources, in addition to statistical data from different national or provincial institutions private foundations was conducted for the elaboration of the cartography of the urban settlements. The information over the urban settlements was geo-referenced in a SIG and presented in a CD ROM that accompanies this report.

The urbanization rate of the region (93 %) surpasses the national average (85 %) and two thirds of the 1.750.000 inhabitants of the region are concentrated in only 10 cities of no more than 30.000 inhabitants. Besides, the increase of the population during the last decades has only taken place in a few cities, and has not taken place in most of the Patagonian space.

#### *Urban Floods*

Patagonia was not free of the floods that have been frequently affecting numerous cities and agricultural activities in Argentina during the last decades. Due to the extreme dryness that predominates over almost Patagonia, most of the urban settlements are over the riversides. Therefore, some of them are vulnerable to the floods when the climate conditions generate extraordinary discharges.

Typical cases are El Bolsón, in the Andes region, exposed to rapid runoffs and Trelew in the coastal zone where intense rainfalls produced by synoptic cyclones give rise to the overflow of the Chubut River. In both cases, the floods are product of an unwise

interaction between man and geography. In addition, these two localities are representative of the two types of different flooding of the region, and they are the settlements that had suffered the greater frequency of floods in recent years

The city of Trelew was built in the lower areas and depressions between the plateau and the valley of flooding of the lower course of the Chubut River. The situation of this city in relation to floods is such that rainfalls of certain magnitude generate the floods that affect the urban area due to an expansion of the city without planning. In particular, the flood of 1992 and 1998 are analyzed. Due to the available information about this last flood, it was possible to describe the impacts in terms of the number of people evacuated that in April of 1998 were around 15 thousand, and of the material losses.

The urban flood of Trelew in 1998 was the one of greater economic impact in Patagonia during recent years. Its cost of around 5 million USD can be considered as upper bound to the floods with recurrence every 10 years in this city. Given the smaller impacts of other floods in Patagonia, this cost can be considered also as an upper bound for the entire region, although it is a very small as compared with this type of events in Argentina.

#### *Degradation of soils and the sustainability of current practices*

The cartographic digital representation of the degradation states of the soil, through satellite images is of rapid and simple visualization. In this way, it is possible to have a first document that classify, bound (digital geographic position) and establish order of magnitude (extension) of the environment deterioration. At the same time, the satellite information can be used to assess past states of the environment in order to assess the velocity of degradation, using satellite AVHRR images of 10 or 20 years old.

A set of geomorphologic thematic maps at provincial level were assembled as a cartographic base for the definition of the processes of erosion and mass removal. From the total area of the region studied (78 549 400 has), a 93.6% had some danger of desertification of different type. The 35.4 % of the total surface is at a Medium to Serious state of danger, and the 31.8 % by the most extreme states (Serious and Very Serious). In these last states of lands very degraded, the utility for man is practically null, being mostly irreversible for the majority of the purposes. The state Very Serious also includes splits of landscape caused by natural degradation. Existing zones of Bad Lands or "bogs" that were long before of the ovine colonization, but the human use has acted accelerating the degradation and amplification trends of these zones.

The provinces of the Río Negro and of Tierra del Fuego are the ones that have the highest percentages in the Light categories (16.6 % and 32.4 %, respectively). The other provinces show percentages very reduced in this state: Neuquén (5.9 %), Chubut (6.6 %) and Santa Cruz (5.0 %). For the Medium state, there is certain homogeneity varying among provinces from 14.4 to 18.4 %. The exception is Tierra del Fuego that presents the 33.3 % of its surface in the Medium state. In addition, the same tendency is observed in the Medium to Serious states with percentages varying from 32.0 to 39.4 %. In extreme states (Serious and Very Serious) the provinces present the following percentages: Santa Cruz (38.4 %), Neuquén (37.1 %), Chubut (30.7 %) and Río Negro (25.8 %).

The decline in the total ovine stock is explained mainly by a decrease of the total productivity of the region, as main consequence of the effects of the over grazing and extraction of firewood. This situation appears with diverse symptoms with different degrees of expression: decrease of good species, desertification, wind and water erosion, excess of salt, compaction, etc. It is necessary to redefine the utilization of the areas with Very Serious and Serious states, because their recovery does not seem to be possible, while the persistence of its use with cattle lead to the advance of tongues and pavements of desert toward adjacent areas. The scarce productivity does not justify the degradation of large surfaces, with the consequent loss of soils, vegetable cover and biodiversity in communities that harbor a great wealth of species and endemism.

The most compromised provinces by the process of desertification, and to which the measures of mitigation and/or control should be prioritized are in order of priority: Santa Cruz, Neuquén, Chubut and Río Negro. From the analysis results that the degradation of the Patagonian ecosystem, which came up from human activities enhanced in some cases by natural processes, has already deep impacts in the viability of these activities in the long-term.

#### *Diagnosis of other sensitive economic activities to climate*

As a first step for the analysis of the impact of the climatic change in this important activity of the Patagonia, it was done a brief characterization of this activity. The positioning of the Patagonia in the tourist market is based on the quality and diversity of their natural attractions, added to the circumstance to be the southernmost area of the world, to what are particularly sensitive the foreign tourists. Although the main market of the Patagonia is still the national tourism, the arrival of foreign tourists has increased considerably in recent years. The main attraction with which is offered the Patagonia to national and international tourism are the following elements: glacier- whales-penguins-sky- end of the world.

The tourist activity in the Patagonia is characterized by a strong seasonal cycles, motivated by climatic factors, and by the habits of the tourists, linked in some cases to vacation periods. The lead tourist products are those associated to the tourist centers of Bariloche, San Martín de los Andes, Puerto Madryn (Península Valdés), Calafate (Glacier Perito Moreno) and Ushuaia.

Regarding climate change, the south of La Pampa and Buenos Aires and north of Río Negro have the particularity that their annual precipitation, of which depends the agriculture has been increasing and it will continue to grow according to the projections of the climatic scenarios. The value of this production at 2005 prices is of the order of 1 200 000 \$.

The Patagonian forest extends along the Andes from the Province of Neuquén to Tierra del Fuego, occupying a total surface of 1.2 million hectares. Only, the 4 % of this area is occupied by afforested forest that would produce in a few years timber with a value of 8 million pesos.

La producción de energía eléctrica del Comahue, se realiza a través de centrales hidroeléctricas situadas sobre el río Limay en su mayoría y en menor medida sobre el

río Neuquén. Estas centrales representan el 26 % de la generación hidroeléctrica del país y producen anualmente energía a precios de 2005 del orden de 650 millones de pesos.

Power generation in the Comahue, is mostly produced by facilities situated on the Limay Rive and to smaller extent on the Neuquén River. They generate the 26 % of the total hydro power generation of the country and they produce yearly energy that at 2005 prices it is valued near 650 million pesos.

### 1.3 Vulnerability to Climate Change in Patagonia

#### 1.3.1 *The magnitude of the change and its uncertainties*

According to the climatic scenarios developed by of high-resolution model MM5/CIMA for the 21st century, and the elaboration made of them in this Report, the changes to expect would be the following.

- *Precipitation*

- *In the Andean western stripe from approximately 45° S to the north*: Strong decreasing trends
- *In the north of Río Negro and south of the provinces of la Pampa and Buenos Aires*: moderate positive trends
- *In the rest of Patagonia*: little and very small trends not well defined.

In the two first regions, the predicted trends are important, besides they are similar in other models, they have been lasting during the previous 4 decades (section 3.2) and they would have a common physical explanation. It has been shown that the precipitation, particularly in summer when has had the greater trends in the second region, is related to the displacement toward the south of the western edge of the n south Atlantic high. This system has been shifting south during the last decades, and all the models coincide in that, it will continue in doing so during the 21st century because of the global warming. In the first region, the future and present trends are also similar to those of neighboring Chile and they result from a similar displacement to the south of the south Pacific high, which, in this case, blocks the way to the frontal systems, thus reducing rainfall and the snowfall. For all these reasons, the uncertainty attached to the trends in these two regions can be small.

On the contrary, on the rest of the Patagonia, different models give different results, but all with small trends, which would be inside the error of the projections.

- *Temperature*

-*In all the Patagonia and south of the provinces of la Pampa and Buenos Aires*: The projected trends are consistently positive and important all over the region, with a warming of the order of 0,5° C for the 2020 decade and of 2° C for the 2080 one.

This has been also with some differences the trends in almost all the Patagonia, except in marginal zones (section 3.1), although by their features, it is not clear that they have been related to the global warming. In addition, all the models project a similar

warming trend, and the physics of this trend is clearly due to the growing concentration of greenhouse gases. Thus, a great certainty can be assigned to this trend.

- *Water Balance*

Except in the narrow humid Andean stripe, all the Patagonia presents a marked water deficit. The annual potential evapotranspiración is between 1000 and 1500 mm (section 12.1.2) and those values of precipitation only are reached in it cited Andean stripe. The rest of the Patagonia has characteristics of semi desert where the potential evapotranspiración exceeds several times the precipitation.

Changes in the annual evapotranspiración of the order of 30 to 50 mm for the 2020 decade and of 100 to 150 mm for the 2080 decade should be expected according to the scenarios of temperature for the 21st century (section 12.1.2). Considering that precipitation changes would be smaller and besides uncertain in their sign in most of Patagonia, it is likely that will not be large changes in the water balance

The changes in precipitation would be clearly greater to those of the evapotranspiración potential in the humid Andean stripe. Therefore, precipitation changes would be the more important factor in the changes of river discharges. On the other hand, the increase in precipitation would be also enough to overcompensate the increasing potential evapotranspiración in the north of Río Negro and south of the provinces of the La Pampa and Buenos Aires.

### *1.3.2 The main vulnerabilities*

Almost every glacier of the Patagonian Andes has been retreating during the last decades as a result of the increase of the temperature and in some zones by the smaller precipitation. According with temperature projections for the current century, the present receding trend of these glaciers will continue, probably at faster rate.

Although, there are not available prediction models for the glaciers of this region, it is very likely that important landscape values will be lost. Regarding their contribution to the main rivers, the retreat of the glaciers has not contributed significantly to the discharge of the rivers at the north Patagonia. It is different in the south, where about 10 % of the Santa Cruz discharge seems to be originated in the melting of the glaciers. Therefore, the future evolution of the glaciers does not seem to be too significant for the future mean discharges of the greater rivers. However, it is not clear if these changes would influence the intra and inter annual regulation of those rivers.

It is likely that the landscapes changes of certain glaciers be a negative element for tourism. However, until now, the greater attraction, the Perito Moreno glacier has not shown signs of retreat. In addition, it is difficult to assess which will be the tourism reaction to the threat of a generalized loss of this wonders of the landscape.

The greater trend of precipitation in the northwest of the Patagonia, where the majority of the skiing fields are, is in the winter, the snowfall season. In addition, the warming would reduce the snowfall fraction of precipitation. These changes would contribute to

the progressive disappearance of the skiing fields of the low areas displacing this activity to higher zones.

The humid Andean stripe has important natural forests that are suffering diverse human pressures antrópicas and the rainfall decrease. This reduction may modify the boundaries between forest and bushes; the persistence of the precipitation negative trends would favor the advance of the Patagonian bushes over the forest. This forest is also under the stress of fire, generally of human origin, which under warmer and drier conditions would have greater chances to start and to spread. Summer precipitation, is the most critical time of year for the occurrence of these events; fortunately, summer precipitation is not significantly decreasing now, and it is not expected to do so in future decades.

The smaller precipitation would affect the timber production from implanted forests. Nevertheless, due to the small size of this activity, unless it would be a large expansion of this industry, the total losses during the decade of the 2020 would amount to minor figures.

Due to the smaller river flows at Comahue region, the power generation would suffer important economic damages. This region produces 26 % of the hydropower of the country, but during the 2020 decade, its production would be down by a 32 %. This would have a national impact because means a reduction of the national hydropower production of the order of the 8 % that should be replaced for surely more costly sources of energy. At present internal costs, this would represent a loss of about 200 000 000 \$ a year.

Although the river flows would be reduced by significant percentages, 30 % on the average in the basins of the Negro and Colorado rivers and 20 % in the Chubut River, the supply of water for urban use and irrigation would not be compromised if the consumption remains as in present. In addition, it is not expected a reduction in the discharges of the rest of the southernmost rivers. This outcome of the report is very important, as the water is a key factor of development in Patagonia and only can be taken from the rivers coming from the Andes.

Even in extreme scenarios of urban and industrial consumption, assuming the expansion of irrigation to all the land with some degree of aptitude for irrigation, the discharge of the Negro River and of its tributaries would not be compromised. It is different the case of the Colorado River, where the expansion of irrigation to all the land with aptitude would almost consume the present streamflow of the river and therefore in the likely scenario of lower streamflow, it would not be possible to attend the irrigation demand. The same would be likely to occur with the Chubut River, but only after an extreme growth of the urban demand and of the expansion of the irrigation, things that are likely to happen only during the second half of the century.

There is lack of suitable information to assess vulnerability to severe storms and their associated floods in future due to the lack of scenarios of these events. There were urban floods in the lower valley of the Chubut River and in the northwest of Patagonia, over the Andean region. The costs of these events, no considering their local importance, are

not significant at the national level, where floods cause a lot more damage. The frequency of the events of intense precipitation has been increasing in the coastal zone of Chubut and Río Negro and declining over the Andean region. In view of the expected frequency growth of extreme precipitations with global warming, it would be important to anticipate measures and accelerate the construction of defensive works, mainly in the mentioned coastal region.

Changes in sediments generation would not be important, except in a few regions. One of these regions is the basin of the Negro River, in which the increase of sediment production would be about 20 % during 2020 decade. Since in the basin of the tributary of the Negro River, the Limay River there would be a sediment increase of only 5 %, the velocity of filling up of the most important dams of the region would not be affected.

Up to now, human alterations of the arid zone ecology have been clearly dominant with respect to the effects of climate trends. In future, the expected climate changes would aggravate the existing process of degradation, because of the increasing water deficit resulting from warmer temperatures and little precipitation changes. Climate changes would be more harmful, if the not sustainable and dominant practices of ovine rising persist in the future. Therefore, the public policies on this sector should be directed with priority to correct the negative effects of the human activities, and in that context, think of climate change as one of the variables to consider.

### *1.3.3 Opportunities*

Climate Change no necessarily will produce negative impacts. The moderate precipitation trend in the north of Río Negro and south of the provinces of la Pampa and Buenos Aires would favor agriculture and cattle rising. This trend would produce an additional income of about 500 million pesos a year to the landowners. That is, an increase of 40 % with respect to their present income. In addition, it would imply other positive economic effects over employment, exports, fiscal income, etc.

The Río Negro discharge does not appear compromised in any of the more demanding scenarios of consumptive water use; this fact offers opportunities for the basin at national and regional levels. The waters of the rivers of Cuyo are presently almost completely used, and in view of the reduction of precipitation over the Andes Cordillera as foreseen by climate scenarios, it is unlikely that the important production of fruits and vegetables would expand over new irrigated lands. The same would happen in Central Chile where not only the irrigated areas would be compromised, but the entire region since the negative trend in precipitation over this region would continue along this century. In these circumstances, the availability of water and land for irrigation that the Negro River basin will offer would be an important factor of development.

### *1.3.4 Monitoring and research needs*

The lack of knowledge and basic information on many topics was an obstacle for the confection of this report. Part of this knowledge that was possible to elaborate in a short time was produced by the experts, but the rest is still pending.

Public policies on climate change adaptation require starting the monitoring of the physical parameters that will be affected by this change. Present information about glaciers is very scanty and it should be initiated a systematic monitoring of the more representative ones. Presently, over the Andes Mountains, there are not meteorological observations, which are necessary for the study of glaciers and for the understanding of river dynamics. In general, the meteorological network is incomplete and full of pitfalls all over the country, especially in the Patagonia.

Most of the discharge observations were motivated by specific projects or dams already constructed. It is necessary to reinforce this network with observations at new locations that permit to understand better the rivers dynamics.

Regarding the needs for further research, it is necessary to improve the global climate model outputs because they have a number of pitfalls resulting from the fact that cannot include the important effects of the Andes in the regional climate. The high resolution models are an alternative to this problem, but due to the great spatial variability of precipitation in the Andean zones, it is necessary to improve their resolution to the limit and probably to combine them with statistical downscaling models.

Models should offer an acceptable estimation of surface winds in order to assess the future of wind energy, which constitutes an important regional wealth in the context of the global pressures for decarbonizing the global energy.

Although there is a rich research on the biology of the Patagonian populations of coastal species, there is not yet work done in the development of impact scenarios of climate change in scenarios. The same can be said about the populations of fish and shellfish of commercial value.

With respect to the sea level rise, in the enabling studies for the first national communication, it was found that the tide islands that are in the Buenos Aires coast, south of Bahía Blanca, it would be compromised during this century. It is convenient to revisit that work to the light of the new information on sea level rise and extend the research to other few vulnerable areas in the Patagonian coast.

## **2. INTRODUCCIÓN**